

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DES SCIENCES
DE LA NATURE ET DE LA VIE

N° :



DOMAINE : SCIENCES DE LA
NATURE ET DE LA VIE
FILIERE : ECOLOGIE ET
ENVIRONNEMENT
OPTION : ECOLOGIE DES
ZONES ARIDES ET SEMI ARIDES

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par :

CHARIF NASSIMA

MOKHTARI SAMIRA EL-BATOUL

LAMARA MARWA

Intitule :

***SIG pour l'analyse hydrologique des eaux
superficielles dans un bassin versant du Hodna.
(Sous - bassin versant d'Oued Soubella-Algérie).***

Soutenu devant le jury composé de :

SARRI Djamel	MCA	Université de m'sila	Président
KHOUDOUR Djamel	MCA	Université de m'sila	Rapporteur
BOUNAR Rabeh	Pr	Université de m'sila	Examineur

Année universitaire : 2021/2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciement :

On remercie Dieu le tout puissant de nous avoir donné Laforce, le courage et la volonté nécessaire pour mener à bien cette année d'étude. Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de *Mr. KHOUDOUR Djamel*, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nous sommes conscientes de l'honneur que nous a fait *Mr. BOUNAR Rabeh*. En étant président du jury et *Mr. SARRI Djamel* d'avoir accepté d'examiner ce travail. Nos remerciements s'adressent également à Monsieur le chef du département de SNV ainsi que tout le personnel et les enseignants qui nous ont encadrés tout au long de ce cursus universitaire.

Nous remercions toutes les personnes qui nous ont aidés et soutenus de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

DEDICACE

*Au nom de dieu le tout puissant qui m'a donné la volonté, la patience
ET qui m'avait mis sur le bon chemin pour arriver à Ce jour la, je
dédie ce modeste travail:*

*A mon père Ali et ma mère zineb qui m'ont donné naissance et
amour, ceux qui je ne pourrais jamais exprimer leurs sacrifices, leur
soutien moral et physique le long de mes années d'étude.*

Meschersfrères : Mohamed, Walid ET Hussam

ET mes chères sœursETmon bien aimé :

*Hakima ; lamria ; manaa ; Nadia ; FatimaETHadj ira ; et leur
enfants.*

Toutes personnes qui occupent une place dans mon cœur.

UN spécial dédicace pour mes chères : Samira ;

A tous mes amis de la promotion de 2ème année Master

Ecologie et Environnement je vous dis merci.

Nassima

DEDICACE

Au nom de dieu le tout puissant qui m'a donné la volonté, la patience et qui m'avait mis sur le bon chemin pour arriver à ce jour-là, je dédie ce modeste travail:

A mon père Ali et ma mère Meriem qui m'ont donné naissance et amour, ceux qui je ne pourrais jamais exprimer leurs sacrifices, leur soutien moral et physique le long de mes années d'étude.

A mon cher mari Dr. Benkobli Hassen pour son soutien

Mon petit trésor ; ma raison de vivre ; l'amour de ma vie : mon fils DJOUD

A mes chères sœurs ; Soumeya, Nour et Sakina, sans oublier mes petits neveux : Amir ; Riadh ; Anes et leurs père Omar.

Je remercie tous les membres de ma famille ; ma grand-mère, mes tantes, mes cousines. Et toute la famille Mokhtari

Ma belle-famille Benkobli

Un spécial dédicace pour mes chères Nassima ; Latifa et Widad.

A tous mes amis de la promotion de 2ème année Master Ecologie et Environnement ; et toute personne qui occupe une place dans mon cœur je vous dis merci.

Samira

DEDICACE

Je tiens c'est avec grande plaisir que je dédié ce modeste travail :

A l'être le plus cher de ma vie, ma mère.

A celui qui m'a fait de moi un homme mon père.

A mes chères frères ma sœur.

AU petit enfant Midou.

A tout mes amis de promotion de 2^{ème} année master écologie.

Toutes personnes qui occupent une place dans mon cœur.

A tout les membres de ma famille et toute personne qui porte le nom

Lamara et Aouina.

Je dédié ce travail a tout ceux qui ont participe a ma réussi.

MARWA

Liste des abréviations :

KG : l'indice de compacité de Graveleuse.

SQL : Structure Query Langage.

MBDG : Modèle d'une Base de Données Géographique.

SIG : Système d'Information Géographique.

DRE : Direction des ressources en eau.

ANRH : Agence National des Ressources Hydrauliques.

FAO:Food and Agriculture Organization.

SGBD : Système de Gestion de Base de Données.

ESRI : Institue Recherche sur les systèmes Environnementaux.

SI : Système d'information.

Tc : Temps de concentration.

Liste des Tableau :

Tableau.II. 1: Caractéristiques de la station pluviométrique de sidi Ouadah.....	46
Tableau.II. 2: Pluviométrie – Répartition mensuelle.....	47
Tableau.II. 3 : Températures mensuelles moyennes:.....	48
Tableau.II. 4 : Nombre et longueur des cours d'eau.....	52
Tableau.II. 5: Répartition des surfaces partielles par rapport aux altitudes pour le bassin de l’oued de Soubella.....	55
Tableau.II. 6: Détermination de l’altitude moyenne du bassin-versant de l’oued de Soubella.....	57
Tableau.II. 7: Potentialités en eaux superficielles de sous-bassin du Soubella.....	61
Tableau.II. 8: La Capacité des Barrage et retenues collinaires de sous-bassin du Soubella.....	61
Tableau.II. 9: Données pluviométriques de la station météorologique de M’sila et Bousaàda.....	61
Tableau.II. 10: Données pluviométriques annuelles de la station météorologique de M’sila et Bousaàda.....	62
Tableau.II. 11: Donnes hydrométriques de la station de rocade sud.....	62
Tableau.II. 12: Donnes hydrométriques de la station de Moulin Ferrero. (ANRH, 2018)	62
Tableau.III. 1: Caractéristiques de Sous bassin d’Oued Soubella.....	65

Liste des figures :

Fig.I. 1: La géomatique.....	7
Fig.I. 2: Exemples d'images raster. (COLLET, C. (1992).....	9
Fig.I. 3: Principe d'une image raster. FRANÇOIS, D. (2004).....	10
Fig.I. 4: Mode Raster et Vecteur.....	10
Fig.I. 5: Représentation des images Raster et Vecteur.....	11
Fig.I. 6: Les primitives géométriques du mode vecteur.(COLLET, C. (1992).....	11
Fig.I. 7: Avantages respectifs de chaque mode de représentation. (FRANÇOIS, D. (2004)).....	13
Fig.I. 8: Schéma de la mise en place du système d'information.....	14
Fig.I. 9: Composantes d'un SIG.....	16
Fig.I. 10: Schéma des composantes d'un SIG.....	16
Fig.I. 11: Données spatiales.....	18
Fig.I. 12 : Les fonctionnalités du S.I.G [NOTTET, 2002].....	19
Fig.I. 13: Domaines d'application du SIG.....	23
Fig.I. 14: Les différents formats de MNT.....	26
Fig.I. 15: Cycle Hydrologique.....	27
Fig.I. 16: Diagramme de phase de l'eau [Musy, 2003].....	28
Fig.I. 17: Représentation du cycle de l'eau [Makhlouf ,2015].....	29
Fig.I. 19: Distinction entre bassin versant réel et bassin versant topographique [Musy et al ,2004]....	34
Fig.I. 18: Exemple d'un Bassin versant topographique [L'Algérois, Talatizi.2014].	34
Fig.I. 20: Influence de la forme du bassin versant sur l'hydro gramme de crue [Musy ,2003].....	36
Fig.I. 21: Exemples d'indices de compacité [Musy et al,2003].....	37
Fig.I. 22: courbe hypsométrique du bassin versant de la Haute-Mentu [Talatizi,2014].....	38
Fig.I. 23: Processus d'infiltration dans le sol et multiplicités des écoulements [Musy, 2003].....	40
Fig.I. 24: Les différents types d'écoulements [Musy, 2003].....	43
Fig.II. 1: Présentation de Zone d'étude de bassin de Soubella.....	45
Fig.II. 2: Pluviométrie – Répartition mensuelle.....	47
Fig.II. 3: Températures mensuelles moyennes.....	48
Fig.II. 4: le réseau hydrographique.....	52
Fig.II. 5: Repérage du sous bassin versant 05-11 sur les cartes topographiques au 50 000ème (ANRH).....	54
Fig.II. 6: Courbe hypsométrique du sous bassin de Soubella.....	56

Fig.II. 7: Les Oueds du bassin de Soubella.....	58
Fig.II. 8: Ressources en eau souterraine dans l'Algérie du Nord [Remini, 2009].....	59
Fig.II. 9: Eaux Souterraines d'Oued soubella.....	59
Fig.II. 10: Presentation de barrage soubella.....	60
Fig.IV. 1 : Base de données géographiques BDG [Ider, 2004].....	70
Fig.IV. 2: MBDG –Caractéristiques physiques (surface) de sous-bassin versant d'Oued Soubella par SIG.....	71
Fig.IV. 3: MBDG –Caractéristiques physiques (périmètre) de sous-bassin versant d'Oued Soubella par SIG.....	71
Fig.IV. 4: MBDG – Capacité des eaux superficielles (barrage) de sous-bassin versant d'Oued Soubella par SIG.....	72

Table des Matières

TABLE DES MATIERES :

LISTE DES ABREVIATIONS :7
Liste des tableau.....8
Liste des Figure.....9
INTRODUCTION..... 1

ChapitreI:synthèse bibliographique:

I.1.LE SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE5
I.1.1.GENERALITE :5
I.1.2.POURQUOI LA GEOGRAPHIE ?5
I.1.3.GEOMATIQUE :5
I.1.4.L'INFORMATION GEOGRAPHIQUE :7
 I.4.1.Définition :7
 I.4.2.Les composants d'informations géographiques :8
 I.4.3.La représentation de l'information géographique :8
 I.4.3.1.Classification des informations géographiques :8
 I.4.3.2.Dualité Raster- Vecteur :8
I.4.4. CARACTERISTIQUES DE L'INFORMATION GEOGRAPHIQUE :13
I.1.5.NOTION DE SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE :13
I.1.6.SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE :14
I.1.7.HISTORIQUE DU SIG :15
I.1.8.LES COMPOSANTES D'UN SIG :16
 I.1.8.1. Le matériel17
 I.1.8.2. Les données17
 I.1.8.2.1.Types de données dans un SIG :17
 I.1.8.2.1.1.Données spatiales :17
 I.1.8.2.1.2.Données associées :18
 I.1.8.2.1.3.Données de classification :18
 I.1.8.2.1.4.Données d'identification :18
 I.1.8.2.1.5.Données attributaires :18
 I.1.8.3. Les utilisateurs:18
 I.1.8.4. Les logiciels.....19
 I.1.8.5. Les méthodes ou savoir-faire19
I.1.9.Les fonctionnalités du SIG :19
 I.1.9.1.Abstraction.....19

1.1.9.2.Acquisition.....	20
1.1.9.2.1.Techniques acquisition de données.....	20
1.1.9.2.2.Les modes d'acquisition des données	21
1.1.9.3.Analyse.....	21
1.1.9.4.Archivage	21
1.1.9.5.Affichage.....	22
I.1.10.LE ROLE DU SIG :	22
I.1.11.DOMAINES D'APPLICATION :	22
I.1.12.PRESENTATION DES PRINCIPAUX LOGICIELS DE SIG :	23
Logiciels en mode vectoriel :	23
Logiciels en mode RASTER :.....	25
I.2. HYDROLOGIE ET BASSIN VERSANT :	27
1.2.1. CYCLE ET BILAN HYDROLOGIQUE :.....	27
1.2.1.1. Introduction :.....	27
1.2.1.2. L'EAU :	27
Généralité :.....	27
1.2.1.3. DEFENITION ET COMPOSANTES DE CYCLEHYDROLOGIQUE :	29
A-Les précipitations :.....	29
B.L'évaporation/l'évapotranspiration :	30
C.L'interception et le stockage dans les dépressions :.....	31
D.L'infiltration et la percolation :	31
E.Les écoulements :.....	31
1.2.1.4. LE BILAN HYDROLOGIQUE:.....	32
1.2.2. LE BASSIN VERSANT ET SON COMPLEXE :	33
1.2.2.1. DEFENITION DE BASSIN VERSANT:.....	33
1.2.2.2. LE COMPORTEMENT HYDROLOGIQUE:.....	35
1.2.2.3. CARACTERISTIQUE PHYSIQUE ET LEUR INFLUENCES SUR L'ECOULEMENT DES EAUX :	35
1.2.3.1. Les caractéristiques géométriques :	35
A. La surface.....	36
B. La forme.....	36
C. LE RELIEF :.....	37
C.1. La courbe hypsométrique :.....	37
C.2.Les altitudes caractéristiques C.2.1. Les altitudes maximale et minimale :	38
C.2.2. L'altitude moyenne :	38
C.2.3. L'altitude médiane :	39
C.3. La pente moyenne du bassin versant :	39
C.4.L'indice de pente ip :	39
1.2.2.4. L'INFELTRATION ET L'ECOULEMENT:	40
Introduction :.....	40

1.2.2.4.1. L'INFILTRATION :	40
a-Définitions et paramètres descriptifs de l'infiltration :	41
b. Facteurs influençant l'infiltration :	41
1.2.2.4.2. LES ECOULEMENTS:	42
a. Généralités :	42
b. L'écoulement de surface :	42
c. L'écoulement de subsurface :	42
e.Ecoulement dû à la fonte des neiges :	43

chapitreII :PRESENTATION DES CARACTERISTIQUE DU SOUS BASSIN VERSANT D'OUED SOUBELLA

II.SITUATION GEOGRAPHIQUE DU SOUS BASSIN :	45
II.2. LE CLIMAT DE LA REGION :	46
A-Pluviométrie :	46
B. Température :	47
C. Le vent :	48
d. Humidité :	49
II.3.LE COUVERT VEGETALE :	49
II.4.GEOLOGIE :	49
II.4.1. Lithologie et stratigraphie.....	50
II.4.2 Tectonique régionale.....	51
II.5. SOL :	51
II.6.RESEAU HYDROGRAPHIQUE.....	51
II.6.1. Structure du réseau hydrographique :	51
II.6.2. Densité de drainage Dd.....	52
II.6.3. Densité hydrographique.....	53
II.6.4. Coefficient de torrentialité CT.....	53
II.6.5. Rapport de confluence RC :	53
II.7.CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET MORPHO METRIQUE :	53
II.7.1.PARAMETRES MORPHOMETRIQUES :	53
II.7.1.2.Paramètres géométriques.....	54
II.7.1.3. Paramètres de forme	54
II.7.1.3.1. Indice de compacité de Gravelius (KG).....	54
II.7.1.3.2. Dimension du rectangle équivalent.....	55
II.7.2.PARAMETRES DES RELIEFS :	55
II.7.2.1.COURBE HYSOMETRIQUE :	55
II.7.2.2.LES ALTITUDES CARACTERISTIQUES :	56
II.7.2.2.1.Altitudes maximales et minimales :	56

II.8.LE POTENCIALITES EN EAU DANS LE SOUS BASSIN :	57
II.8.1.LES EAUX SOUTERRAINES :	58
II.8.2.EAUX SUPERFICIELLES :	60
II.9. MOBILISATION DE LA RESSOURCE EN EAU	60
II.9.1.Eaux superficielles (Barrage et retenues collinaires).....	60
LES BARRAGES	60
LES RETENUES COLLINAIRES	61
II.10.ETUDE HYDRO-PLUVIOMETRIQUE :	61
II.10.1. Pluviométrie :	61
II.10.2. Les écoulements :	62

Chapitre III : Matériels et approche méthodologique

III.1. ETUDE HYDROLOGIQUE	64
III.1.1. Collecte des données :	64
III.1.2. Les outils des traitements des données :	64
III.2. ETUDE CARTOGRAPHIQUE	64
III.2.1. Collecte des cartes :	64
III.2.2. Traitement des cartes :	64
III.2.3. Cartographie thématique :	64
III.2.3.1.Description de la méthode :	64

Chapitre IV : Mise en place d'une base de données a référence spatiale pour l'analyse d'hydrologie de sous bassin du soubella

VI.1. UTILITE D'UN SIG DANS L' ANALYSE HYDROLOGIQUE DES EAUX	67
VI.1.2. Choix des données intégrées au système	68
VI.2. LES GRANDES ETAPES DE CREATION DE LA BASE DE DONNEES A REFERENCE.....	69
VI.2.1. Structuration des données	69
VI.2.1.1. Modèle d'une Base de Données Géographiques :	69
VI.2.1.2. L'implantation des données structurées dans un système informatique.....	72
VI.2.2. Le travail sous environnement SIG : Intégration des données géographiques et traitement de l'information ..	72

Conclusion	76
-------------------------	-----------

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	76
------------------------------------------	-----------

ANNEXE	79
---------------------	-----------

Introduction

L'eau est une ressource limitée et vulnérable qui est indispensable à la vie, au développement et à l'environnement. La protection de cette richesse capitale et sa bonne gestion nécessite une stratégie face aux pénuries d'eau, par exagération, souvent associées à certains phénomènes naturels (désertifications, changements climatiques « il existe aujourd'hui une crise de l'eau mais cette crise n'est pas due à son insuffisance à satisfaire nos besoins; elle résulte plutôt d'une si mauvaise gestion de cette ressource que des milliards de personnes en souffrent.

L'importance de l'eau en tant que support de vie et de facteur régulateur du développement d'un pays est universellement reconnue. Aussi est-il nécessaire de la quantifier et de la gérer aussi rigoureusement que possible. Dans ce contexte, on comprend alors aisément la nécessité de mettre au point des outils d'aide à la gestion et à la décision dans le but de mieux estimer tout Aménagement futur dans la région d'étude.(OULD AHMED,S,)

Le Sous-bassin versant d'oued Soubella appartient au grand bassin versant de la Hodna, située sur la partie Est de la Wilaya de M'sila, au sud-est du nord algérien.

Les techniques classiques utilisées dans l'étude du complexe physique d'un bassin versant sont basées essentiellement sur des méthodes manuelles, dont les résultats obtenus généralement sont incorrects, avec l'apparition des nouveaux outils tel que les SIG et la télédétection, il est devenu facile de déterminer les paramètres de forme, de relief et la typologie d'un réseau hydrographique.

Les Systèmes d'Information Géographiques ont fait leur apparition au milieu des années 60 au Canada et au Etats unis. Le système d'information géographique (SIG) est, comme son nom l'indique, un outil informatisé dédié à la gestion de l'information géographique.

L'utilisation de logiciel SIG s'intègre dans un processus général de collecte, de gestion et de restitution de l'information. Ce type de système permet d'apporter à chacun l'information dont il a besoin pour décider et agir au mieux dans de meilleurs délais. C'est un outil de représentation d'une réalité, de compréhension des phénomènes et des conditions dans lesquelles ils se réalisent, de simulation d'alternatives et de leurs effets.(ACHOUR O. (2013)).

Dans cette étude, nous allons essayer de mieux comprendre l'application de SIG sur l'évaluation des ces caractéristiques de sous - bassin versant et leurs influences sur l'écoulement des eaux, d'optimiser l'interprétation des analyses cartographiques en utilisant des moyens plus adéquats et de maîtriser les méthodes de cartographie assistée par ordinateur, La méthodologie présentée consiste à intégrer, dans SIG. Trois facteurs contrôlant l'analyse hydrologique de ce sous-bassin :

- Caractéristiques hydriques ET hydrauliques;
- Caractéristiques topographiques;
- Caractéristiques hydrographiques.

A la fin de ce travail nous tenterons de mettre en relation les informations ressortant des cartes que nous aurons créées, de les croiser. De cette façon, nous approcherons le processus de géo-traitement (traitement d'informations spatiales) et d'analyse, phases majeures dans l'élaboration et l'utilisation d'un SIG.

La présente d'analyse se structure en quatre chapitres:

- la première présente des données bibliographiques sur l'hydrologie de bassin versant et données sur le système d'information géographique (SIG).
- Le deuxième chapitre concerne le cadre général de la zone d'étude, qui rassemble des données sur le sous-bassin versant du Soubella, leur milieu et caractéristiques pédo-géologiques, climat de la région et principales couvert végétal occupe le sol et l'analyse climatique détaillée du sous-bassin versant du Soubella.
- Alors que le troisième chapitre met l'accent sur la méthodologie de l'analyse.
- Le quatrième chapitre est consacré à la mise en place d'une base de données géographique pour l'analyse de l'hydrologie de sous-bassin du Soubella
- Enfin, nous concluons ce travail par l'annexe.

Chapitre I :

Synthèse

bibliographique

I.1.Le système d'information géographique

I.1.1.Généralité :

Dans cette partie, IL nous apparut utile d'introduire quelques notions essentielles sur les systèmes d'information géographique. Le concept de système d'information géographique (SIG) est apparu dans les années 1960-1970. Depuis ce temps, des définitions plus ou moins similaires et cohérentes ont fait leur apparition. Afin de bien situer le rôle et l'usage d'un SIG, nous allons également en préciser sa définition. Signalons qu'il n'existe pas encore une définition claire et communément admise par l'ensemble de la communauté scientifique. La plupart des définitions citées sont plutôt d'ordre général et couvrent un large spectre de sujets et d'activités.

Le système d'information géographique combiné à la cartographie permet de réaliser des documents cartographiques, bien qu'il apparaisse comme un outil incontournable permettant d'organiser les couches d'informations et de les analyser dans le but d'en extraire les données. L'utilisation d'un SIG pour la gestion des ressources forestières concerne essentiellement la cartographie du terrain à étudier (les différentes cartes réalisées) Les cartes réalisées de manière traditionnelle ne sont plus adaptées aux besoins actuels. La complexité et la diversité des données relatives à l'environnement ont favorisé le développement de systèmes capables de répondre aux besoins de collecte, d'analyse et de représentation de phénomènes environnementaux. Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) et la télédétection sont devenus des outils incontournables pour la compréhension et le suivi des phénomènes dynamiques et, une nécessité pour l'orientation d'investissement et disposer d'arguments valables pour la prise de décisions (BROSSO ET HAURIE, A. (1996))

I.1.2.Pourquoi la Géographie ?

C'est la science qui a pour objet la description de la terre et en particulier l'étude des phénomènes physiques, biologique et humaines qui se produisent sur le globe terrestre ; discipline scolaire, universitaire correspondante.

La géographie, en raison de son ancienneté et donc de son long rapport à la présence des hommes dans le territoire, est porteuse d'une part de la logique du monde (car une part de la logique du monde est inscrite dans la logique de nos discours géographiques sur le monde), elle est aussi porteuse d'un renouvellement de l'ontologie et donc d'une meilleure définition de la place de l'homme dans le monde (car une part de la sagesse des hommes compose ce qu'il est légitime de désigner comme contrat géographique).(BORD, J., Pierre-Robert BADUEL. (2004)).

I.1.3.Géomatique :

Le mot « géomatique » est un néologisme qui a été proposé, dans les années 1960 par le géomètre et photogrammètre français Bernard Dubuisson. Géomatique issu de la contraction de deux termes « géographie » et « informatique ». Donc c'est la Combinaison syntaxique de ses deux mots : Géo veut dire terre /Matique veut dire informatique. [André, L, G., (1975).

Une des premières définitions explicites de la géomatique, toujours la plus couramment citée aujourd'hui, est celle proposée en 1992 par Bergeron dans son Vocabulaire de la géomatique : «Une discipline ayant pour objet la gestion des données à référence spatiale par l'intégration des sciences et des technologies reliées à leur acquisition, leur stockage, leur traitement et leur diffusion », dont Bergeron donne une liste «les mathématiques, la physique, l'informatique, la topométrie, la cartographie, la géodésie, la photogrammétrie et la télédétection». ROCHE, S, (2000) .

Donc, le terme géomatique est relativement nouveau qui dérive de Géo, c'est la terre et Matique qui veut dire informatique. Ce sont finalement des technologies de l'information du service de la géographie et toutes les données qui touchent le domaine spatiale. La géomatique désigne l'ensemble des utilisations techniques de l'informatique En géographie : les outils et méthodes d'observation et de représentation des données Géographique, ainsi que la transformation de ces mesures en informations utiles à la Société (NOVA, 2009). PROVENCHER, L ., Jean-Marie ., Maurice DUBOIS(2007).

La géomatique a pour objet la gestion de données à référence spatiale et fait Appel aux sciences et aux technologies reliées à leur acquisition, leur stockage et leur Traitement. Le nom «géomatique », proposé en 1968 par le géomètre français Bernard Dubuisson (GUEGAN et CHOISY, 2009), provient de la contraction de « géographie » et «Informatique», mais les disciplines recouvertes par ce terme incluent aussi la Cartographie, la géodésie, la topographie, le positionnement par satellite et le traitement D'images numériques. Les systèmes d'information géographique (S.I.G), qui sont des Systèmes informatiques permettant l'intégration, la gestion et l'analyse de données géographiques, constituent l'outil de base du géomaticien, spécialiste de la géomatique.[NOVA, N (2009).



Fig.I. 1: La géomatique.

I.1.4.L'information Géographique :

I.4.1.Définition :

Au préalable, il est important de bien préciser ce qu'est l'information géographique. L'information géographique est la représentation d'un objet ou d'un phénomène réel ou imaginaire, présent, passé ou futur, localisé dans l'espace à un moment donné (quelles qu'en soient la dimension et l'échelle de représentation)[BORDIN, P. (2006).. Il s'agit d'un type d'information très répandu, décrivant des objets, phénomènes, êtres vivants ou sociétés, dès lors qu'ils sont reliés à un territoire.

L'information géographique est composée d'informations géométrique, descriptive et topologique. Elle constitue une interprétation, ou plutôt, comme le dirait Patricia BORDIN(2002), une schématisation du monde réel. L'information géographique donne une description des objets et phénomènes localisés par rapport à un référentiel sur la terre (FRANÇOIS, D. (2004))...L'information géographique est définie comme une information relative à un objet ou à un phénomène du monde terrestre, décrit plus ou moins complètement par :

- ❖ SA nature, son aspect, SES caractéristiques diverses
- ❖ Son positionnement sur la surface terrestre. DENEGRE J

Les aspects qualitatifs déterminent l'essentiel des possibilités d'un système d'information, la quantité des informations se définit au travers de trois critères. Elle peut se formaliser aisément dans le référentiel à trois dimensions ci-dessous. Une fois définis ces critères, il reste à mettre en place une chaîne de collecte, de traitement et de représentation. Brocard, M., Mallet, P., Leveque, L., Bessineton, C. (1996).

Représentation d'un objet ou d'un phénomène réel, localisé dans l'espace à un moment donné [Quod verte, 1994], L'information géographique est caractérisée par une composante purement spatiale et une composante sémantique.[FRANÇOIS, D. (2004).

I.1.4.2.Les composants d'informations géographiques :

L'information relative à un objet décrit par sa nature, son aspect : c'est le niveau sémantique. L'ensemble des attributs de l'objet forme ses attributs (comme par exemple : le numéro d'une parcelle cadastrale, le nom d'une route, le nom d'une rivière, le nombre d'habitants d'une commune...).

L'information géographique a une double composante :

✓Une composante graphique :

Description de la forme de l'objet géographique. ETSA localisation dans UN référentiel cartographique.

✓Une composante attributaire :

Caractéristiques décrivant l'objet (description géométriques, caractéristiques thématiques).

I.1.4.3.La représentation de l'information géographique :

I.1.4.3.1.Classification des informations géographiques :

Toute tentative de classification des informations nous conduit à une représentation dans un système quadripolaire comprenant :

-Les informations dites « topographiques », comme les cartes de base, les plans cadastraux, ...etc. ;

-Les informations dites « thématiques », comme les plans de secteur, les plans d'aménagement, les cartes pédologiques, géologiques, ...etc. ;

-Les informations dites « modèle numériques », comme les modèles numériques de terrain (MNT) ;-

Les informations dites « images », comme les ortho-photos numériques, les données satellitaires fournies par « Landsat »ou « Spot »par exemple. Dans un environnement informatique graphique, l'unité formelle de ces quatre pôles prend un format bipolaire dite la « Dualité Raster -Vecteur ».

-Le domaine vectoriel recouvre les informations « topographique », « thématique » et « modèles numériques » ;

-Le domaine Raster (image numérique) recouvre les informations « topographiques », « thématiques » et « image ». Il comprend à la fois des données à traiter qualitativement (photos, pour certaines applications) et quantitativement (images classées, cartes thématiques).

I.1.4.3.2.Dualité Raster- Vecteur :

-Le mode Raster représente l'espace étudié par une grille régulière de cellules pour former une image constituée des lignes et des colonnes, le mode Raster que Collet (COLLET, 1992), propose de nommer en français mode image, consiste à poser sur la carte à saisir une grille à mailles petites et carrées puis à enregistrer sous forme matricielle la nature du sol dans chaque surface élémentaire ainsi définie (LEGROS, 1996) ;

- Les données de ce mode ont l'avantage d'être exhaustives, mais l'inconvénient est de générer des fichiers de taille importante (ZWAENEPOEL, 2000) ;

-Le mode vecteur utilise les concepts géographiques de point, lignes et polygones pour représenter chacune des entités de l'espace géographique. Ce mode de stockage de l'information est adapté aux données discrètes, comme des positions de silos (points), un réseau hydrographique (lignes) ou encore des limites de parcelles (polygones). L'intérêt particulier de ces données est que l'on réalise ainsi une cartographie thématique en ne choisissant que ce que l'on souhaite avoir dans sa base de données. Mais très vite se pose la question de la structuration plus compliquée de la base de données.

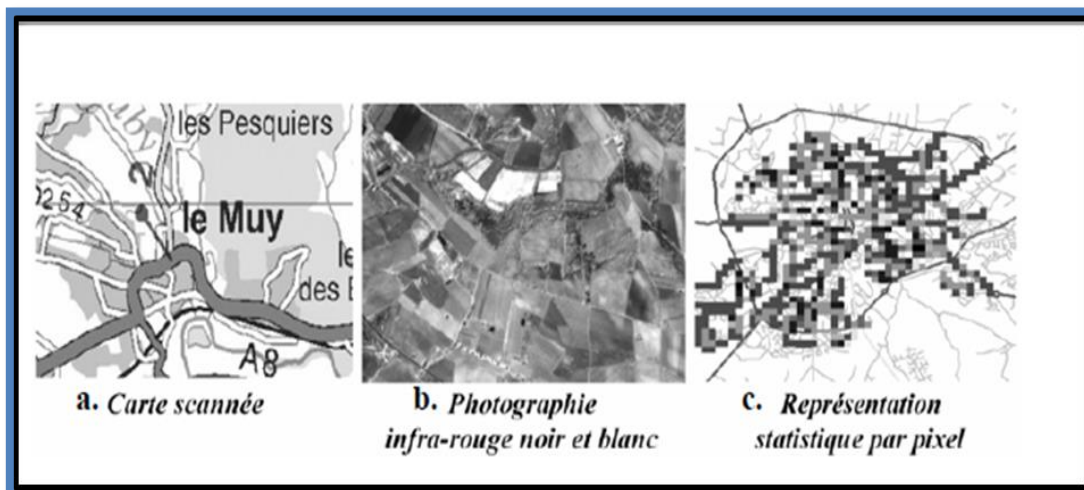


Fig.I. 2:Exemples d'images raster. (COLLET, C. (1992).

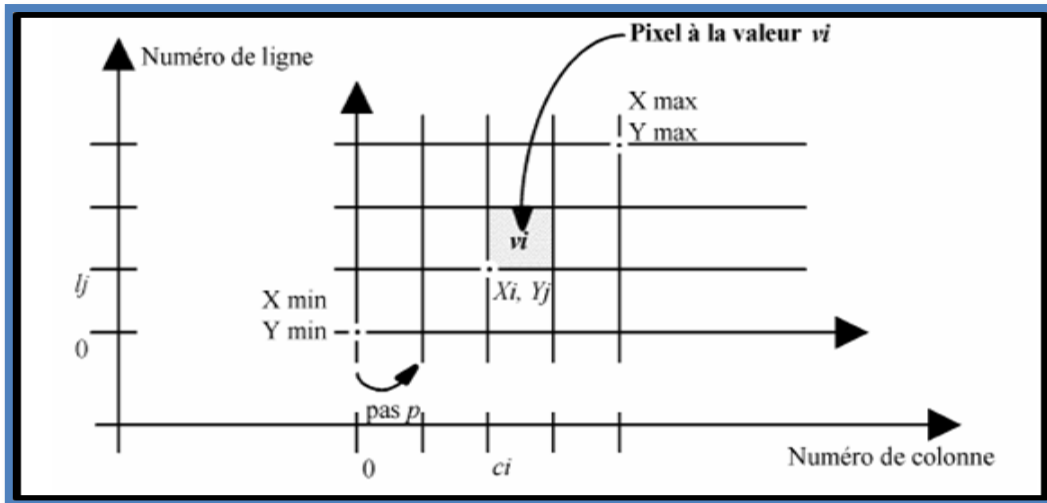


Fig.I. 3: Principe d'une image raster. FRANÇOIS, D. (2004).

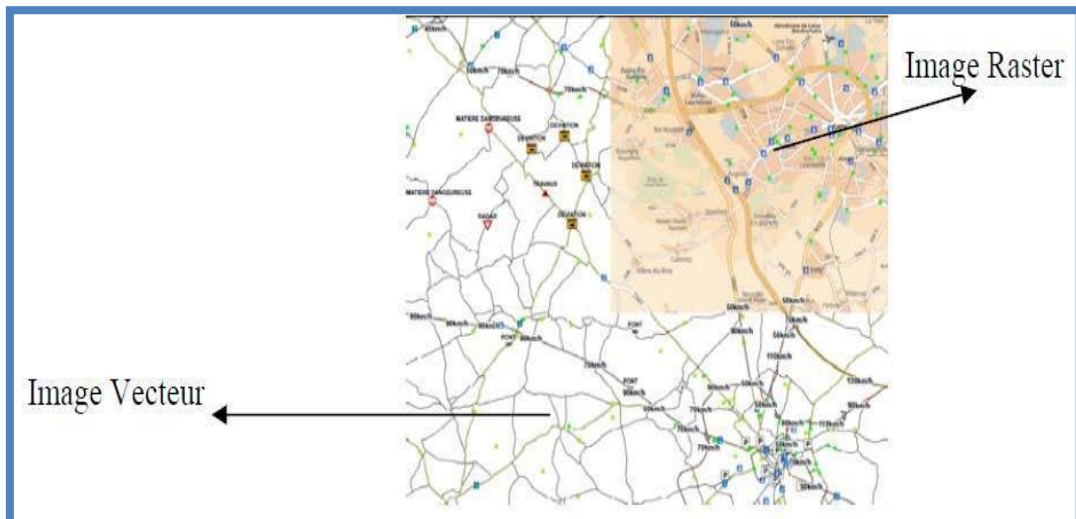


Fig.I. 4: Mode Raster et Vecteur.

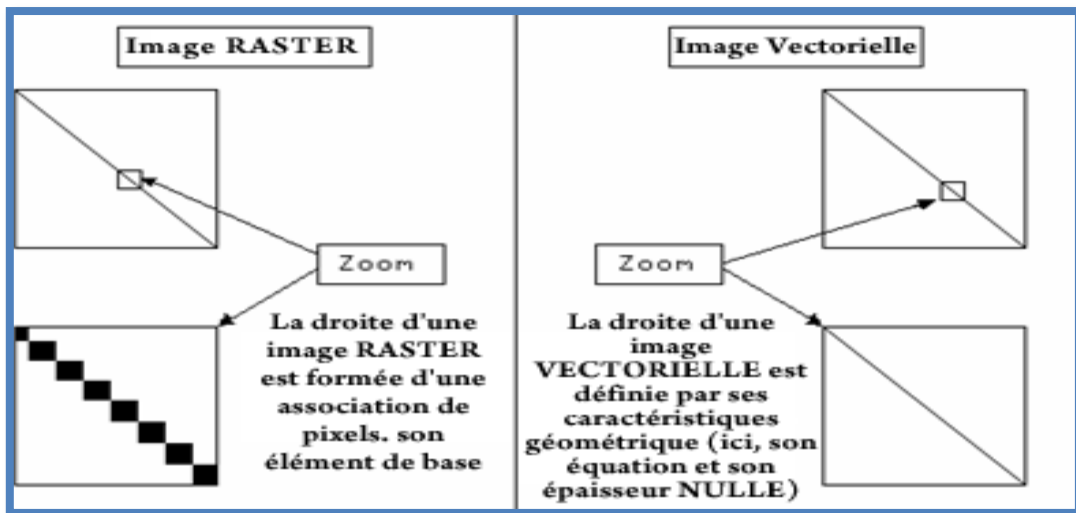


Fig.I. 5: Représentation des images Raster et Vecteur.




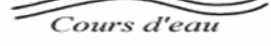




Exemples	Information géographique	Traduction en mode vecteur
 <i>Maison</i>  <i>Château d'eau</i>	ponctuelles	×
 <i>Route</i>  <i>Cours d'eau</i>	linéaires	
 <i>Parcelle</i>  <i>Commune</i>	surfaciqes	

Fig.I. 6: Les primitives géométriques du mode vecteur.(COLLET, C. (1992).

Ces deux représentations exigent des moyens d'acquisition des données bien distincts. On peut citer les moyens suivants :

***En vectoriel :**

- Table de numérisation ;
- Restituteurs analytiques ;
- Logiciels de vectorisation d'une image Raster.

***En matriciel :**

- Caméras métriques fournissant les photos à numériser ;
- Scanner (multispectral digital, ...etc.) ;
- Caméra vidéo à sortie numérique ;
- Logiciels de Restrिंग à partir d'une base vectorielle.

Les domaines « vecteur ET Raster », se sont développés séparément. Les données vectorielles possédaient une structuration minimale (possibilité d'identification) complétées ensuite par une structure topologique afin de traiter les données surfaciques et les réseaux donnant naissance aux premiers S.I.G.

Les données Raster sont développées dans l'environnement de la télédétection par les logiciels des corrections géométrique, radiométrique et de classification (MARGADA, 1988).

La dualité Raster –vecteur modifie considérablement le paysage de l'information géographique en créant un système fermé. Cette possibilité est un élément essentiel à une cartogénèsecar il permet de reproduire, par des algorithmes précis, différents documents intermédiaires évitant ainsi la création de redondances.

La dualité Raster – vecteur permet une articulation entre deux logiques : une logique locale pour les vecteurs et une logique globale pour les images numériques.

Elle conduit à une extension du concept S.I.G vers une intégration des données adaptée à :

- La transformation de données d'origines différentes, de natures différentes ;
- La mise à jour de données sous différentes formes ;
- L'extraction d'information ;
- La gestion cohérence d'un ensemble de multicouches de données en évitant les redondances ;
- La superposition (ou croisement) de données de couches différentes.

La base de données qui est le moteur central de ce système, est un outil d'aide à l'organisation et à l'interrogation. Le croisement peut être réalisé sous forme vectorielle ou Raster.

Les deux démarches sont complémentaires, offrant une plus grande souplesse de traitement, et mieux adaptées à la recherche d'une solution bien spécifique.

Le croisement doit être considéré comme une technique générale incluant :

- Les algorithmes de classification (télédétection).
- La théorie de morphologie mathématique.

Et combinant des données vectorielles et Raster via des tables de décision appliquées à des domaines thématiques et paramétriques.

Mode vecteur	Mode raster
Volume de stockage compact	Volume de stockage important
Structure de données complexe	Structure de données simple
Mise en œuvre facile de la topologie	Mise en œuvre difficile de la topologie
« Saisie » possible des objets	On ne «saisit » que des pixels
Ne contient que les informations spécifiées	Exhaustivité des photographies raster
Collecte des informations de mise à jour	Rapidité de la mise à jour
Croisement thématique plus complexe	Croisement thématique simple

Fig.I. 7: Avantages respectifs de chaque mode de représentation. (FRANÇOIS, D. (2004)).

I.4.4. Caractéristiques de l'information géographique :

L'individu statique en géographie peut être :

- Une unité spatiale provenant du découpage d'un espace continu. Ce découpage spatial peut être administratif, politique ou correspondre à une réalité physique (vallée, plaine, etc.).
- Une entité ou un objet dans l'espace : cela peut être un ménage, une entreprise ou une exploitation agricole ou, à une autre échelle géographique, l'îlot, le quartier, la ville, etc.
- Un flux ou un échange entre deux lieux géographiques. Ce flux peut être un flux migratoire, des flux de marchandises, d'informations, etc. Géométriquement, cette information peut être :

1. Ponctuelle : un sujet ou un objet localisé dans l'espace ;

2. Linéaire : un flux, un réseau entre deux ou plusieurs points.

I.1.5. Notion de Système d'information géographique :

Le système d'information est un ensemble de moyens matériels et humains organisés permettant la collecte, le traitement et la diffusion des informations. Ce système n'est que l'un des éléments permettant à l'entreprise de mener à bien sa mission. Il est nécessaire, afin de coordonner les activités de tous les éléments, de stocker les informations nécessaires à chacun et de préparer ainsi la prise de décision. (Aldosa, N., Bihan, M., Monin, M. (2003)).

Le système d'information servira à recueillir et à préserver les données, à effectuer des traitements sur celles-ci, et à diffuser les résultats aux systèmes de pilotage et opérant. (Bigand, M., Camus, H., Bourey, J., Corbeel, D. (2006)).

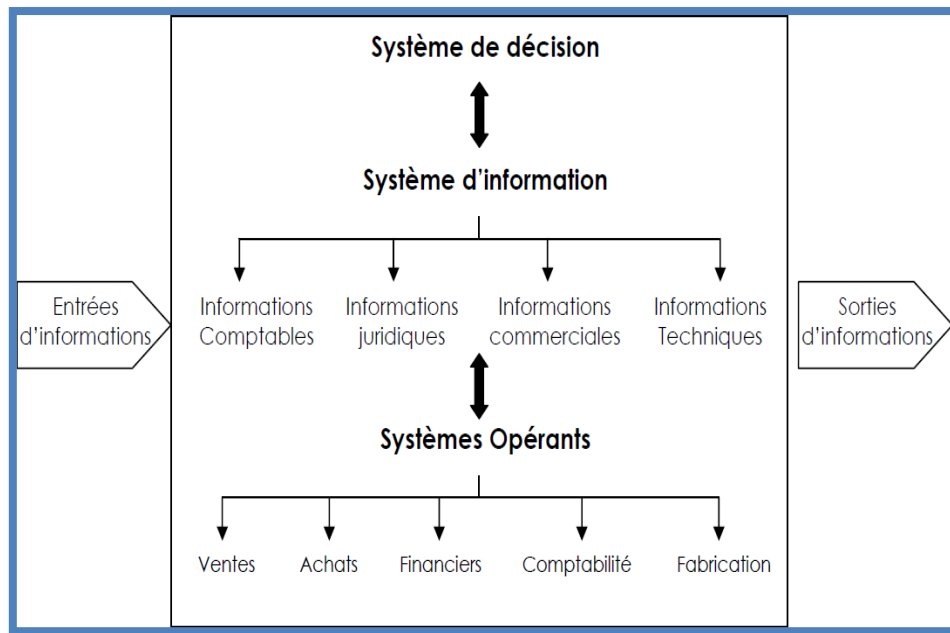


Fig.I. 8: Schéma de la mise en place du système d'information.

Tout système d'information, quel que soit son objet, peut s'analyser comme une réponse spécifique à quelques questions essentielles, à savoir :

- Que veut-on faire ?
- De quelle information a-t-on besoin ?
- Quelles données à collecter ?
- Avec quelle régularité ?
- Comment les collecter, les vérifier, ...etc. ?
- Comment les classer, les associer, les répertorier en vue de leur utilisation optimale ?
- Quels traitements leur appliquer ? Quelles transformations éventuelles leur faire subir ? quels calculs à effectuer ?
- Comment les communiquer ? à qui ? Sous quelle forme ? à quel moment ?

I.1.6.Système d'information géographique :

Le système d'information qui a recours à une base de données spatiale pour trouver une réponse à des requêtes de nature géographique au moyen de diverses manipulations, telles que le tri, la recherche sélective, le calcul, l'analyse spatiale et la modélisation. Il est connu par abréviation S.I.G (système d'information géographique) ou SIT (Systèmes d'Information du Territoire) et il définit :

-Le système d'information géographique (S.I.G) se définit comme étant un système d'acquisition, de gestion, d'analyse et de représentation des données. Il est spécifiquement conçu pour

traiter des entités géographiquement référencées, c'est-à-dire dont on connaît les coordonnées x {longitude}, y {latitude}, voire z {altitude} selon une projection donnée {Lambert, etc.} ;

- le S.I.G est une méthode d'enregistrement, de gestion et d'extraction d'information relative à l'environnement terrestre et ayant une forme structurée. Cette information est définie, entre autres, par ses paramètres de localisation spatiale permettant de la manipuler et de la cartographier de plusieurs manières (BONN, 1994).

Le terme de « système d'information à référence spatiale » (SIRS) a été proposé comme étant plus générique, il s'est notamment largement répandu au Canada. Mais, le terme « système d'information du territoire » (SIT) est généralement utilisé dans les domaines du cadastre et de l'aménagement du territoire (KNOEPFEL et *al*, 2005). Qu'il soit dénommé SIG, SIRS ou SIT, le système d'information géographique est un ensemble organisé de matériels informatiques, de logiciels, de données géographiques et de personnels capables de saisir, stocker, mettre à jour, manipuler, analyser et présenter toutes formes d'informations géographiquement référencées. Un système d'information est un objet artificiel greffé sur un objet naturel pouvant être une organisation. Il est conçu pour mémoriser un ensemble d'images de l'objet réel à différents moments de sa vie. Il constitue ainsi une extension de la mémoire humaine, qui amplifie la capacité de la mémorisation des acteurs et facilite leur prise de décision (CEMAGREF, 2000).

I.1.7. Historique du SIG :

En 1884 dans le quartier de Soho à Londres, le docteur John Snow découvre les causes d'une épidémie de choléra en superposant sur une même carte les foyers de la maladie et le lieu de puisage de l'eau. Cet exemple est souvent cité comme première application de l'analyse spatiale. Néanmoins l'informatisation des données géographiques afin de faciliter cette analyse commence réellement dans les années 60 en Afrique de l'Est où la multiplicité des cartes et la difficulté à hiérarchiser les informations rendent la localisation des meilleurs sites pour de nouvelles implantations forestières très difficile. (Maguire.1991)

En 1991, D.J. Maguire définit trois grandes périodes dans l'histoire des SIG :

- De la fin des années 50 au milieu des années 70 : création des premières cartes informatiques
- Du milieu des années 70 au début des années 80 : diffusion des SIG dans les organismes d'état
- A partir du début des années 80 : explosion du marché des logiciels, augmentation des applications et des fonctionnalités des SIG, mise en réseau

On peut aujourd'hui ajouter deux grands points : la banalisation de l'informatisation des données géographiques avec les GPS, les sites de calcul d'itinéraires et des fonctionnalités comme GoogleMap et l'apparition des objets 3D. (Maguire.1991).

I.1.8. Les composantes d'un SIG :

Comme on a déjà cité un SIG possède cinq composantes principales : le matériel, les données, les utilisateurs, les logiciels et les méthodes. (Ould Ahmed ; 2005).



Fig.I. 9: Composantes d'un SIG.

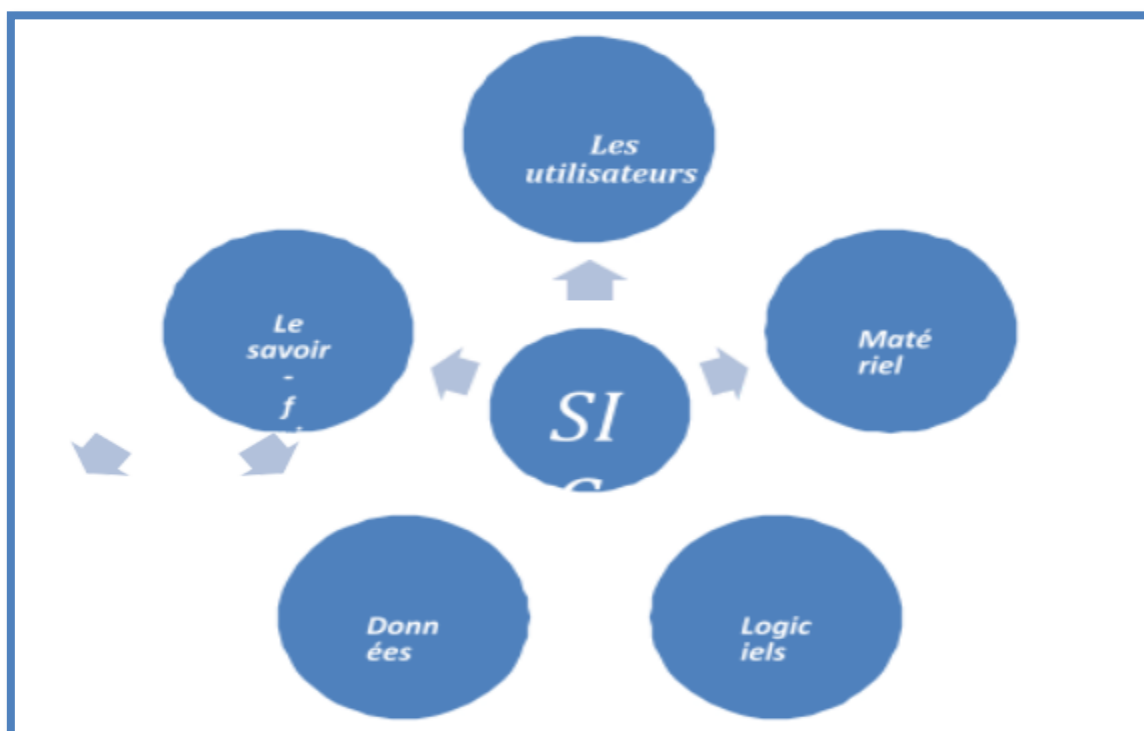


Fig.I. 10: Schéma des composantes d'un SIG

I.1.8.1. Le matériel

L'utilisation d'un SIG requiert l'utilisation d'un ou de plusieurs ordinateurs qu'ils soient autonomes ou en réseaux. De plus, on trouve aujourd'hui de plus en plus de systèmes client-serveur qui proposent des solutions de diffusion de cartes sur le web à partir duquel le client peut directement faire des requêtes.

I.1.8.2. Les données

Le premier aspect auquel on pense quand on évoque la notion de logiciel de cartographie informatique ou de système d'information géographique est celui de manipuler les données. Ces derniers sont indispensables au SIG.

I.1.8.2.1.Types de données dans un SIG :

Généralement pour qu'un objet spatial soit bien décrit et prêt à être utilisé par un SIG, trois informations doivent être fournies :

- sa position géographique dans l'espace
- sa relation spatiale avec les autres objets spatiaux : topologie
- son attribut, c'est à dire ce qu'est l'objet avec un caractère d'identification (code) Les systèmes d'information géographique permettent de traiter les données spatiales et associées. (Sauva nargues-Lesage S. et Aryle P.A ; 2009)

I.1.8.2.1.1.Données spatiales :

Elles déterminent les caractéristiques spatiales d'une entité géographique où sont représentés et identifiés tous les éléments graphiques :

- La localisation : coordonnées par rapport à une échelle graphique de référence.
- La forme : point, ligne, surface.
- La taille : longueur, périmètre, surface.

Les informations font référence à des objets de trois types :

- Point : est désigné par ses coordonnées et à la dimension spatiale la plus petite.
- Ligne : à une dimension spatiale constituée d'une succession de points proches les uns des autres.
- Polygone (zone ou surface) : est un élément de surface défini par une ligne fermée ou la ligne qui le délimite. (Sauvagnargues-Lesage S. ET Ayral P.A; 2009).

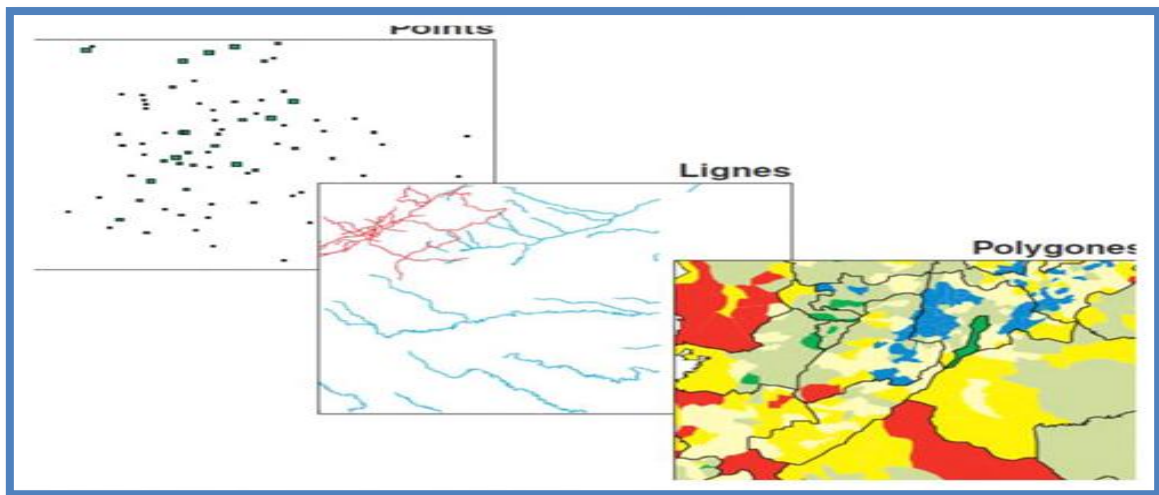


Fig.I. 11: Données spatiales

I.1.8.2.1.2. Données associées :

Les données associées des entités géographiques permettent de compléter la représentation géométrique de l'entité spatiale. Chaque élément de l'espace reçoit un code d'identification qui peut être numérique ou littéral. Ce code constitue en quelque sorte une étiquette caractérisant le point, la ligne ou le polygone. Parmi ces données il faut distinguer :

I.1.8.2.1.3. Données de classification :

Ces données permettent de ranger le point isolé, la ligne ouverte ou la ligne fermée, dans une catégorie : limite administrative, contour de parcelle, bordure de trottoir, arbre d'alignement, conduite de réseau d'eau... Souvent ces distinctions seront prises en compte par l'organisation même du travail de saisie. Tout se passe, comme si l'on distinguait plusieurs couches d'informations, que l'on saisit successivement. . (Ould Ahmed ; 2005)

I.1.8.2.1.4. Données d'identification :

Ces données permettent d'individualiser chaque objet figurant sur le plan : nom propre de l'objet, par exemple nom de la commune ou numéro Permettant de l'identifier : numéro de parcelle, numéro de vanne...

I.1.8.2.1.5. Données attributaires :

Ces données viennent apporter une information supplémentaire, propre à chaque objet identifié : le propriétaire de la parcelle, le diamètre de la conduite d'eau... Souvent ces informations sont déjà disponibles sur des fichiers informatiques, où elles sont liées à l'identifiant de chaque objet. En général, la classe d'objet est déterminée, au moins en partie, par le processus de digitalisation, les identifiants étant introduits souvent en bloc à la fin. (Ould Ahmed ; 2005).

I.1.8.3. Les utilisateurs:

Les SIG s'adressent à des utilisateurs très différents (urbanistes, géographes, élus, militaires, commerciaux, informaticiens...) et aujourd'hui, en particulier avec l'apparition des SIG sur Internet n'importe qui peut être amené à utiliser un SIG.

I.1.8.4. Les logiciels

Les logiciels font le lien entre les données, le matériel et les utilisateurs. A partir d'une interface graphique, l'utilisateur va interroger une base de données afin de visualiser et d'analyser ces différentes informations.

I.1.8.5. Les méthodes ou savoir-faire

Différentes compétences techniques sont indispensables à la mise en œuvre et à l'exploitation des SIG comme par exemple des connaissances en géodésie, en analyse des données, en sémiologie graphique ou encore en traitement informatique.

I.1.9. Les fonctionnalités du SIG :

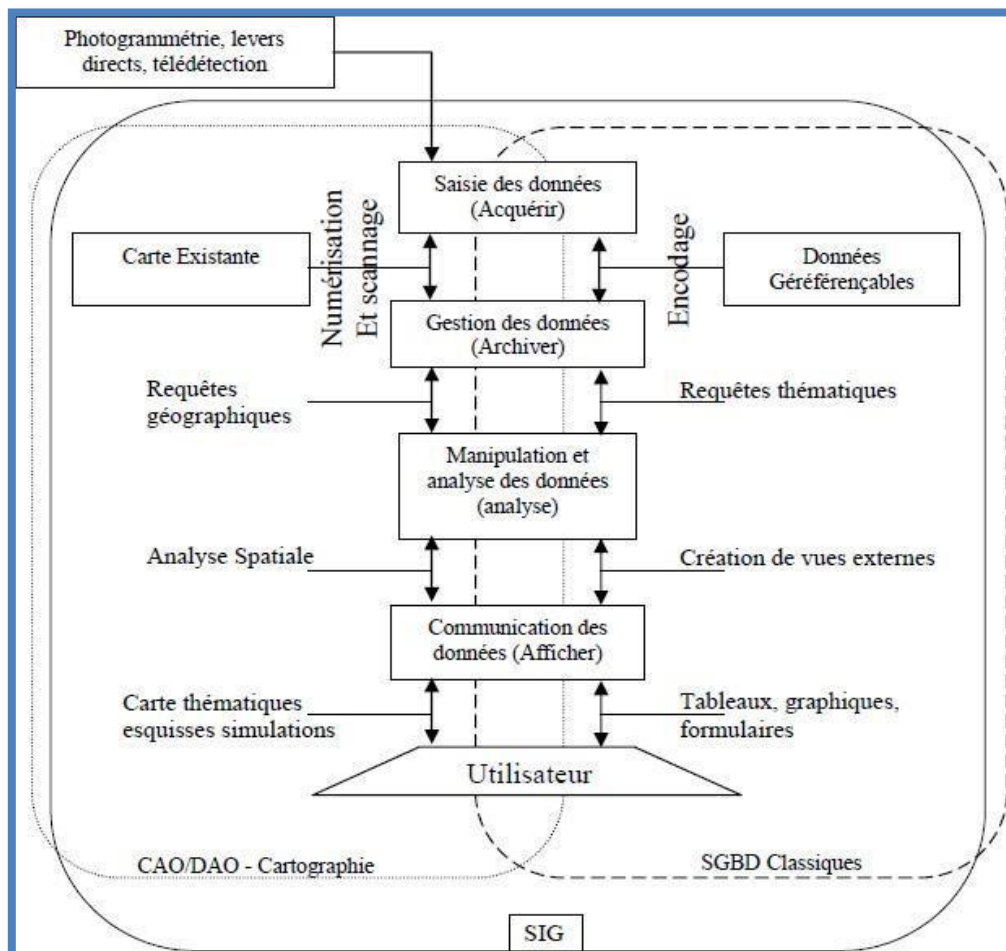


Fig.I. 12 : Les fonctionnalités du S.I.G [NOTTET, 2002].

I.1.9.1. Abstraction

L'abstraction consiste à modéliser le problème afin de le rendre compréhensible par le plus grand nombre possible, de faciliter sa conception ultérieure et de s'assurer de respecter certaines normes de conception. Cette partie concerne plus particulièrement le système de gestion de base de données (SGBD).

I.1.9.2.Acquisition

L'acquisition concerne la récupération et la création des données. Il existe différentes sources d'acquisition : les organismes nationaux et internationaux, les producteurs locaux, les collectivités territoriales, les géomètres, la numérisation des cadastres ou encore la localisation du patrimoine. Il existe différentes techniques d'acquisition permettant d'intégrer les données selon quatre modes différents :

I.1.9.2.1.Techniques acquisition de données

Dans la pratique, les données géographiques proviennent de sources différentes, ont des modes d'acquisition différents, sont sur des médias différents, on dit qu'elles sont multi sources. Certaines données sont directement mesurées sur le terrain ou captées à distance, ou saisies à partir de cartes ou de plans existants, ou récoltées par des organismes de production de données et ensuite importées. Il s'agira d'intégrer ces données hétérogènes, car de qualité, de fiabilité, de précision et d'extensions spatiales bien différentes. Nous présentons dans ce qui suit les principales méthodes d'acquisition de données :

- a. Numérisation : La numérisation (digitalisation ou vectorisation) permet de récupérer la géométrie des objets disposés sur un plan ou une carte préexistante. Elle consiste à faire évoluer un curseur sur un plan posé sur une table à digitaliser et préalablement calé en coordonnées. La table est réceptive aux signaux électriques émis par le curseur. Elle peut localiser ces signaux sur le plan de la table avec une précision de l'ordre du dixième de millimètre (BOUKLI HACENE Cherifa et RABAH FISSA Amin.2011.)
- b. Balayage électronique (scénarisation) : Le balayage électronique (réalisé avec un scanner) est un autre moyen de saisir un plan existant. Il est plus rapide que la digitalisation manuelle.
- c. Photogrammétrie : La photogrammétrie aérienne est utilisée de façon systématique pour constituer les cartes à moyenne échelle. Elle est retenue également dans les pays dont la couverture cartographique et géodésique est déficiente et utilisée pour la constitution de plans à grande échelle pour un coût qui peut être très avantageux.
- d. Images satellitaires (télédétection) : La télédétection est un moyen très commode de créer les données à introduire dans les SIG. Il s'agit en effet d'utiliser, dans des conditions particulières et rigoureuses, soit les photographies aériennes, soit les images enregistrées et transmises par satellite

e. Import de fichiers : C'est une façon de réduire les coûts de saisie et de récupérer des données existantes et de les convertir au format, au système d'unités et au système de projection souhaités.

I.1.9.2.2. Les modes d'acquisition des données

a) Le mode Raster : Le mode raster ou mode matriciel décrit l'image sous la forme d'une matrice de pixels. Chaque matrice représente une couche d'information.

b) Le mode vecteur Ce sont des points, des lignes, des poly lignes ou des polygones qui sont déterminé.

c) Le mode TIN (Triangulâtes Irrégulier Network) L'image est découpé en un maillage triangulaire dont les cellules sont de forme et de taille différentes. Ce mode de représentation permet de réduire le nombre de données en adaptant la taille des triangles aux discontinuités de l'image pour la représentation de réalités continues. La localisation idéale des nœuds du réseau est malgré tout fastidieuse. . (Maguire.1991)

d) Le mode MNT (Modèle Numérique de Terrain) Les points numérisés indiquent l'altitude du terrains par leurs coordonnées.

I.1.9.3. Analyse

L'analyse spatiale se distingue selon qu'elle se base sur des données sémantiques ou des données géométriques. L'analyse spatiale sémantique repose sur l'étude, par des requêtes ou des calculs, de données alphanumériques afin de décrire qualitativement ou quantitativement certaines caractéristiques d'une région. Cette description se fait souvent de manière cartographique et elle se doit de respecter les règles de sémiologies graphiques. Les données qualitatives non ordonnées sont représentées par des couleurs différentes, des formes, des différences de texture ou d'orientation. Les données qualitatives ordonnées ou quantitatives relatives sont représentées par un dégradé d'une seule et même couleurs ou l'affichage de valeurs. Les données quantitatives absolues sont représentées par une variation de taille. L'analyse spatiale géométrique est l'étude des formes, des positions et des relations entre les objets comme le calcul de distances, d'intersections ou d'exclusions par exemple. Il est alors possible de travailler sur la topologie. Ces analyses sont possibles grâce aux différentes fonctionnalités que proposent les logiciels de SIG. .(Maguire.1991)

I.1.9.4. Archivage

L'archivage permet de stocker les informations de manière réfléchie afin d'y accéder le plus rapidement possible. Pour les données alphanumériques, le stockage peut être réalisé grâce aux différents systèmes de gestion de base de données selon le modèle abstrait prédéfini. Néanmoins, une grande partie des informations sémantiques est encore contenue dans des fichiers plats c'est-à- dire des

fichiers textes structurés. Pour les images, il existe une multitude de formats de stockage qui comprennent ou non les données sémantiques... (Sauvagnargues,et AyratP.A; 2009)

I.1.9.5.Affichage

L'affichage peut se faire sur différents supports. La plupart du temps, le SIG installé sur une machine fixe est capable de lire un ou plusieurs formats d'images et de manipuler des bases de données afin d'afficher sur l'écran les informations voulues. Aujourd'hui, il devient possible de ne plus installer le logiciel directement sur sa machine et de réaliser ses requêtes et l'affichage des résultats directement par Internet. Que ce soit directement sur l'ordinateur ou par internet, l'affichage ne peut se faire que sur une machine capable d'intégrer ces logiciels et ces outils assez coûteux en mémoire.

I.1.10.Le rôle du SIG :

Le rôle du système d'information est de proposer une représentation plus ou moins réaliste de l'environnement spatial en se basant sur des primitives graphique (vecteur) ou des maillages (raster). À ces primitives sont associées des informations qualitatives telles que la nature (route, voie ferrée, forêt, etc.) ou toute autre information contextuelle (HAMENNI, 2011).

*Acquisition, archivage, analyse, affichage,abstraction

*Organisation des données descriptives et des données géométriques(IAAT, 2003) :

*Acquérir revient à alimenter le SIG en données.Les fonctions d'acquisition consistent à entrer d'une part la forme des objets géographiques et d'autre part leurs attributs et relations;

*Archiver consiste à transférer les données de l'espace de travail vers l'espace d'archivage (disquedur).Cette fonction dépend de l'architecture du logiciel avec la présence intégrée ou non d'un Système de Gestion de Base de Données (SGBD);

*Analyser permet de répondre aux questions que l'on se pose;

*Afficher pour produire des cartes de façon automatique, pour percevoir les relations spatiales entre les objets, pour visualiser les données sur les écrans des ordinateurs;

*Abstraire revient à concevoir un modèle qui organise les données par composants géométriques et par attributs descriptifs ainsi qu'à établir des relations entre les objets.

I.1.11.Domains d'application :

Les domaines d'application des S.I.G sont aussi nombreux que variés (Fig.I.14). Citons cependant :

-Les applications touchant l'environnement (météorologie, océanographie, changement climatique) ;

-L'aménagement du territoire (ex. urbanisme, agriculture de précision et sylviculture)

-La prospection (ex. pétrole, gaz) ;

- La prévention et la gestion des catastrophes naturelles ;
- La surveillance des traités (OCDE, 2004), (ex. environnement, désarmement (C3R)).

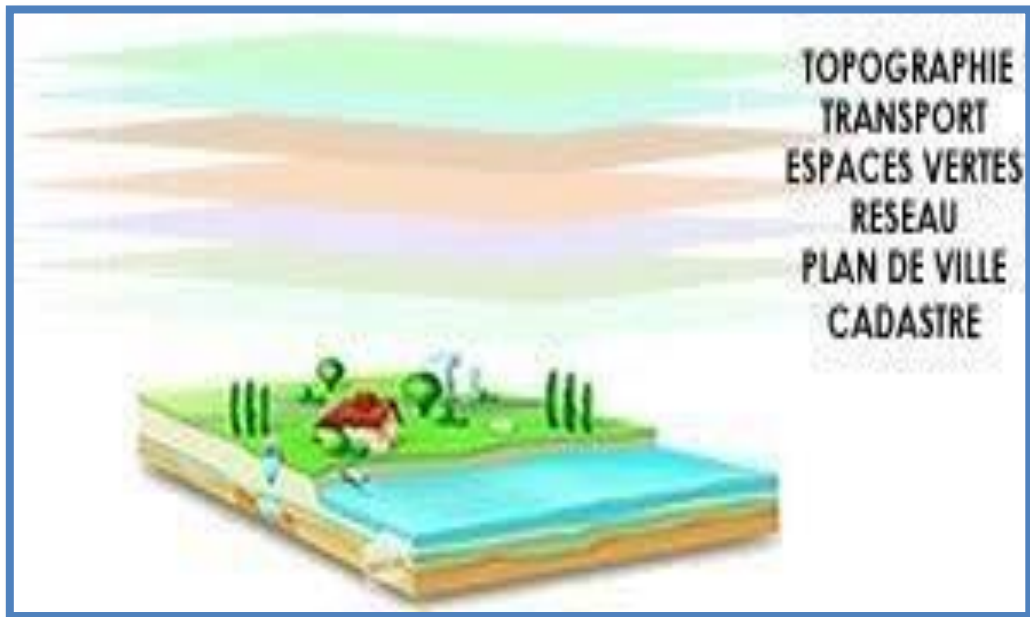


Fig.I. 13:Domaines d’application du SIG.

I.1.12.Présentation des principaux logiciels de SIG :

Logiciels en mode vectoriel :

•ArcGIS :

Il est conçu par la société ESRI. ArcGIS 9x est constitué de différents éléments :

- ArcGIS Desktop : suite intégrée d’applications S.I.G professionnelles ;
- ArcGIS Engine : composants pouvant être incorporés par des développeurs afin de personnaliser des applications S.I.G;
- Applications S.I.G pour serveur : ArcSDE®, ArcIMS® et ArcGIS Server ;
- Applications S.I.G nomades : ArcPad®, ainsi qu’ArcGIS Desktop et ArcGIS Engine pour les tablettes PC.

ArcGIS Desktop comprend une suite d’applications intégrées :ArcCatalog, ArcMap, ArcGlobe, ArcToolbox ainsi que ModelBuilder. Il est vendu sous trois niveaux incluant plus ou moins de fonctionnalités : ArcView, ArcEditor et ArcInfo.

- ArcMap : application centrale qui effectue toutes les tâches associées aux cartes, y compris la cartographie, l’analyse spatiale et la mise à jour ;
- ArcCatalog : organisation et gestion des données ;
- ArcToolBox et ModelBuilder : géotraitement ;
- ArcGlobe : visualisation 3D dynamique.

L'une des suites logicielles les plus complètes du marché, ArcGIS propose également de nombreuses extensions telles que Spatial Analyste (module raster) et 3D Analyst.

•**MapInfo :**

Mapinfo est un logiciel S.I.G qui présente une interopérabilité importante, en raison d'un convertisseur de formats intégrés. Sur le plan des fonctions disponibles, il est moins complet qu'ArcGIS mais s'avère toutefois suffisant pour de nombreuses applications. Afin de pouvoir effectuer des calculs raster, il est nécessaire de lui adjoindre le module additionnel Vertical Mapper.

•**Géo concept :**

Il est développé par une société française, ce logiciel se démarque de la majorité de ses concurrents en proposant une organisation basée sur un modèle "objet" et non sur une association table/entité.

•**APIC :**

D'une conception française, ce logiciel fonctionne également en mode objet et il est particulièrement adapté pour la gestion des réseaux. Basé sur un langage de programmation en français, il est caractérisé par une adaptabilité élevée. Issu du monde UNIX, son application Windows est relativement austère, ce qui limite en partie sa diffusion.

•**Geomedia :**

La suite logicielle Geomedia comprend une gamme importante de logiciels :

- GeoMedia Professional : digitalisation, analyse, présentation cartographique etc. ;
- GeoMedia Terrain : création et analyse de MNT ;
- GeoMedia Image : traitement d'images ;
- GeoMediaGrid : analyse de données raster ;
- GeoMedia : version allégée de GeoMediaProfessional ;
- GeoMediaWebMap : applications Web SIG; -Ainsi que Image Station Stereo for GeoMedia, GeoMedia Fusion, GeoMedia Transaction Manager, GeoMedia VPF.

•**StarGIS :**

La société belge « STAR Informatique » propose une gamme variée de logiciels SIG :

- STAR GIS est une plate-forme S.I.G bureautique conçue pour interroger et mettre à jour des bases de données, produire des rapports, réaliser des analyses thématiques etc ;
- STAR NeXt est une plate-forme S.I.G par Internet ;
- WinSTAR est un S.I.G professionnel.

• **Manifold** : il est proche de MapInfo, ce logiciel est d'une diffusion actuellement anecdotique en France.

- **Savane** : Il s'agit d'une suite logicielle particulièrement complète. Ce logiciel souffre d'une interopérabilité très limitée et d'une architecture complexe, ce qui explique sa diffusion limitée au monde universitaire.
- **Jump** : c'est un logiciel S.I.G vectoriel gratuit, il intègre toutes les fonctionnalités de base nécessaires à la gestion d'un S.I.G de taille réduite.

Logiciels en mode RASTER :

- **IDRISI** : est un S.I.G en mode image, ainsi qu'un système puissant de traitement d'images, développé par l'université américaine de Clark.
- **SAGA** : il s'agit d'un logiciel modulaire libre. SAGA propose de nombreuses potentialités, notamment en ce qui concerne l'analyse topographique.
- **Grass** : c'est un logiciel libre et très complet. Grass offre une interopérabilité importante et présente l'avantage de pouvoir fonctionner sous Linux.
- **Visualiseurs** : il est gratuit et il permet de lire un nombre très important de formats S.I.G propriétaires.

Modeles numeriques d'altitude :

Depuis les années 1990, la puissance des micros ordinateurs a permis le large développement des Modèles Numériques de Terrain .Sous ce vocable on confond souvent l'ensemble de programme permettant de traiter la topographie d'une zone (leMNT.au sens strict) et les altitudes aux nœuds d'un maillage régulier couvrant la zone d'étude (le Modèle Numérique d 'Altitude). A partir d'un MNA., le MNT permet de calculer automatiquement tous les paramètres classiques tels que la pente, l'orientation des versants, etc...il peut également déduire de la topographie et à part tir d'un point exutoire donné, retrouver les contours d'un bassin versant, le réseau hydrographique, etc. La plus grande difficulté consistait à digitaliser le relief à partir de supports cartographiques(HAMENNI, 2011).Le modèle numérique d'altitude (MNA) offre une représentation numérique du relief d'un territoire généré à partir de données altimétriques (altitude) et planimétriques (rectangulaires ou géographiques). Un MNA peut être représenté sous différentes formes et suivant son exploitation (CharleuxDemargne, 2001). Les représentations les plus courantes sont les suivantes. (Fig. I.14).

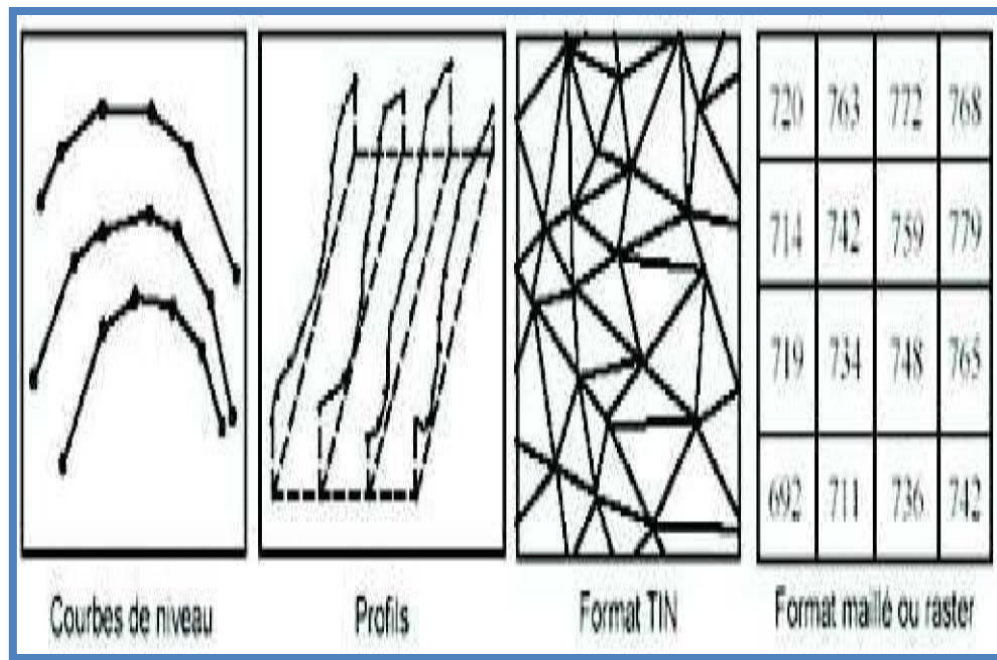


Fig.I. 14:Les différents formats de MNT.

Une nouvelle approche est développée pour la représentation altimétrique fondée sur la Triangulation de Delaunay(TIN), c'est-à-dire l'approche géométrique des MNT (ROGNANT, 2000).Le résultat n'est plus une grille régulière, mais un réseau de triangles irréguliers reliant un ensemble de points en nombre fini dont l'altitude est connue .Le MNA est calculé à partir de cet ensemble de points. Comme pour les MNA raster, ces points sont aussi ceux de construction des courbes de niveau. Contrairement au MNA raster, le TIN n'est interpolé qu'à partir des points existants. Il s'agit ici d'une dessellations irrégulière. A partir de cette approche (TIN), il est possible de déterminer plusieurs attributs du modèle numérique d'altitude tels que des attributs topographiques (élévation, orientation, pente, surface, courbure) qui influencent diverses grandeurs intervenant directement dans les processus d'écoulement(ROCHE, 1963).Etant donné, que nous disposons des courbes de niveau à l'échelle 1/50 000, la structure TIN (Triangular Irregular Network) est une adaptation du modèle vectoriel pour la représentation de la topographie (Gatre, 1991 ; Laurini et Thomson, 1992). Ainsi, grâce au SIG, nous avons pu obtenir le Modèle Numérique d'Altitude (MNA) de la zone d'étude et déduire les fichiers dérivés notamment carte hypsométrique, situation géographique, les cartes de répartition spatiale, etc. à l'aide d'un SIG (ArcGis et GvSig).La projection utilisée dans cette étude est celle de coordonnées kilométriques Lambert. (HAMENNI, 2011).

Et en fin les cartes ont une place toute particulière au sein d'un SIG. Le processus de réalisation d'une carte avec un Système d'Information Géographique est beaucoup plus souple qu'une carte produite manuelle ou automatisée. Les informations existantes sur support papier peuvent être digitalisées et toutes les autres sources informatiques sont facilement intégrées au sein du SIG. Le SIG offrent à la cartographie moderne de nouveaux modes d'expression permettant d'accroître de façon significative

son rôle pédagogique. Les cartes créées avec un SIG peuvent désormais facilement intégrer des rapports, des vues 3D. Aujourd'hui, le développement de techniques modernes d'acquisition et de mise à disposition d'informations digitales a rendu possible la représentation à la fois de la topographie du milieu par le biais de modèle numérique d'altitude (MNA) ainsi que la représentation de l'occupation des sols par le biais de photographies aériennes ou de données satellitaires. Ces informations servent de plus en plus à la description des caractéristiques physiques des bassins versants et à la cartographie numérique de leur couverture (HAMENNI, 2011).

I.2. Hydrologie et bassin versant :

1.2.1. Cycle et bilan hydrologique :

1.2.1.1. Introduction :

L'hydrologie peut se définir comme l'étude du cycle de l'eau et l'estimation de ses différents flux.

L'hydrologie au sens large regroupe :

- la climatologie, pour la partie aérienne du cycle de l'eau (précipitations, retour à l'atmosphère, transferts, etc.) ;
- l'hydrologie de surface au sens strict, pour les écoulements à la surface des continents ;
- l'hydrodynamique des milieux non saturés pour les échanges entre les eaux de surface et les eaux souterraines (infiltration, retour à l'atmosphère à partir des nappes, etc.) ;
- l'hydrodynamique souterraine (sensu stricto) pour les écoulements en milieux saturés.

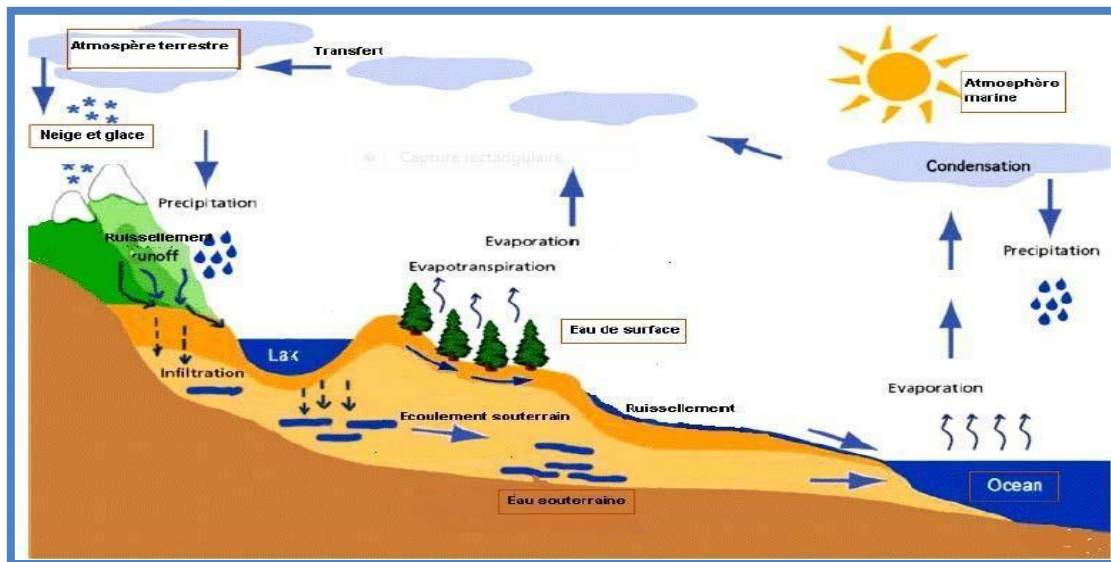


Fig.I. 15: Cycle Hydrologique.

1.2.1.2. L'EAU :

Généralité :

L'eau est la source principale et originelle de toute vie. Elle se présente, dans la nature, sous trois états : Solide : neige et glace. Liquide : eau chimiquement pure ou chargée en solutés. Gazeux : à différents degrés de pression et de saturation. Le changement de phase de l'eau dépend essentiellement de la température et de la pression mais aussi du degré de pollution de l'atmosphère. La figure suivante donne les différentes conditions de pression et de température pour les trois états de l'eau, ainsi que les transformations de phase.

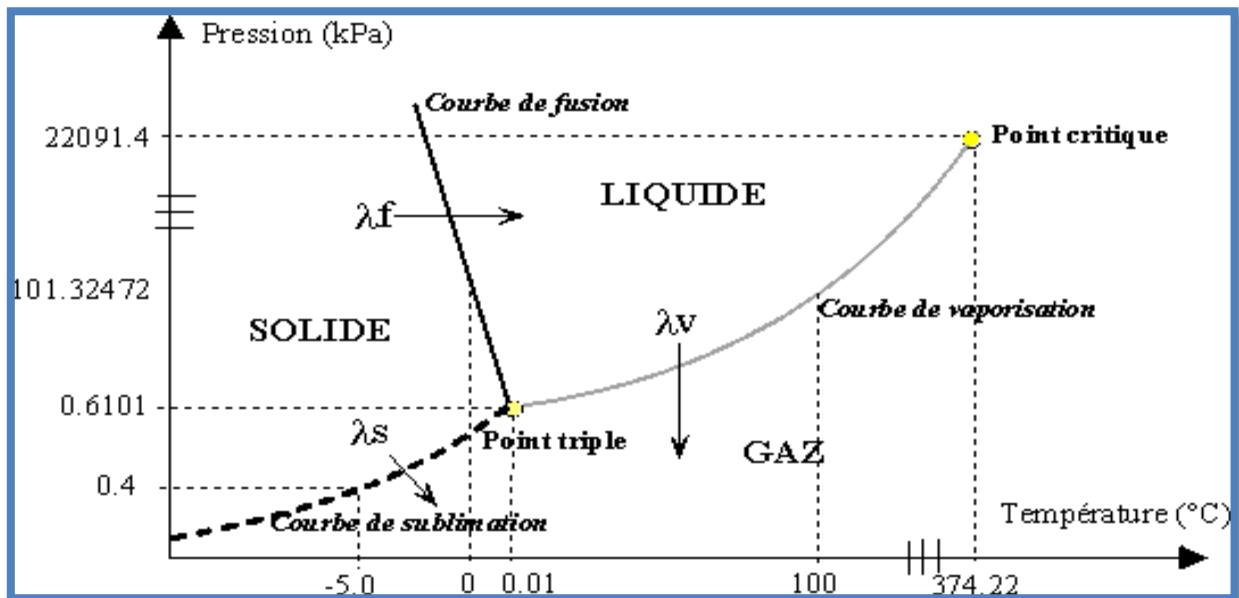


Fig.I. 16: Diagramme de phase de l'eau [Musy, 2003].

L'eau se retrouve, sous ses trois formes dans l'atmosphère terrestre. Les eaux sont en constante circulation sur la terre et subissent des changements d'état. L'importance de ces modifications fait de l'eau le principal agent de transport d'éléments physiques, chimiques et biologiques. L'ensemble des processus de transformation et de transfert de l'eau forme le cycle hydrologique. Les mécanismes des mouvements de l'eau dans la nature sont déterminés par l'énergie thermique solaire, la gravité, l'attraction solaire, l'attraction lunaire, la pression atmosphérique, les forces intermoléculaires, les réactions chimiques, nucléaires et les activités biologiques, et enfin les activités humaines. L'énergie thermique du soleil produit une circulation de l'air dans l'atmosphère, en raison du fait que la surface terrestre est réchauffée de façon inégale. La force de gravité est responsable des phénomènes de précipitations, de ruissellement, d'infiltration et de courant de convection. L'attraction solaire et lunaire est à l'origine des marées et des courants marins. Les différences de pression atmosphérique occasionnent les déplacements horizontaux de l'air. Les vents sont eux-mêmes responsables du mouvement des couches superficielles dans les lacs et les océans. Les forces intermoléculaires dans le sol provoquent les phénomènes capillaires ainsi que la viscosité et influencent donc la vitesse d'écoulement. L'eau est une des composantes de plusieurs réactions chimiques organiques ou inorganiques. Un autre type de transformation de l'eau est le processus physiologique qui se produit

dans l'organisme animal. Finalement, l'homme intervient directement sur les processus de mouvement et de transformation de l'eau. Son action peut conduire à une meilleure gestion de sa plus précieuse ressource naturelle, mais elle peut aussi causer de nombreux problèmes, notamment en perturbant le cycle hydrologique, tant au niveau quantitatif que qualitatif (Musy et Higy, 2003).

1.2.1.3. DEFINITION ET COMPOSANTES DE CYCLEHYDROLOGIQUE :

Le cycle hydrologique est un concept qui englobe les phénomènes du mouvement et du renouvellement des eaux sur la terre. C'est une succession des phases par lesquelles l'eau passe de l'atmosphère à la terre et retourne à l'atmosphère : évaporation à partir des terres, des mers ou des nappes d'eau continentales, condensation en nuages, précipitations, accumulation dans le sol ou à sa surface et ré évaporassions (Makhlouf, 2015). Sous l'effet du rayonnement solaire, l'eau évaporée à partir du sol, des océans et des autres surfaces d'eau, entre dans l'atmosphère. L'élévation d'une masse d'air humide permet le refroidissement général nécessaire pour l'amener à saturation et provoquer la condensation de la vapeur d'eau sous forme de gouttelettes constituant les nuages, en présence de noyaux de condensation. Puis la vapeur d'eau, transportée et temporairement emmagasinée dans les nuages, est restituée par le biais des précipitations aux océans et aux continents.

La figure montre le cycle hydrologique : l'eau, de l'atmosphère, tombe sur terre sous forme de précipitation, pénètre dans les eaux de surface ou percole dans la surface de saturation et l'eau souterraine avant de remonter dans l'atmosphère par transpiration et évaporation pour recommencer le cycle.

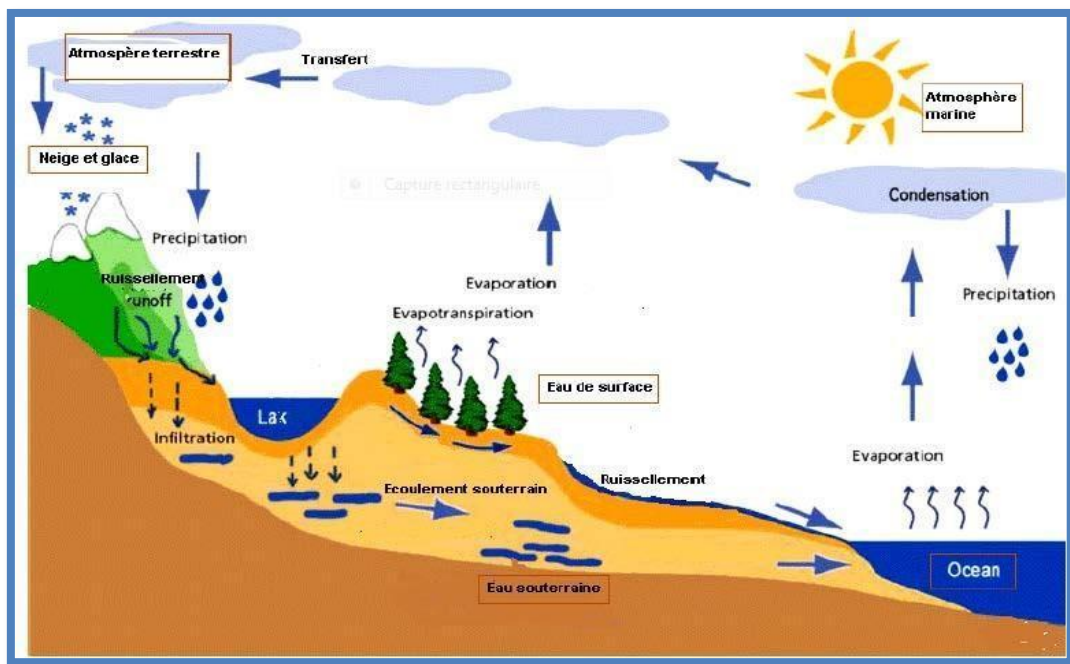


Fig.I. 17:Représentation du cycle de l'eau [Makhlouf ,2015].

A-Les précipitations :

Sont dénommées précipitations toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle) et les précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre...). Elles sont provoquées par un changement de température ou de pression. La vapeur d'eau de l'atmosphère se transforme en liquide lorsqu'elle atteint le point de rosée par refroidissement ou augmentation de pression. Pour produire la condensation, il faut également la présence de certains noyaux microscopiques, autour desquels se forment des gouttes d'eau condensées. La source de ces noyaux peut être océanique (chlorides, en particulier NaCl produit par l'évaporation de la mer), continentale (poussière, fumée et autres particules entraînées par des courants d'air ascendants) ou cosmiques (poussières météoriques). Le déclenchement des précipitations est favorisé par la coalescence des gouttes d'eau. L'accroissement de poids leur confère une force de gravité suffisante pour vaincre les courants ascendants et la turbulence de l'air, et atteindre le sol. Enfin, le parcours des gouttes d'eau ou des flocons de neige doit être assez court pour éviter l'évaporation totale de la masse.

Les précipitations sont exprimées en intensité (mm/h) ou en lame d'eau précipitée (mm) (rapport de la quantité d'eau précipitée uniformément répartie sur une surface), (Musy *et al*, 2004).

B.L'évaporation/l'évapotranspiration :

L'évaporation se définit comme étant le passage de la phase liquide à la phase vapeur, il s'agit de l'évaporation physique. Les plans d'eau et la couverture végétale sont les principaux solides (glace) en vapeur. Le principal facteur régissant l'évaporation est la radiation solaire.

Le terme évapotranspiration englobe l'évaporation et la transpiration des plantes (Makhlouf, 2015). On distingue :

* L'évapotranspiration réelle (ETR) : somme des quantités de vapeur d'eau évaporées par le sol et par les plantes quand le sol est à une certaine humidité et les plantes à un stade de développement physiologique et sanitaire spécifique.

* L'évapotranspiration de référence (ET₀) (anciennement évapotranspiration potentielle) : quantité maximale d'eau susceptible d'être perdue en phase vapeur, sous un climat donné, par un couvert végétal continu spécifié (gazon) bien alimenté en eau et pour un végétal sain en pleine croissance. Elle comprend donc l'évaporation de l'eau du sol et la transpiration du couvert végétal pendant le temps considéré pour un terrain donné.

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 devront 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. (Musy et al, 2004).

C.L'interception et le stockage dans les dépressions :

La pluie (ou dans certains cas la neige) peut être retenue par la végétation, puis redistribuée en une partie qui parvient au sol et une autre qui s'évapore. La partie n'atteignant jamais le sol forme l'interception. Son importance est difficile à évaluer et souvent marginale sous nos climats, donc souvent négligée dans la pratique. Le stockage dans les dépressions est, tout comme l'interception, souvent associé aux pertes. On définit l'eau de stockage comme l'eau retenue dans les creux et les dépressions du sol pendant et après une averse

La quantité d'eau susceptible d'être interceptée varie considérablement. Si la végétation offre une grande surface basale ou foliaire, donc un important degré de couverture, la rétention d'eau peut atteindre jusqu'à 30% de la précipitation totale pour une forêt mixte, 25% pour les prairies et 15% pour les cultures. L'effet respectif de l'interception et du stockage dans les dépressions est très variable et diminue au cours de l'averse. Il provoque en générale un retard dans le démarrage et la réaction hydrologique qui peut être perçue à l'exutoire du sousbassin (Musy, et Higy, 2003).

D.L'infiltration et la percolation :

L'infiltration désigne le mouvement de l'eau pénétrant dans les couches superficielles du sol et l'écoulement de cette eau dans le sol et le sous-sol, sous l'action de la gravité et des effets de pression. La percolation représente plutôt l'infiltration profonde dans le sol, en direction de la nappe phréatique. Le taux d'infiltration est donné par la tranche ou le volume d'eau qui s'infiltre par unité de temps (mm/h ou m³/s). La capacité d'infiltration ou l'infiltrabilité est la tranche d'eau maximale qui peut s'infiltrer par unité de temps dans le sol et dans des conditions données. L'infiltration est nécessaire pour renouveler le stock d'eau du sol, alimenter les eaux souterraines et reconstituer les réserves aquifères. De plus, en absorbant une partie des eaux de précipitation, l'infiltration peut réduire les débits de ruissellement (Makhlouf, 2015).

E. Les écoulements :

De par la diversité de ses formes, on ne peut plus aujourd'hui parler d'un seul type d'écoulement mais bien des écoulements. On peut distinguer en premier lieu les écoulements rapides des écoulements souterrains plus lents. Les écoulements qui gagnent rapidement les exutoires pour constituer les crues se subdivisent en écoulement de surface (mouvement de l'eau sur la surface du sol) et écoulement de surface (mouvement de l'eau dans les premiers horizons du sol). L'écoulement souterrain désigne le mouvement de l'eau dans le sol. On peut encore ajouter à cette distinction les écoulements en canaux ou rivières qui font appel à des notions plus hydrauliques qu'hydrologiques (à

l'exception des méthodes de mesures comme nous le verrons ultérieurement). Au-delà de cette distinction simpliste, on remarquera que les écoulements peuvent aussi se signaler par leur domaine d'application. L'écoulement de surface caractérise un écoulement sur une surface et s'exprime généralement par un rapport volume / surface / temps [L³/L²/T]. Il est ainsi souvent exprimé en millimètre par année hydrologique dans les études de bilans ou encore en litres par secondes et par hectares dans le cadre de projet d'aménagement des terres et des eaux (drainage ou irrigation). Les écoulements souterrains et en rivière font explicitement référence à la notion de débit, à savoir à un volume d'eau traversant une section par unité de temps [L³/T], (Musy et al, 2004).

1.2.1.4. LE BILAN HYDROLOGIQUE:

Le cycle de l'eau peut être analysé schématiquement selon les trois éléments suivants :

- Les précipitations,
- le ruissellement ou écoulement de surface et l'écoulement souterrain,
- l'évaporation.

Dans chacune des phases on retrouve respectivement un transport d'eau, un emmagasinement temporaire et parfois un changement d'état. L'estimation des quantités d'eau passant par chacune des étapes du cycle hydrologique peut donc se faire à l'aide d'une équation de bilan appelée "bilan hydrologique" qui représente le bilan des quantités d'eau entrant et sortant d'un système défini dans l'espace (entité naturelle en générale) et dans le temps, à savoir l'année hydrologique (période d'une année très souvent différente de l'année civile).

L'équation du bilan hydrique se fonde sur l'équation de continuité et peut s'exprimer comme suit, pour une période et un espace donnés :

$$P + S = R + E + (S + \Delta S)$$

Avec:

P: précipitations (liquide ET solide) [mm];

S: ressources disponibles à la fin de la période précédente (eaux souterraines, humidité du sol, neige, glace) [mm];

R: ruissellement de surface ET écoulements souterrains [mm];

E: évaporation (y compris évapotranspiration) [mm];

S + ΔS: ressources accumulées à la fin de la période étudiée [mm].

Sous sa forme la plus générale et pour une période déterminée (mois, année), ce bilan peut s'écrire

Encore sous la forme simplifiée suivante :

$$E = I - O \pm \Delta S \text{ avec :}$$

E: évaporation [mm],

I: flux d'eau entrant [mm],

O: flux d'eau sortant [mm],

ΔS : variation de stockage (positive ou négative) [mm].

Si $\Delta S \cong 0$ (bassin versant naturel relativement imperméable), la différence entre les débits entrant (Les précipitations) et sortant correspond au déficit d'écoulement. Ce déficit d'écoulement représente essentiellement les pertes dues à l'évaporation. Il peut être estimé à l'aide de mesures (pluies et débits) ou de méthodes de calcul (formules de Turc et Coutagne).

1.2.2. LE BASSIN VERSANT ET SON COMPLEXE :

1.2.2.1. DEFINITION DE BASSIN VERSANT :

Le bassin versant est une surface élémentaire en théorie hydrologiquement close, c'est-à-dire qu'aucun écoulement n'y pénètre de l'extérieur et que tous les excédents de précipitations s'évaporent ou s'écoulent par une seule section à l'exutoire.

On définit aisément le bassin versant topographique limité par une ligne de partage des eaux, mais celui-ci peut différer du bassin versant réel à cause des circulations souterraines ou à cause d'effets anthropiques.

Le bassin versant représente, en principe, l'unité géographique sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrologique et de ses effets.

Le bassin versant en une section d'un cours d'eau est défini comme la surface drainée par ce cours d'eau et ses affluents en amont de la section. Tout écoulement prenant naissance à l'intérieur de cette surface doit donc traverser la section considérée, appelée exutoire, pour poursuivre son trajet vers l'aval. Les différents paramètres du bassin versant (forme, altitude, pente, relief...etc.) interviennent dans les différents écoulements (Laborde, 2009).

Plus précisément, le bassin versant qui peut être considéré comme un " système " est une surface élémentaire hydrologiquement close, c'est-à-dire qu'aucun écoulement n'y pénètre de l'extérieur et que tous les excédents de précipitations s'évaporent ou s'écoulent par une seule section à l'exutoire (Talatizi, 2014).

Le bassin versant en une section droite d'un cours d'eau, est donc défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de cette section. Il est entièrement caractérisé par son exutoire, à partir duquel nous pouvons tracer le point de départ et d'arrivée de la ligne de partage des eaux qui le délimite (Musy et Higy, 2003).

Généralement, la ligne de partage des eaux correspond à la ligne de crête. On parle alors de bassin versant topographique. Toutefois, la délimitation topographique nécessaire à la détermination en surface du bassin versant naturel n'est pas suffisante. Lorsqu'un sol perméable recouvre un

substratum imperméable, la division des eaux selon la topographie ne correspond pas toujours à la ligne de partage effective des eaux souterraines.

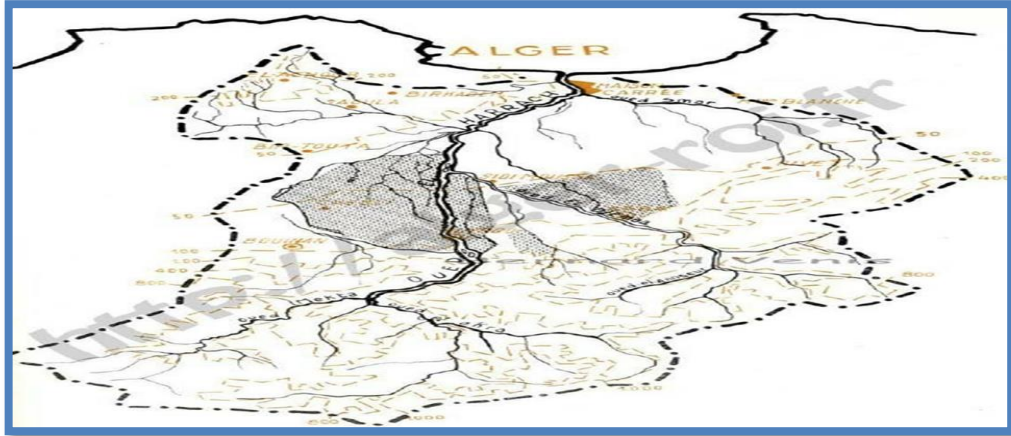


Fig.I. 18:Exemple d'un Bassin versant topographique
[L'Algérois, Talatizi.2014].

Le bassin versant est alors différent du bassin versant délimité strictement par la topographie. Il est appelé dans ce cas bassin versant réel.

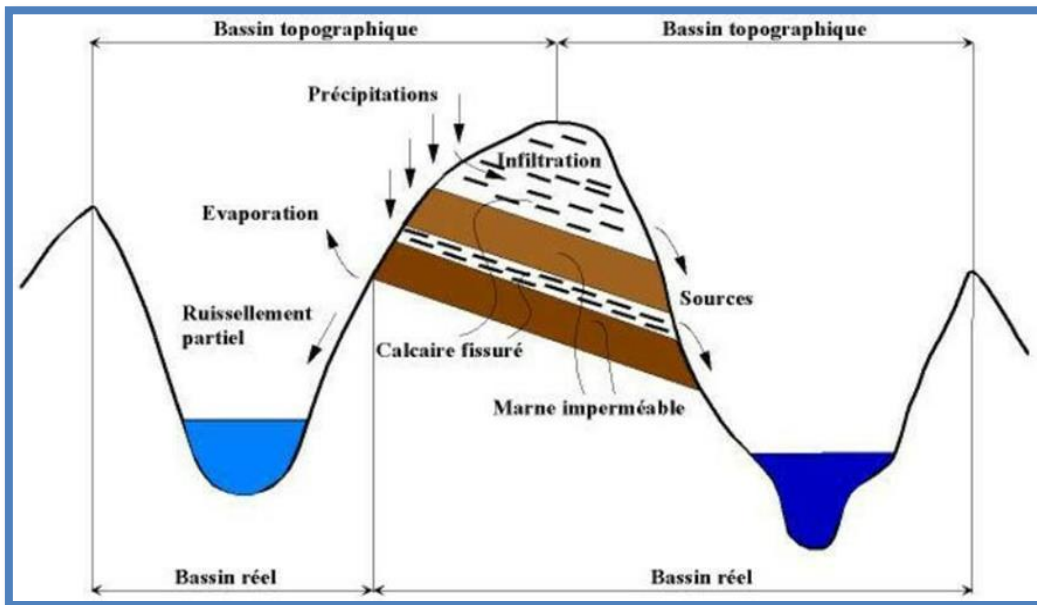


Fig.I. 19:Distinction entre bassin versant réel et bassin versant topographique [Musy et al ,2004]. Cette différence entre bassins réel et topographique est tout particulièrement importante en région karstique. Lorsque l'on s'intéresse au ruissellement, la délimitation du bassin versant doit aussi tenir compte des barrières artificielles (routes, chemins de fer, etc.). En effet, l'hydrologie du bassin versant, et notamment la surface drainée, peuvent être modifiées par la présence d'apports latéraux artificiels (réseaux d'eaux usées ou potables, drainages, routes, pompages ou dérivations artificielles modifiant le

bilan hydrologique). Il convient donc également de définir, en plus des délimitations topographiques, les limites souterraines de ce système. De plus, il est aussi nécessaire de tenir compte des effets anthropiques relatifs aux eaux du système (Talatizi, 2014).

1.2.2.2. LE COMPORTEMENT HYDROLOGIQUE:

L'analyse du comportement hydrologique d'un bassin versant (système hydrologique) s'effectue le plus souvent par le biais de l'étude de la réaction hydrologique du bassin face à une sollicitation (la précipitation). Cette réaction est mesurée à l'exutoire du système hydrologique par l'observation d'un hydro gramme qui n'est autre que la représentation de l'évolution du débit Q en fonction du temps t .

La vitesse de réaction et son intensité sont fonction du type et de l'intensité de la précipitation qui le sollicite mais aussi du temps de concentration des eaux sur le bassin.

Les courbes isochrones représentent les courbes d'égal temps de concentration des eaux sur le bassin versant. Le tracé du réseau des isochrones permet donc de comprendre en partie le comportement hydrologique d'un bassin versant et l'importance relative de chacun de ses sous bassins.

Le temps de concentration t_c des eaux sur un bassin versant se définit comme le maximum de durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et l'exutoire de ce dernier. (Musy et al, 2004).

Il est composé de trois termes différents :

th: Temps d'humectation. Temps nécessaire à l'imbibition du sol par l'eau qui tombe avant qu'elle ne ruisselle.

tr: Temps de ruissellement ou d'écoulement. Temps qui correspond à la durée d'écoulement de l'eau à la surface ou dans les premiers horizons de sol jusqu'à un système de collecte (cours d'eau naturel, collecteur).

ta: Temps d'acheminement. Temps mis par l'eau pour se déplacer dans le système de collecte jusqu'à l'exutoire.

Le temps de concentration t_c est donc égal au maximum de la somme de ces trois termes, soit:

ttcc = max ($\sum(ttKK+ttrr+ttaa)$) Théoriquement on estime que T_c est la durée comprise entre la fin de la pluie nette et la fin du ruissellement. Pratiquement le temps de concentration peut être déduit de mesures sur le terrain ou s'estimer à l'aide de formules le plus souvent empiriques (Hingray et al, 2009).

1.2.2.3. CARACTERISTIQUE PHYSIQUE ET LEUR INFLUENCES SURL'ECOULEMENT DES EAUX :

I.2.3.1. Les caractéristiques géométriques :

A. La surface: Le bassin versant étant l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau, les débits vont être en partie reliés à sa surface. La surface du bassin versant peut être mesurée par superposition d'une grille dessinée sur papier transparent, par l'utilisation d'un planimètre ou, mieux, par des techniques de digitalisation (Musy et Higy, 2003).

B. La forme: La forme d'un bassin versant influence l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire du bassin versant. Par exemple, une forme allongée favorise, pour une même pluie, les faibles débits de pointe de crue, ceci en raison des temps d'acheminement de l'eau à l'exutoire plus importants. Ce phénomène est lié à la notion de *temps de concentration* (Talatizi, 2014). En revanche, les bassins en forme d'éventail (bv1), présentant un temps de concentration plus court (t_{c1}), auront les plus forts débits de pointe, comme le montre la figure suivante :

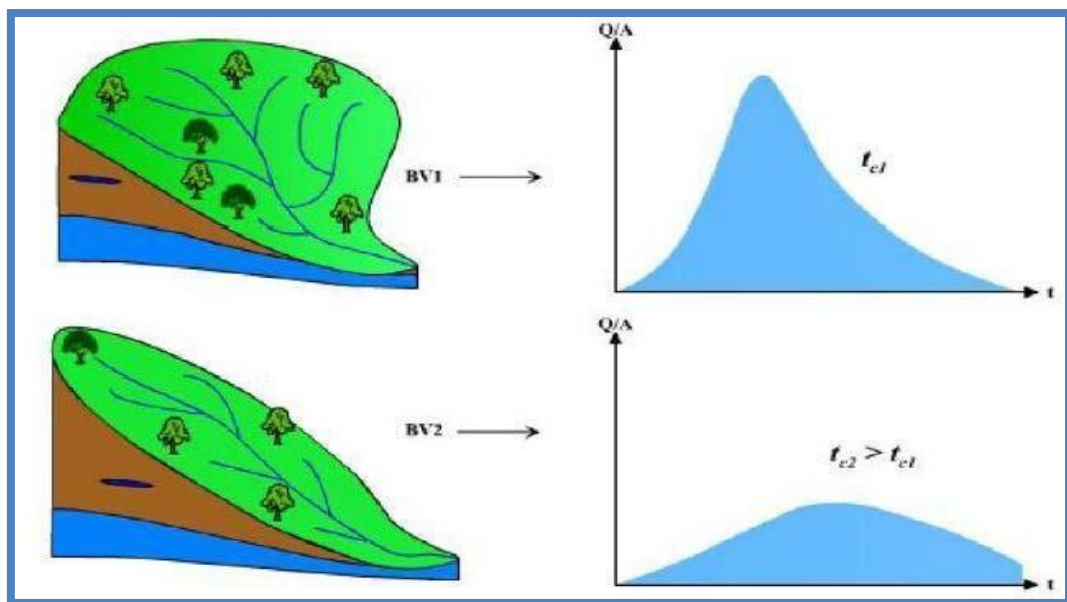


Fig.I. 20: Influence de la forme du bassin versant sur l'hydro gramme de crue [Musy ,2003].

Il existe différents indices morphologiques permettant de caractériser le milieu, mais aussi de comparer les bassins versants entre eux. Citons à titre d'exemple l'*indice de compacité de Gravelius* (1914) KG, défini comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface :

$$KG = \frac{P}{\sqrt{A}} \approx 0,28 \sqrt{\frac{P^2}{A}}$$

Avec :

KG est l'indice de compacité de Gravelius,

A : surface du bassin versant [km²],

P : périmètre du bassin [km].

Cet indice se détermine à partir d'une carte topographique en mesurant le périmètre du sous bassin versant et sa surface. Il est proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire et supérieur à 1 lorsque le bassin est de forme allongée, tel qu'illustré par la figure I.22.

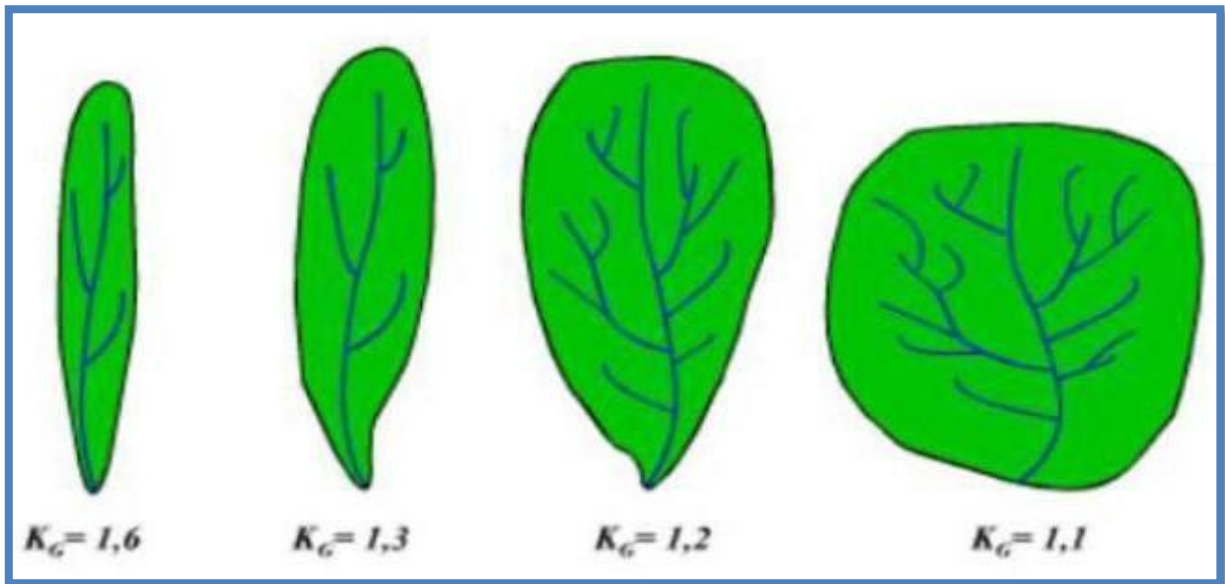


Fig.I. 21:Exemples d'indices de compacité [Musy et al,2003].

C .Le relief :

L'influence du relief sur l'écoulement se conçoit aisément, car de nombreux paramètres hydrométéorologiques varient avec l'altitude (précipitations, températures, etc.) et la morphologie du bassin. En outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement. Le relief se détermine lui aussi au moyen d'indices ou de caractéristiques suivants :

C.1. La courbe hypsométrique :

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse la surface (ou le pourcentage de surface) du bassin qui se trouve au-dessus (ou au-dessous) de l'altitude représentée en ordonnée (Fig. I.23.). Elle exprime ainsi la superficie du bassin ou le pourcentage de superficie, au-delà d'une certaine altitude (Musy et al,2004).

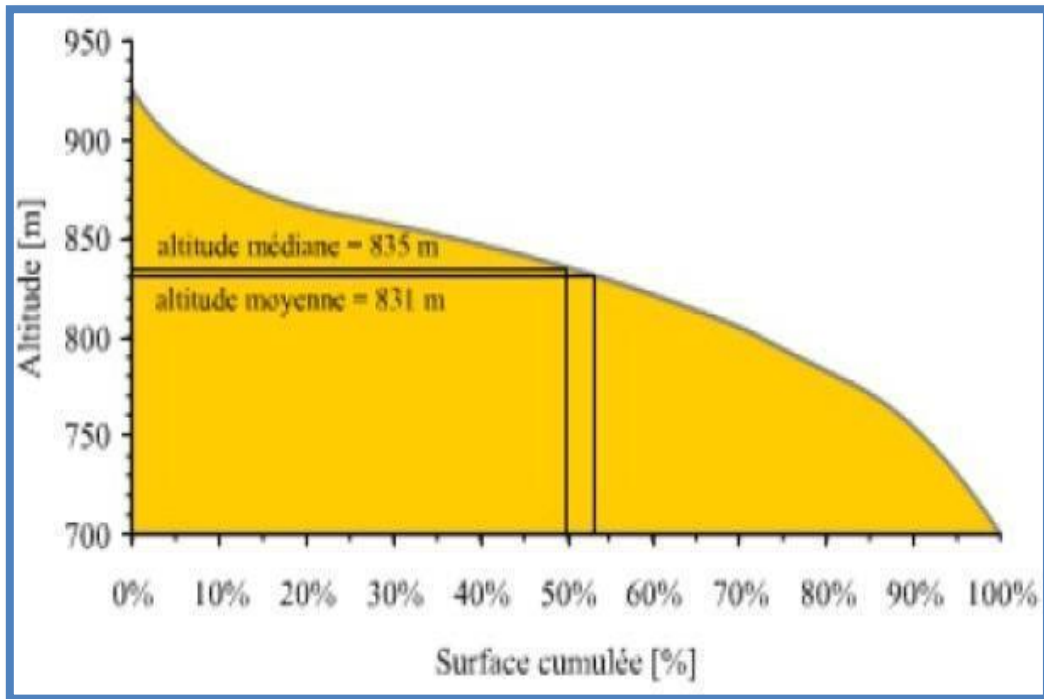


Fig.I. 22: courbe hypsométrique du bassin versant de la Haute-Mentu [Talatizi,2014].

Ajoutons que lorsqu'on désire caractériser des bassins versants de haute montagne, on a l'habitude de tracer des courbes hypsométriques glaciaires, en planimètresAQ les surfaces recouvertes de glace. Les courbes hypsométriques demeurent un outil pratique pour comparer plusieurs bassins entre eux ou les diverses sections d'un seul bassin. Elles peuvent en outre servir à la détermination de la pluie moyenne sur un bassin versant et donnent des indications quant au comportement hydrologique et hydraulique du bassin et de son système de drainage.

C.2. Les altitudes caractéristiques

C.2.1. Les altitudes maximale et minimale :

Elles sont obtenues directement à partir de cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement à l'exutoire. Ces deux données deviennent surtout importantes lors du développement de certaines relations faisant intervenir des variables climatologiques telles que la température, la précipitation et le couvert neigeux. Elles déterminent l'amplitude altimétrique du bassin versant et interviennent aussi dans le calcul de la pente (Musy et Higy, 2003).

C.2.2. L'altitude moyenne :

L'altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique. On peut la définir comme suit : $H_{moy} = \frac{\sum A_i H_i}{\sum A_i}$

Avec :

H_{moy} : altitude moyenne du bassin [m] ;

A_i : aire comprise entre deux courbes de niveau [km²] ;

H_i : altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m] ;

A : superficie totale du bassin versant [km²].

L'altitude moyenne est peu représentative de la réalité. Toutefois, elle est parfois utilisée dans l'évaluation de certains paramètres hydrométéorologiques ou dans la mise en oeuvre de modèles hydrologiques (Talatizi, 2014).

C.2.3. L'altitude médiane :

L'altitude médiane correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique. Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière. (Musy et al, 2004).

C.3. La pente moyenne du bassin versant :

La pente moyenne est une caractéristique importante qui renseigne sur la topographie du bassin. Elle est considérée comme une variable indépendante. 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 (Musy et Higy, 2003).

Plusieurs méthodes ont été développées pour estimer la pente moyenne d'un bassin. Toutes se basent sur une lecture d'une carte topographique réelle ou approximative. 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 :

A	m
A	$=DDL$

Où :

m : pente moyenne [m/km ou 0/00],

L : longueur totale de courbes de niveau [km],

D : équidistance entre deux courbes de niveau [m],

A : surface du bassin versant [km²].

Cette méthode de calcul donne de bons résultats dans le cas d'un relief modéré et pour des courbes de niveau simples et uniformément espacées. Dans les autres cas, il convient de styliser les courbes de niveau pour que leur longueur totale ait un sens réel vis-à-vis de la pente. Le calcul de la pente moyenne tout comme celui de leur exposition (orientation des pentes) peut-être assez facilement automatisée en se basant sur des données numériques représentant la topographie des bassins versants (Modèle Numérique d'Altitude). Le recours à ces données et méthodes est vivement encouragé.

C.4. L'indice de pente i_p :

Cet indice se calcule à partir du rectangle équivalent. Il est égal à la somme des racines carrées des pentes moyennes de chacun des éléments pondérés par la surface intéressée. La notion de rectangle équivalent ou rectangle de Gravelius, introduite par Roche (1963), permet de comparer facilement des bassins versants entre eux, en ce qui concerne l'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement. Le bassin versant rectangulaire résulte d'une transformation géométrique du bassin réel dans laquelle on conserve la même superficie, le même périmètre (ou le même coefficient de compacité) et donc par conséquent la même répartition hypsométrique. Les courbes de niveau deviennent des droites parallèles aux petits côtés du rectangle (Talatizi, 2014).

La climatologie, la répartition des sols, la couverture végétale et la densité de drainage restent inchangées entre les courbes de niveau (Talatizi, 2014).

1.2.2.4. L'INFILTRATION ET L'ÉCOULEMENT:

Introduction :

Les écoulements représentent une partie essentielle du cycle hydrologique. On a déjà vu que l'eau précipitée sur un bassin versant va se répartir en eau interceptée, évaporée, infiltrée et écoulee. La quantité d'eau collectée puis transportée par la rivière résultera des précipitations directes à la surface même du cours d'eau et des écoulements de surface et souterrain parvenant à son exutoire. La proportion entre ces deux types d'écoulements est définie par la quantité d'eau infiltrée dans le sol (Talatizi, 2014)

Les différents processus d'infiltration et d'écoulements participant à la génération de crue sont représentés de manière schématique dans la fig. (I.23)

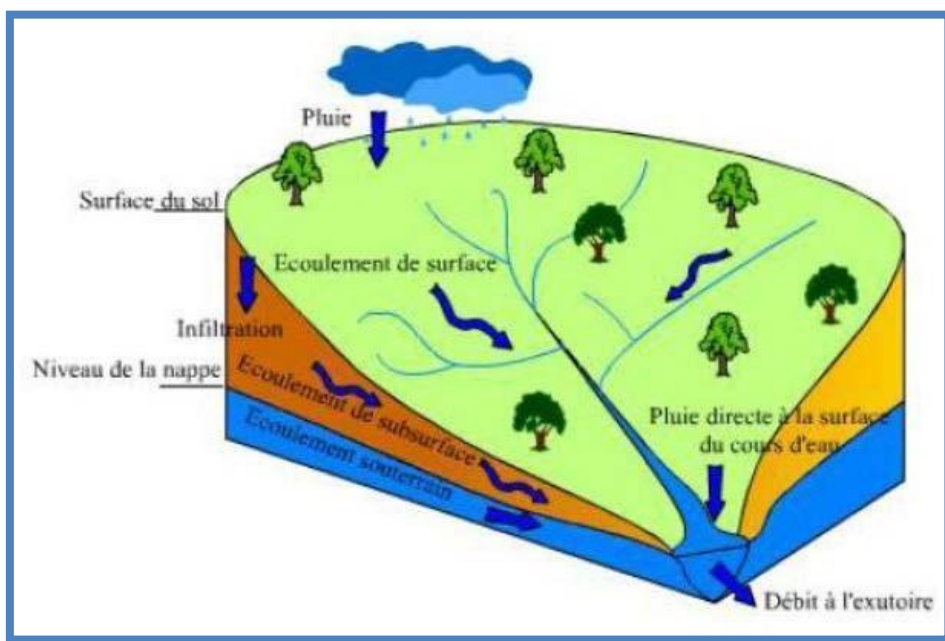


Fig.I. 23:Processus d'infiltration dans le sol et multiplicités des écoulements [Musy, 2003].

1.2.2.4.1. L'INFILTRATION :

L'estimation de l'importance du processus d'infiltration permet de déterminer quelle fraction de la pluie va participer à l'écoulement de surface, et quelle fraction va alimenter les écoulements souterrains et donc aussi participer à la recharge des nappes souterraines (Musy et Higy, 2003).

a-Définitions et paramètres descriptifs de l'infiltration :

L'infiltration qualifie le transfert de l'eau à travers les couches superficielles du sol, lorsque celui-ci reçoit une averse ou s'il est exposé à une submersion. L'eau d'infiltration remplit en premier lieu les interstices du sol en surface et pénètre par la suite dans le sol sous l'action de la gravité et des forces de succion. L'infiltration influence de nombreux aspects de l'hydrologie, du génie rural ou de l'hydrogéologie, (Musy et Soutter, 1991).

Afin d'appréhender le processus d'infiltration, on peut définir :

-Le régime d'infiltration $i(t)$, nommé aussi taux d'infiltration, qui désigne le flux d'eau pénétrant dans le sol en surface. Il est généralement exprimé en mm/h. Le régime d'infiltration dépend avant tout du régime d'alimentation (irrigation, pluie), de l'état d'humidité et des propriétés du sol.

-L'infiltration cumulative, notée $I(t)$, est le volume total d'eau infiltrée pendant une période donnée. Elle est égale à l'intégrale dans le temps du régime d'infiltration.

-La conductivité hydraulique à saturation K_s est un paramètre essentiel de l'infiltration. Il représente la valeur limite du taux d'infiltration si le sol est saturé et homogène.

-La capacité d'infiltration ou capacité d'absorption (ou encore infiltrabilité) représente le flux d'eau maximal que le sol est capable d'absorber à travers sa surface, lorsqu'il reçoit une pluie efficace ou s'il est recouvert d'eau. Elle dépend, par le biais de la conductivité hydraulique, de la texture et de la structure du sol, mais également des conditions aux limites, c'est à dire, la teneur en eau initiale du profil et la teneur en eau imposée en surface.

- La percolation désigne l'écoulement plutôt vertical de l'eau dans le sol (milieu poreux non saturé) en direction de la nappe phréatique, sous la seule influence de la gravité. Ce processus suit l'infiltration et conditionne directement l'alimentation en eau des nappes souterraines.

- La pluie nette représente la quantité de pluie qui ruisselle strictement sur la surface du terrain lors d'une averse. La pluie nette est déduite de la pluie totale, diminuée des fractions interceptées par la végétation et stockée dans les dépressions du terrain. La séparation entre la pluie infiltrée et la pluie écoulee en surface s'appelle fonction de production.

b. Facteurs influençant l'infiltration :

L'infiltration est conditionnée par les principaux facteurs ci-dessous :

***Le type de sol** (structure, texture, porosité) - Les caractéristiques de la matrice du sol influencent les forces de capillarité et d'adsorption dont résultent les forces de succion, qui elles-mêmes, régissent en partie l'infiltration (Musy et Soutter, 1991).

***La couverture du sol** - La végétation influence positivement l'infiltration en ralentissant l'écoulement de l'eau à la surface, lui donnant ainsi plus de temps pour pénétrer dans le sol. D'autre part, le système racinaire améliore la perméabilité du sol. Enfin, le feuillage protège le sol de l'impact de la pluie et diminue par voie de conséquence le phénomène de battance.

***La topographie et la morphologie** - La pente par exemple agit à l'opposé de la végétation. En effet, une forte pente favorise les écoulements au dépend de l'infiltration (Musy et Soutter, 1991).

***Le débit d'alimentation** (intensité de la précipitation, débit d'irrigation)(Talatizi,2014).

***La teneur en eau initiale du sol** (conditions antécédentes d'humidité) - L'humidité du sol est un facteur essentiel du régime d'infiltration, car les forces de succion sont aussi fonction du taux d'humidité du sol.(Musy et Soutter, 1991) .

1.2.2.4.2. LES ECOULEMENTS:

a. Généralités :

De par la diversité de ses formes, on ne peut plus aujourd'hui parler d'un seul type d'écoulement mais bien des écoulements. On distingue dans un premier temps deux grands types d'écoulements, à savoir : les écoulements « rapides » et par opposition, les écoulements souterrains qualifiés de « lents » qui représentent la part infiltrée de l'eau de pluie transitant lentement dans les nappes vers les exutoires. Les écoulements qui gagnent rapidement les exutoires pour constituer les crues se subdivisent en écoulement de surface et écoulement de subsurface :,(Musy et *al*, 2004).

b. L'écoulement de surface :

ou ruissellement est constitué par la frange d'eau qui, après une averse, s'écoule plus ou moins librement à la surface des sols. L'importance de l'écoulement superficiel dépend de l'intensité des précipitations et de leur capacité à saturer rapidement les premiers centimètres du sol, avant que l'infiltration et la percolation, phénomènes plus lents, soient prépondérants (Musy et *al*, 2004).

c. L'écoulement de subsurface :

ou écoulement hypodermique comprend la contribution des horizons de surface partiellement ou totalement saturés en eau ou celle des nappes perchées temporairement au-dessus des horizons argileux. Ces éléments de subsurface ont une capacité de vidange plus lente que l'écoulement superficiel, mais plus rapide que l'écoulement différé des nappes profondes (Musy et *al*, 2004).

d. L'écoulement souterrain :

Lorsque la zone d'aération du sol contient une humidité suffisante pour permettre la percolation profonde de l'eau, une fraction des précipitations atteint la nappe phréatique. L'importance de cet apport dépend de la structure et de la géologie du sous-sol ainsi que du volume d'eau précipité. L'eau va transiter à travers l'aquifère à une vitesse de quelques mètres par jour à quelques millimètres par an avant de rejoindre le cours d'eau. Cet écoulement, en provenance de la nappe phréatique, est appelé

écoulement de base ou écoulement souterrain. A cause des faibles vitesses de l'eau dans le sous-sol, l'écoulement de base n'intervient que pour une faible part dans l'écoulement de crue. De plus, il ne peut pas être toujours relié au même événement pluvieux que l'écoulement de surface et provient généralement des pluies antécédentes. L'écoulement de base assure en générale le débit des rivières en l'absence de précipitations et soutient les débits d'étiage (l'écoulement souterrain des régions karstiques fait exception à cette règle),(Talatizi,2014).

e.Ecoulement dû à la fonte des neiges :

L'écoulement par fonte de neige ou de glace domine en règle générale l'hydrologie des régions de montagne ainsi que celles des glaciers ou celles des climats tempérés froids. Le processus de fonte des neiges provoque la remontée des nappes ainsi que la saturation du sol. Selon les cas, il peut contribuer de manière significative à l'écoulement des eaux de surface(Talatizi,2014) .

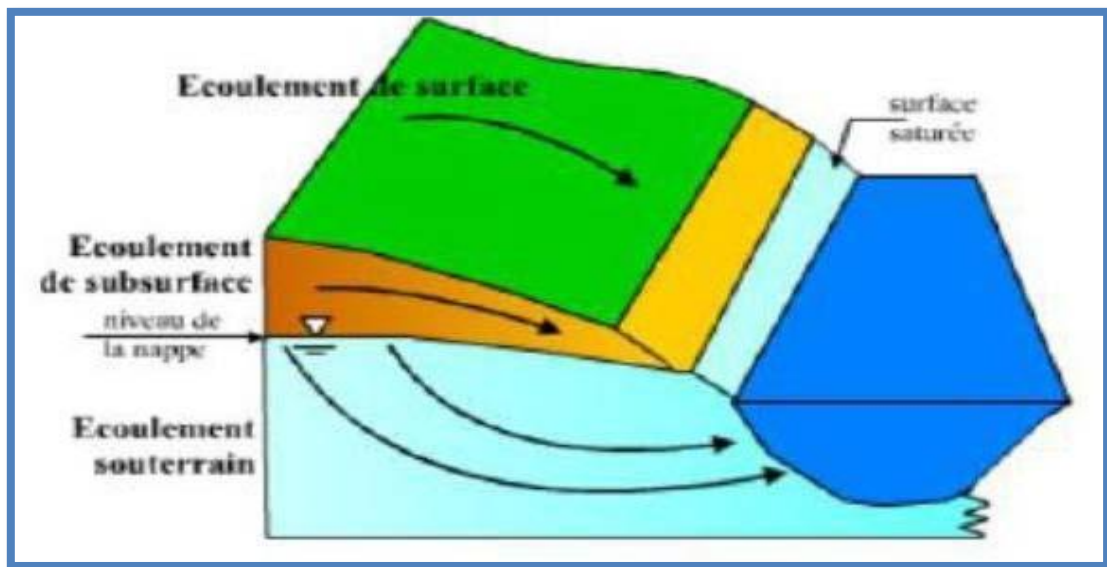


Fig.I. 24:Les différents types d'écoulements [Musy, 2003].

CHAPITRE II :
PRESENTATION DES
CARACTERISTIQUE
DU SOUS BASSIN
VERSANT D'OUED
SOUBELLA

Y = 3 952 558 m

Z = 725 m (fond de vallée)

Le sous bassin de Soubella est délimité par les coordonnées géographiques suivantes :

Xmin = 35° 23' 39''	Xmax = 5° 31' 13''
Ymin = 4° 48' 4''	Ymax = 35° 51' 10''

Du point du vue hydrologique, le sous bassin versant de Soubella appartient au grand bassin du Hodna codé 05 au répertoire de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques(ANRH). Ce dernier couvre une superficie d'environ 26 000 km² et comporte 24 sous bassins dont le 05-11, nommé le sous bassin de Soubella, fait objet de la présente étude (Fig.II.1.)

La vallée de Soubella présente un tracé sinueux caractérisé par des méandres le long de l'oued et un profil transversal en «V» créant ainsi des gorges étroites. La direction générale de cette vallée est Nord-Sud. Elle débouche vers le piémont par une gorge. Le tracé de la vallée de l'Oued Soubella suit une zone du point de vue géologique faible. Il épouse le passage de la transversale d'Ain Ousmane-Gueulai en amont puis la forme de la terminaison periclinale de Djebel Soubella. Les affluents suivent généralement des tracés de failles d'Oued El Hammam. Ils sont donc en parfaite adaptation avec les axes de la tectonique cassante.

II.2. LE CLIMAT DE LA REGION :

L'étude climatologique a pour objectif de fournir des données concernant la température de l'air, l'évaporation du plan d'eau, la vitesse du vent et la répartition de la pluie mensuelle dans le site d'étude. Ces données sont nécessaires pour effectuer une étude hydrologique fiable

A-Pluviométrie :

Est le facteur générateur de l'écoulement, son analyse nécessite tout d'abord la connaissance de l'état du réseau de mesure et de collecte de données.

Les données sur la pluviométrie moyenne sont tirées des valeurs observées à la station de Sidi Ouadah sur la période 1973-1999.

Tableau.II. 1:Caractéristiques de la station pluviométrique de sidi Ouadah.

Poste pluviométrique	Code Station	Altitude [m NGA]	Période d'observation
Sidi Ouadah	05.11.11	720	1974 – 1999

La pluviométrie moyenne annuelle au site du barrage de Soubella est estimée à 289 mm. La répartition mensuelle est présentée dans la Tableau.II.2 et illustrée en Figure II.2. La répartition mensuelle des précipitations est caractéristique d'un régime bimodal, avec de fortes pluies en automne-

hiver et au printemps. Les mois de juillet et août sont les mois les plus secs. La variabilité des précipitations au pas de temps annuel et mensuel est très élevée.

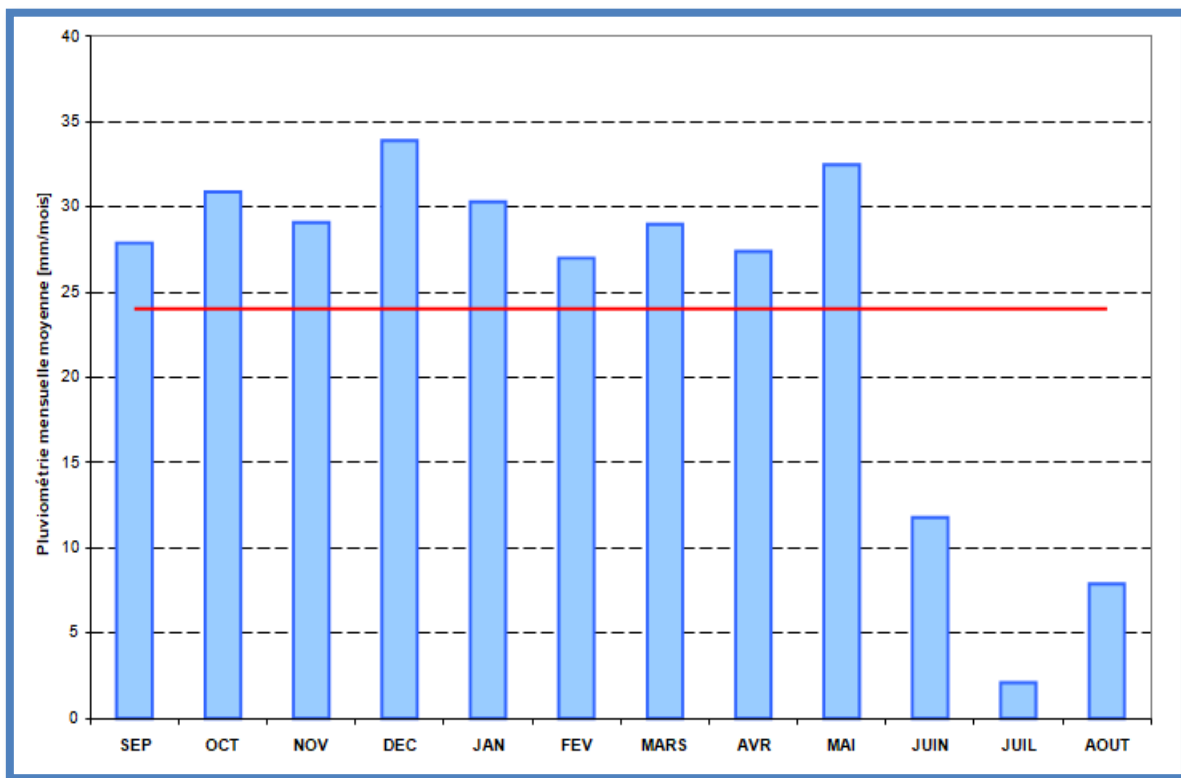


Fig.II. 2: Pluviométrie – Répartition mensuelle

Tableau.II. 2: Pluviométrie – Répartition mensuelle

(en mm)	s	o	n	d	j	f	m	a	m	j	j	a	an
Pluviométrie moyenne	27.9	30.9	29.1	33.9	30.3	27.0	29.0	27.4	32.5	11.8	2.1	7.9	289

B. Température :

Les températures moyennes mensuelles au voisinage du projet d'aménagement sont données dans la Tableau. II.2 et illustrées sur la(FigII.2.)Les mois de juin à septembre sont les mois les plus chauds avec un pic de chaleur en juillet/août (26°C). Les mois de décembre, janvier ET février sont les plus froids de l'année avec une température moyenne inférieure à 7 °C.

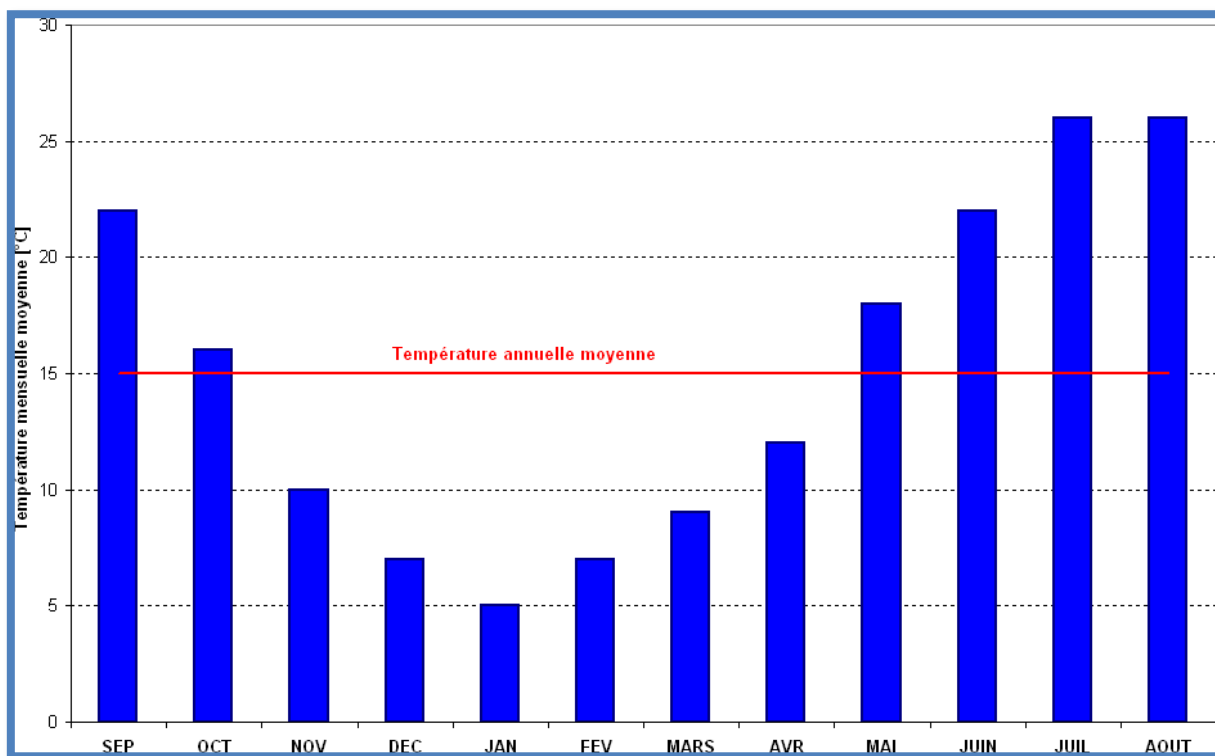


Fig.II. 3:Températures mensuelles moyennes.

Tableau.II. 3 : Températures mensuelles moyennes:

(en °C)	s	o	n	d	j	f	m	a	m	j	j	a	an
Température moyenne	22	16	10	7	5	7	9	12	18	22	26	26	15

Dans le bassin de Hodna les températures maximales moyennes suivent en général une répartition géographique : en plaine entre 24°C et 27 °C, dans les hauts plateaux et dans les zones d'altitude entre 19°C et 21°C. Les températures minimales moyennes varient entre 9°C et 12°C et entre 6°C et 9°C en plaine et en altitude respectivement.

Le gradient thermique annuelle en fonction de l'altitude est de 0,75°C pour une augmentation de 100 m d'altitude, comparé au gradient moyen admis en Algérie qui est de 0,55°C/100m (Bouthelja, 2005).

C. Le vent :

C'est un facteur favorisant l'évaporation, il transporte les couches d'air saturées qui sont près des surfaces de l'eau ou des sols pour être remplacées par des couches d'air plus au moins sec.

Les vents dominant sont ceux de l'ouest et du nord-ouest, ils sont fréquents pendant la période hivernale, et relayés par les vents du sud (sirocco) pendant la saison estivale (juin, juillet, aout) avec un nombre de jours variant entre 25 et 34 par ans (Bouthelja, 2005).

D'après les données des deux stations climatiques de l'Office Nationale de Météorologie, à Ghazel (M'sila) et à Bordj Bou Arreridj, c'est dans la période allant d'avril à août que les moyennes mensuelles sont les plus élevées, avec des valeurs supérieures à 4,5 m/s à M'sila et 3 m/s à BBA. Les écarts entre les vitesses moyennes mensuelles, en plus de la moyenne annuelle (4.32 et 2.95 m/s) à M'sila sont plus importants qu'à BBA (Grine, 2009).

d. Humidité :

L'humidité de l'air joue un rôle dans l'évaporation. Plus l'air n'est moins humide, il est apte à absorber de l'humidité supplémentaire. Le bassin du Hodna est caractérisé par un climat méditerranéen semi-aride. Une pluviométrie d'automne, d'hiver et de printemps avec une fréquence d'averses printanières qui engendrent des crues violentes quelquefois accompagnées de grêle. Une sécheresse d'été marquée avec une irrégularité des précipitations dans l'espace et dans le temps (Bouteldja(2005)).

La pluviométrie moyenne annuelle est de 400 mm au Nord et de 200 mm au Sud.

Les températures maximales moyennes oscillent entre 24°C et 27°C en plaine, 19°C et 21°C dans les hauts plateaux et dans les zones d'altitude.

Les températures minimales moyennes varient entre 9°C et 12°C en plaine, 6°C et 9°C dans les zones d'altitude.

L'évapotranspiration potentielle annuelle calculée d'après la formule de Turc varie entre 1085 et 1362 mm ; pour la majeure partie du bassin elle est de 1250 mm environ.

L'évaporation moyenne annuelle mesurée à la station M'Sila (bac classe A américain) après sa correction pour l'évaporation sur de grande surface libre est de 2120 mm(Hedjazi2009).

II.3.LE COUVERT VEGETALE :

Le couvert végétal influe beaucoup sur les quantités d'eau disponibles pour l'écoulement de surface. En effet, l'évapotranspiration par les végétaux est très importante, elle varie selon la nature des végétaux (forêts, cultures, prairies).

La répartition du couvert végétal et la part de chaque type de couvert dans chaque sous bassin versant dépend des caractéristiques physico-géographiques de chaque bassin, des caractéristiques climatiques qui en déroulent et de l'influence de l'action anthropique.

Pour le bassin duHodna on distingue :

Des superficies forestières dominantes Djebels Messaad (33 814ha), Medjedel (16 321ha), Slim (14 916ha), Maadhid (6 448ha), Hammam El Dalaa (16 819ha), Boussaâda (3 739ha) à base de Pin d'Alep ET Génévrier de Phénicie.Des superficies agricoles dans la plaine de M'sila qui propice aux cultures maraîchères (15 125ha), aux céréales (741 945ha) ET les arbres fruitiers (14 170ha) (Bourenane, 2008).

II.4.GEOLOGIE :

La morphologie est conditionnée par une succession de plis orientés OSO - ENE se traduisant par une alternance de crêtes allongées suivant les rides anticlinales (djebels) et decuvettes synclinales. Dans la région culminent Kef el Assa (1 745 m), Djebel bou Ich (1 702 m), Djebel Soubella (1 543 m), Djebel Rekiba (1 304 m), Djebel El Menajel (1 140 m), Djebel Riba (1 159 m) et Kef el Masmar (1 014 m), entre lesquels les cours pérennes de l'Oued Soubella et de son affluent l'Oued el Hammam ont entaillé leurs lits.

A la base des talus d'éboulis, provenant des falaises calcaires, apparaissent des sources de très faible débit. Seules les sources liées à des failles offrent un débit plus important. Deux sources fournissent des eaux thermales: l'Aïn Skhouna et l'Aïn el Hammam. Proviennent des calcaires de la base du Miocène, affectés ici par une faille inverse ayant permis une remontée d'eaux tièdes et légèrement sulfureuses.

II.4.1. Lithologie et stratigraphie

L'extrusion des Monts du Hodna et du massif du Bou Taleb amena à l'affleurement l'ensemble des sédiments d'âge s'étalant depuis le Trias jusqu'au Tertiaire. Cette surrection fut accompagnée d'une forte érosion et de l'accumulation de dépôts détritiques continentaux pendant le Quaternaire. Les argiles triasiques à gypse constituent l'unité lithologique la plus ancienne dans la zone d'étudiée. Le Jurassique inférieur est d'origine marine. A la base il est représenté par des calcaires dolomitiques saccharoïdes et par des calcaires oolithiques ou lithographiques surmontés par une série mince de marnes grises et rougeâtres. Le Jurassique moyen débute par des bancs puissants de calcaires à silice, suivies par une alternance de marnes et de calcaires gris plus ou moins siliceux. Il se termine par des calcaires pseudo-béchiens.

Le Jurassique supérieur débute avec des calcaires et des calcaires marneux noduleux renfermant des ammonites, qui alternent vers le haut avec des marnes. Dans la partie médiane se situe une formation puissante de grès de teinte grisâtre à bleuâtre. Ces grès forment généralement le substratum des dépressions topographiques. Le Jurassique supérieur se termine par des calcaires lités, souvent pseudo-bréchiens, qui alternent avec des marnes grises. La base du Crétacé inférieur comporte une alternance de marnes grises et de calcaires, une série puissante de marnes verdâtres et rougeâtres à lits de grès blanchâtres et une alternance de calcaires gréseux fossilifères, de couleur gris verdâtre, et de grès tendres. Le Crétacé inférieur se termine par des calcaires dolomitiques dans lesquels s'intercalent des marnes et des grès. Le Crétacé moyen débute par des calcaires, surmontés par une alternance de marnes grises ou verdâtres et de calcaires détritiques. Ces assises à prédominance marneuse forment des dépressions. Au sommet se trouvent des calcaires dolomitiques. Le Crétacé supérieur débute par une formation discordante détritique rougeâtre, composée de conglomérats, de grès et d'argiles, surmontée par des sédiments marins marneux, puis calcaires. Des

sédiments éocènes lagunaires ou marins et oligocènes continentaux constituent les couches basales du bassin formé dans le Tertiaire au sud des Monts du Hodna.

La transgression du Miocène inférieur débute par la sédimentation d'une série rouge-détritique grossière, discordante sur le substratum: c'est le Premier cycle Miocène. La série du Deuxième cycle Miocène débute par des calcaires gréseux plus ou moins conglomératiques reposant sur le conglomérat basal. Des calcaires marno-sableux, puis une série marneuse puissante, avec des intercalations de grès, complètent ce deuxième cycle de sédimentation. Le Miocène terminal marin et lagunaire est représenté par des marnes silteuses brunes rougeâtres, finement litées, avec des lentilles de gypse. Vers le sommet, elles passent progressivement à une série puissante détritique du Pliocène et Villafranchien continental. Le Quaternaire est représentée par des terrasses anciennes, des alluvions récentes, des cônes de déjection et des sédiments déposés dans les milieux lagunaires, marécageux et de sebkhas.

II.4.2 Tectonique régionale

Il est estimé que les failles orientées E-O à ONO-ESE, bien que relativement rares à l'affleurement, sont des accidents majeurs qui affectent probablement le substratum en profondeur.. Il convient aussi de signaler la faille inverse du forum de l'oued Soubella.

II.5. SOL :

La lithologie joue un rôle important sur le ruissellement, l'infiltration, l'érosion et le transport solide. Les matériaux géologiques se distinguent en formations meubles (sables, argiles, marnes) ou en formations consolidées (grés, calcaires, dolomies, ...).

La nature des affleurements a une influence sur l'hydrologie de surface et le type du dépôt alluvionnaire. L'aspect actuel de notre région d'étude est d'une longue évolution géologie que où le rôle prépondérant des monts du Bou Taleb est apparu très tôt.

II.6. Réseau hydrographique

II.6.1. Structure du réseau hydrographique :

Le sous bassin versant du SouBella, présente un réseau hydrographique dense à l'amont, souvent sous forme rectiligne qui semble être conditionnée par la fracturation (**Fig.II.4**). Il forme un réseau de type subparallèle. Au niveau de cette région, on peut dénombrer des talwegs jusqu'à l'ordre trois (3). De ce fait le drainage est dense et s'effectue par de nombreux oueds secondaires temporaires.

L'écoulement de ce dernier se fait à partir des monts du Hodna au Nord vers la plaine de Magra au Sud, avec un cheminement peu sinueux. L'Oued Sou Bella constitue l'un des principaux oueds de bassin du Hodna.

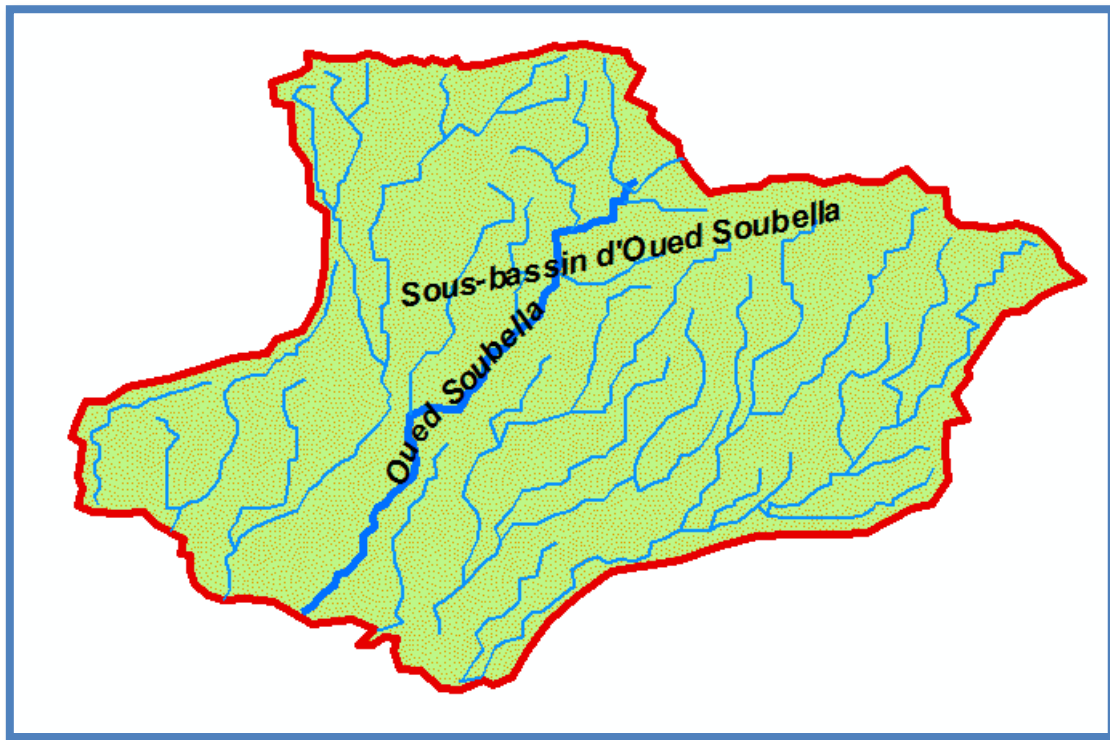


Fig.II. 4:le réseau hydrographique.

II.6.2. Densité de drainage Dd

Ce paramètre caractérise le réseau hydrographique et exige une classification des cours d'eau qui le constituent. Cette classification a nécessité l'établissement d'un plan du chevelu hydrographique complet du sous bassin versant de l'Oued Sou Bella au 50 000ème . Les résultats obtenus pour le sous bassin sont mentionnés dans le tableau ci-dessous.:

Tableau.II. 4 .Nombre et longueur des cours d'eau.

Ordre	Nx	Lx (km)	Σ Lx
1	61	1199	1626.2km
2	32	350	
3	13	77.2	

Avec : NX : Nombre de talwegs d'ordre X.

LX : Longueur de talwegs d'ordre X.

La densité de drainage (Dd) se détermine par la relation suivante :

$$Dd = \frac{\sum L}{A} = \frac{1}{1},2 = 0, \text{ km/km}^2$$

On peut dire que le réseau hydrographique du sous bassin versant de Sou Bella est Particulièrement dense à l'amont ce qui peut être dû à la présence de terrains de faible Perméabilité dans ce secteur.

II.6.3. Densité hydrographique

Ce paramètre n'est autre que le rapport du nombre total des talwegs sur la surface du bassin versant. Il représente le nombre de canaux d'écoulement par unité de surface. Les faibles valeurs de la densité hydrographique (F) ainsi que celle de la densité de drainage (Dd) sur la plupart de la zone suggèrent que le sous bassin versant de Sou Bella présente un sol perméable et un relief peu accentué en aval.

II.6.4. Coefficient de torrentialité CT

Ce coefficient donne une idée sur l'importance du ruissellement dans le réseau hydrographique. Il est donné par la formule suivante :

Avec :

Dd : Densité de drainage.

$$F_1 : \text{Fréquence des talwegs élémentaires} = \frac{\sum N_1}{A} = \frac{\quad}{1769} = 0,034$$

A : Surface du sous bassin versant en Km².

N₁ : Nombre des talwegs d'ordre 1.

La valeur du coefficient de torrentialité montre que le sous bassin présente un taux d'érosion faible donc le ruissellement est peu important.

II.6.5. Rapport de confluence RC :

C'est un nombre sans dimension, exprimant le développement du réseau du drainage. Pour son estimation, on fait le rapport du nombre de talwegs d'ordre n et celui des talwegs d'ordre supérieur n+1 :

$$R_C = \frac{\sum q_x}{2} \quad ; \quad q_x = \frac{N_x}{N_{x+1}}$$

N_X: nombre de talwegs d'ordre X.

N_{X+1}: nombre de talwegs d'ordre X+1.

$$R_C = \frac{4.36}{2} = 2,18$$

Rc < 3 : donc la géologie a un impact sur la région.

II.7. caractéristiques physiques et morpho métrique :

II.7.1. PARAMETRES MORPHOMETRIQUES :

L'analyse de ces paramètres permet une meilleure compréhension des causes de variation des régimes hydrologiques du bassin. Le sous bassin versant de Soubella a été tracé en suivant la ligne de crête à partir de l'assemblage de quatre cartes topographiques au 50 000ème, il s'agit de : Berhoum, Bou-Taleb, Ain Kelba et El Djezar.

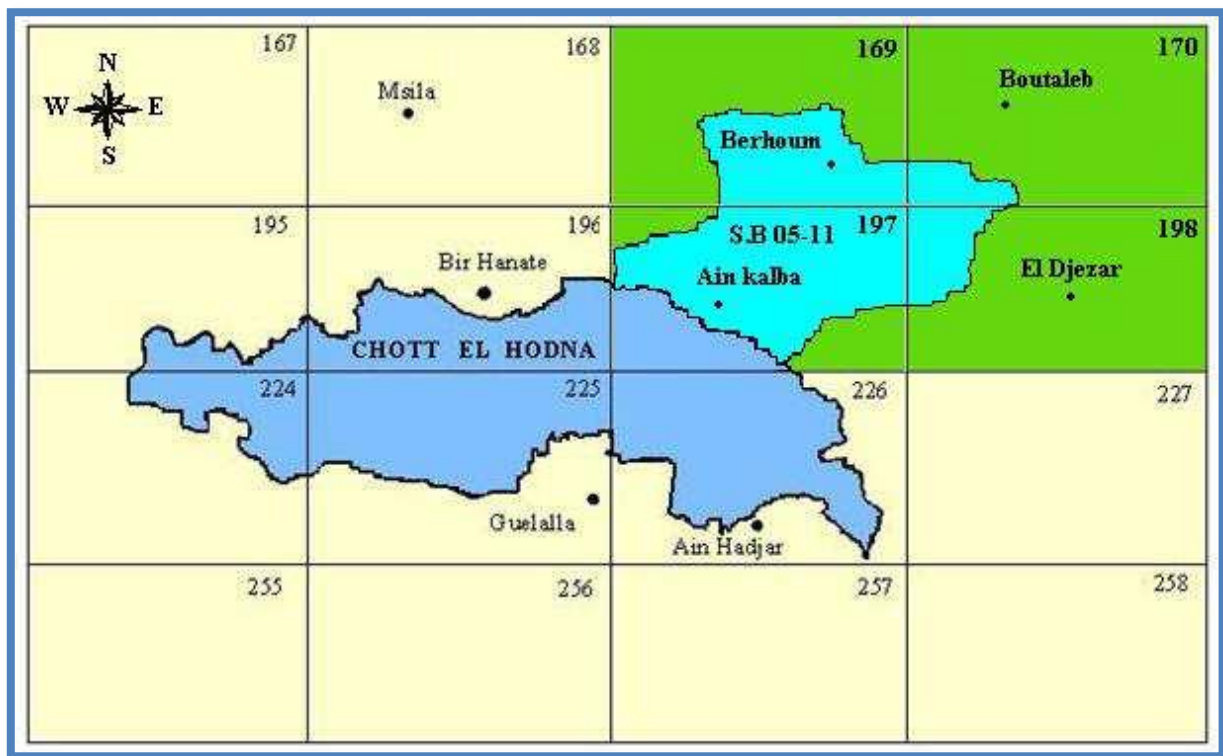


Fig.II. 5: Repérage du sous bassin versant 05-11 sur les cartes topographiques au 50 000ème (ANRH)

II.7.1.2.Paramètres géométriques

Ces paramètres sont la surface et le périmètre. Pour le sous bassin versant de l’Oued Soubella, ces paramètres sont donnés par la digitalisation des contours au sein du logiciel Map Info : Surface (A) = 1 768,97 km² ; Périmètre (P) = 219,83 km. Donc, le sous bassin versant (Soubella) couvre une superficie de 1769 Km² avec un périmètre de 220 km.

II.7.1.3. Paramètres de forme

II.7.1.3.1. Indice de compacité de Gravelius (KG)

La forme d’un bassin versant joue un rôle important sur les conditions des écoulements superficiels. Pour connaître la forme de notre sous-bassin versant, on calcule l’indice de compacité de Gravelius (KG). Cet indice permet de comparer le périmètre du sous-bassin versant à celui d’un cercle de surface identique. Il est défini par la formule :

$$KG = 0.28 P/\sqrt{A}$$

Avec :

P : périmètre du sous bassin versant (km).

A : superficie du sous bassin versant (km²).

La valeur de (KG) obtenue suggère a priori une forme allongée du sous-bassin versant de l’Oued Soubella avec un allongement qui se fait d’Est en Ouest. Donc la concentration des eaux à l’exutoire se fait lentement, ce qui favorise l’infiltration sur le ruissellement.

II.7.1.3.2. Dimension du rectangle équivalent

Le principe consiste à dimensionner un bassin fictif de forme rectangulaire, ayant les mêmes paramètres de forme (surface, périmètre, **KG**) que le bassin considéré. Les dimensions du rectangle équivalent sont déterminées par les formules.

II.7.2. PARAMETRES DES RELIEFS :

Le relief joue un rôle indéniable sur le comportement hydrologique d'un bassin versant, il détermine en grande partie l'aptitude des terrains au ruissellement, l'infiltration et la vaporisation. Le relief est l'ensemble des irrégularités du sol qui se mesurent par rapport au niveau de la mer. Ces reliefs forment une barrière naturelle qui joue un rôle climatique et hydrologique important.

Le relief est défini comme étant la variation des altitudes ; ces variations influent ; sur des facteurs comme l'écoulement, précipitation, végétation etc... Il est caractérisé par (8) :

- La courbe hypsométrique.
- L'indice de pente globale.
- L'indice de pente moyenne

II.7.2.1. COURBE HYSOMETRIQUE :

Elle représente la répartition des altitudes en fonction des surfaces cumulées en pourcentage de la surface totale du bassin versant.

Tableau.II. 5: Répartition des surfaces partielles par rapport aux altitudes pour le bassin de l'oued de Soubella

Hmoy (m)	Tranche Altitude(m)	Superficie partielle (Km ²)	Superficie partielle (%)	Superficie cumulée (Km ²)	Superficie cumulée (%)
1843	1800-1886	0	0	0	0
1750	1700-1800	1.73	0.97	1.73	0.98
1650	1600-1700	3.37	1.9	5.1	2.88
1550	1500-1600	8.16	4.63	13.26	7.49
1450	1400-1500	17.89	10.11	31.26	17.6
1350	1300-1400	17.29	9.77	31.15	27.37
1250	1200-1300	25.74	14.54	48.44	41.76
1150	1100-1200	28.32	16	74.18	57.91
1050	1000-1100	45.01	25.43	102.5	83.34
950	900-1000	19.7	11.13	147.51	94.47
850	800-900	7.52	4.25	167.21	98.72
763	725-800	2.27	1.28	177	100

A partir de la courbe hypsométrique, on détermine les altitudes suivantes :

- ✚ Altitude maximale $H_{\max} = 1886$ m.
- ✚ Altitude minimale $H_{\min} = 725$ m.

- ✚ Altitude médiane $H_{med} = H_{50\%} = 1050$
- ✚ Altitude à 95% $H_{95\%} = 850$ m
- ✚ Altitude à 5% $H_{5\%} = 1550$ m
- ✚ Altitude moyenne $H_{moy} = \sum H_i/s_i = 1150$ m

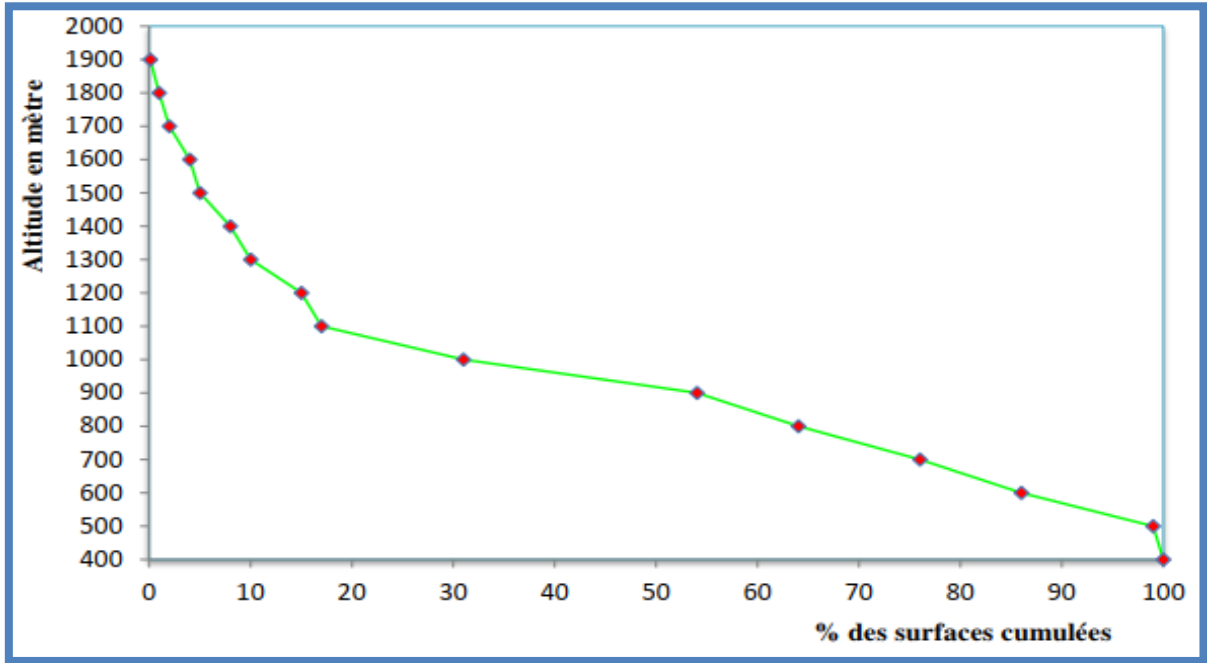


Fig.II. 6: Courbe hypsométrique du sous bassin de Soubella.

Le sous- bassin versant de l'oued Soubella est constitué d'un massif montagneux et d'un plateau situé au-dessus de 1 000 m (Fig.II.4). Il appartient au versant Sud des Monts du Hodna.

II.7.2.2.LES ALTITUDES CARACTERISTIQUES :

II.7.2.2.1.Altitudes maximales et minimales :

Elles sont obtenues directement à partir des cartes topographiques.

L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin : $Z_{MAX}=1884$ m

L'altitude minimale considère le point plus bas : $Z_{MIN}=722$ m

Tableau.II. 6: Détermination de l'altitude moyenne du bassin-versant de l'oued de Soubella

Altitude (m)	H moy (m)	Si (Km2)	(SI*Hmoy)/S
1884-1800	1842	1,25	12,448
1800-1700	1750	2,3	21,761
1700-1600	1650	4,9	43,712
1600-1500	1550	10,4	87,153
1500-1400	1450	14,8	116,025
1400-1300	1350	20,1	146,707
1300-1200	1250	26,6	179,768
1200-1100	1150	38,2	237,510
1100-1000	1050	49,3	279,871
1000-900	950	8,6	44,171
900-800	850	4,7	21,599
800-722	761	3,81	15,675
Somme		184,96	1206
		H Moy	1206

On prend : $H_{moy}=1206$

II.8.LE POTENCIALITES EN EAU DANS LE SOUS BASSIN :

La plaine de Magra se situe à 340 km au Sud-est d'Alger. Elle appartient au sous bassin versant de Soubella, codé 05-11 au répertoire de l'ANRH. Le sous bassin de Soubella se distingue par ses potentialités en eau. On distingue au niveau de cette zone trois unités morphologiques : le massif montagneux, la plaine et la vallée de Soubella.

Le sous bassin versant de Soubella est de forme allongée. Il couvre une superficie de 1769 km² et un périmètre de 219 km, avec une altitude moyenne de 867,8 m.

Il est constitué de reliefs modérés ($I_g = 1,07\%$) favorisant l'infiltration. Le réseau hydrographique est particulièrement dense à l'amont ($D_d = 0,91 \text{ km /km}^2$) du fait de l'existence de terrains de faible perméabilité.

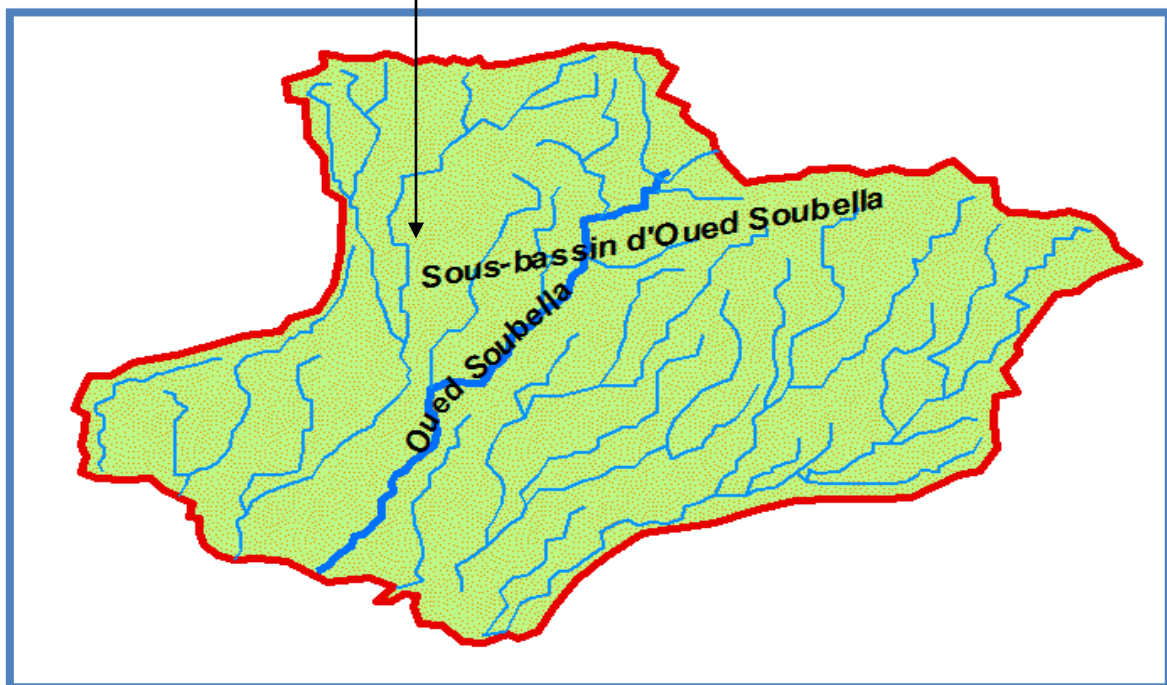
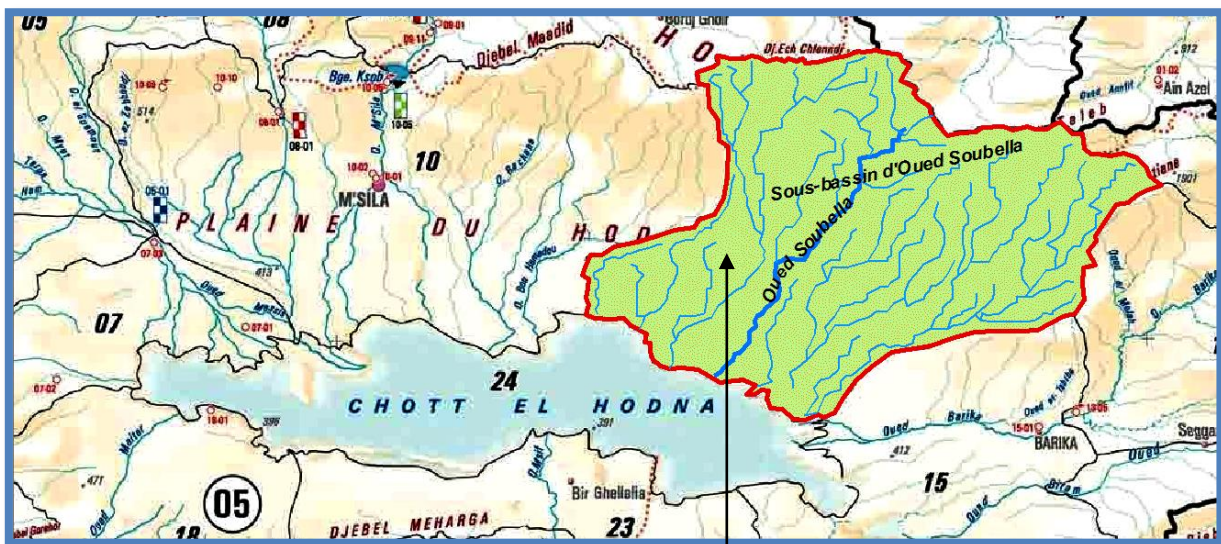


Fig.II. 7:Les Oueds du bassin de Soubella.

II.8.1.LES EAUX SOUTERRAINES :

Les potentialités globales en eau sont évaluées à 19.4 milliards de m³/an. Les ressources en eau souterraine contenues dans les nappes du Nord Algérie (ressources renouvelables) sont estimées à près de 2 Milliards de m³/an. Les ressources superficielles y sont estimées à 12 milliards de m³/an.

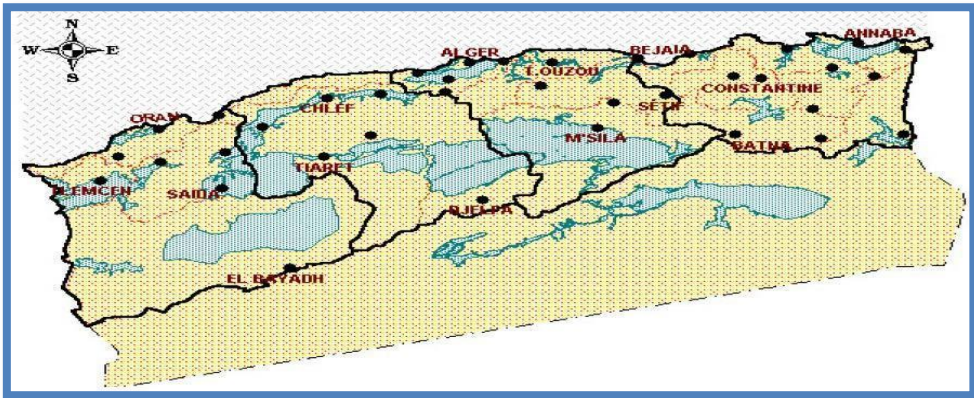


Fig.II. 8:Ressources en eau souterraine dans l’Algérie du Nord [Remini, 2009].

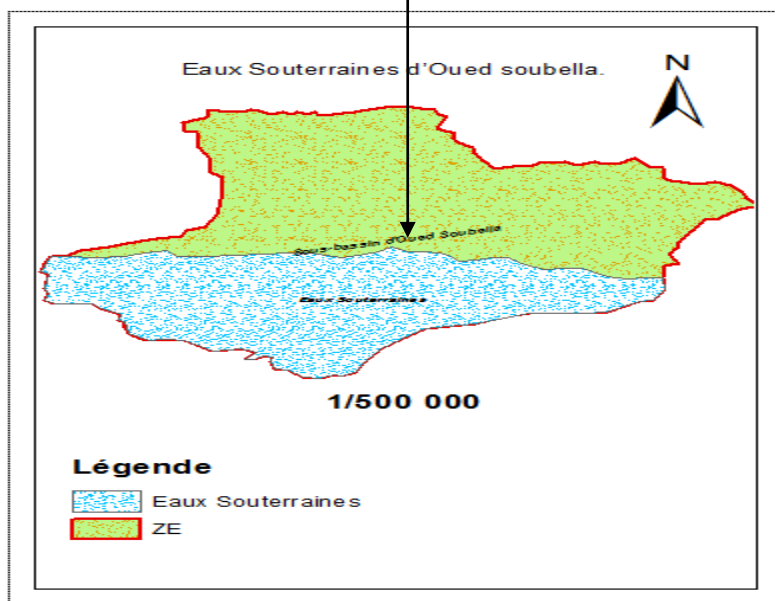
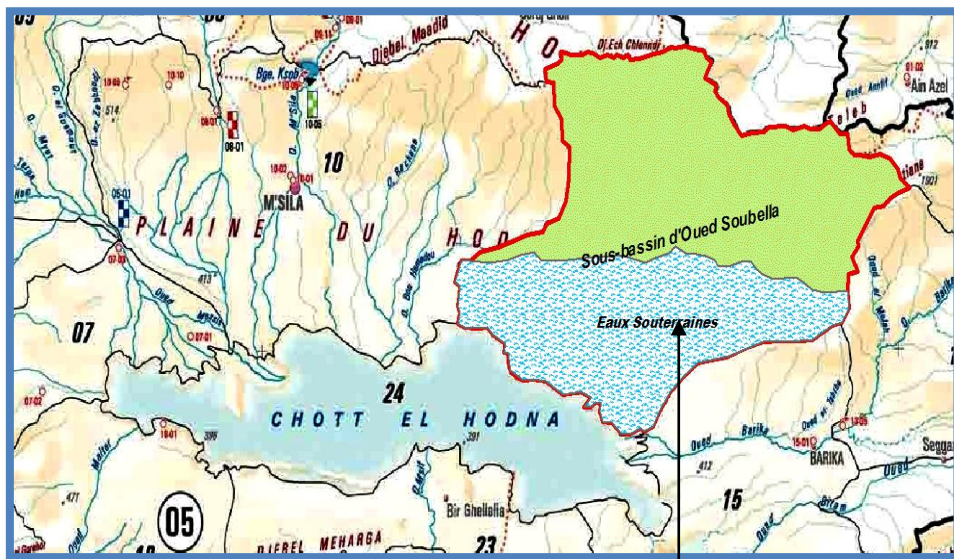


Fig.II. 9:Eaux Souterraines d’Oued soubella.

II.8.2.EAUX SUPERFICIELLES :

Les eaux de surface, également appelées eaux superficielles, sont constituées, par opposition aux eaux souterraines, de l'ensemble des masses d'eau courantes ou stagnantes, douces, saumâtres ou salées qui sont en contact direct avec l'atmosphère.((<http://www.limousin.developpement-durable.gouv.fr>)).Par conséquent, l'eau de surface est l'eau qui se trouve à la surface ou proche de la surface du sol. Il s'agit pour l'essentiel des cours d'eau, des océans, des mers, des lacs et des eaux de ruissellement.(Jacques Bordet ;2007)Sa température varie en fonction du climat et de ses saisons. Ses matières en suspension sont variables selon la pluviométrie et la nature et relief des terres à son voisinage. Sa composition en sels minéraux est variable en fonction du terrain, de la pluviométrie et des rejets ; elle retient peu les nitrates. .(Jacques Bordet ;2007)Une eau de surface est ordinairement riche en oxygène et pauvre en dioxyde de carbone. Tôt ou tard, éventuellement après avoir contribué à la vie physiologique de la flore ou de la faune, l'eau de surface s'évapore ou rejoint le cours lent des eaux souterraines. Les zones humides comportent de manière relativement constante une quantité d'eau de surface, celle-ci contribuant pour sa part à l'intérêt de la zone pour la biodiversité, sous forme d'eau libre, d'humidité du sol ou d'eau imbibant la base des formations végétales qui s'y reproduisent.

Les potentialités en eaux superficielles dans le Bassin du Hodna basé sur l'apport annuel des écoulements des oueds existant dans les sous bassins hydrographiques.

II.9. Mobilisation de la ressource en eau

II.9.1.Eaux superficielles (Barrage et retenues collinaires)

Le bassin du Hodna compte :

Les Barrages

02 barrages en exploitation, Barrage K'sob et Barrage Soubella,

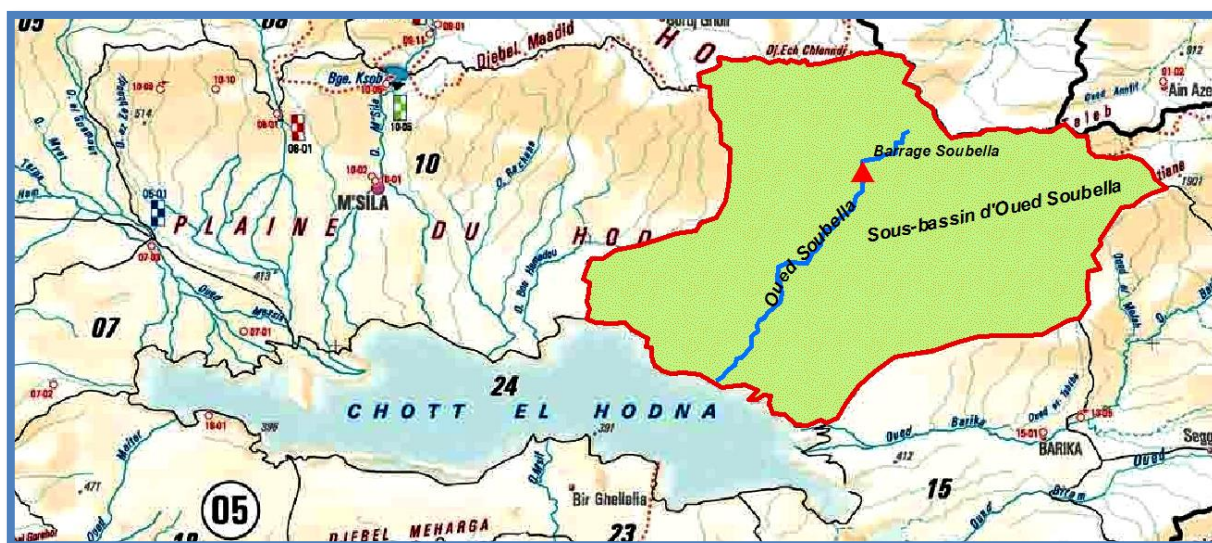


Fig.II. 10:Présentation de barrage soubella.

02 barrages en cours de construction, Barrage M'cif et Barrage kodia ben abda (khetoticedjdir).

Les retenues collinaires

Retenue collinaire de witlanMaàdid,

Retenue collinaire d'Oued cheair (Mohamed Boudiaf),

Retenue collinaire d'OueladAbd el Wahab (Sidi Aissa),

Retenue collinaire de KhengKodia Bo Abd Allah (Ain M'elh),

Retenue collinaire de Mizaror ((Mohamed Boudiaf), □ Retenue collinaire de Targa (Beni Yalman).

Tableau.II. 7: Potentialités en eaux superficielles de sous-bassin du Soubella.

Le sous-bassin du Soubella	Superficies(Km ²)	Apport Annuel(Hm3)
Soubella	183.87	12

Source : D.R.E et ANRH du M'sila, 2018

Tableau.II. 8: La Capacité des Barrage et retenues collinaires de sous-bassin du Soubella.

Barrage et retenues collinaires	Capacité (m3)
BarrageSoubella.	12000000

Source : D.R.E. M'sila, 2018.

II.10.ETUDE HYDRO-PLUVIOMETRIQUE :

II.10.1. Pluviométrie :

C'est l'un des paramètres principaux du régime hydrologique, puisque c'est le facteur générateur de l'écoulement. Son analyse nécessite tout d'abord la connaissance de l'état du réseau de mesure et de collecte de données, car c'est la quantité des observations que dépendent les résultats de l'analyse statistique et les conclusions qui en découlent dans ce cas, nous étudions les précipitations annuelles et mensuelles annuelles moyenne des stations suivantes : **M'sila** et **Bousaàda**, ainsi que leurs variabilités dans le temps. Les valeurs de précipitations de ces stations sont représentées dans le tableau.

Tableau.II. 9:Données pluviométriques de la station météorologique de M'sila et Bousaàda.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne
M'sila P (mm)	18,94	13,17	14,46	19,68	23,36	9,33	4,25	7,36	24,44	23,9	19,67	19,29	196,87
Bousaàda P(mm)	11,7	8,5	14,2	20,7	13,1	7,8	6,1	5,9	18,1	23,2	9,5	9,3	148,1

Source : Station météorologique de M'Sila et Bousaâda 2018

Tableau.II. 10: Données pluviométriques annuelles de la station météorologique de M'sila et Bousaâda

Années	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
M'sila	171	150,1	121	168	168	202	168	160,8	150,8	138
Bousaâda	130,5	209	163,8	245,4	109,3	137,7	87,8	143,6	152,6	107,6

Source : Station météorologique de M'Sila et Boussaâda 2018.

II.10.2. Les écoulements :

L'écoulement de l'eau dans un bassin versant prend différentes formes selon le lieu où il se produit sur les versants, l'écoulement peut être superficiel (ruissellement) ou de subsurface en profondeur, il alimente les nappes et fluviale il consiste un oued Il peut revêtir plusieurs formes selon les conditions météorologiques.

Pour ce qui est des eaux de surface, nous disposons des séries de 02 stations hydrométriques station de Rocade sud et station de Moulin Ferrero.

Station Rocade sud (M'sila) :

Tableau.II. 11:Donnes hydrométriques de la station de rocade sud.

Années	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Rocade sud	39616	32513	29118	34909	31521	68393	29683	30124	28422	26428
Écoulements (Hm ³ /an)	140	117	035	422	017	616	220	316	211	527

Source : ANRH de M'sila, 2018.

Station Moulin Ferrero (Boussaâda)

Tableau.II. 12: Donnes hydrométriques de la station de Moulin Ferrero. (ANRH, 2018) .

Années	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
M.F.Écoulement (Hm ³ /an)	8943	11214	9563	14355	7831	8026	7117	8797	9166	9034
	134	178	612	046	984	248	032	281	142	617

Source : ANRH de M'sila, 2018

Le bassin du Hodna est équipé d'un réseau de mesure hydrométrique et pluviométrique important. La plus parts des sous bassin contiennent donc des stations de jaugeage, seulement par manque d'entretiens plusieurs stations ont connues de disfonctionnement durant plusieurs années, ce qui rend la présence des lacunes dans la plus parts des séries statistiques.

Chapitre III : Matériels et approche méthodologique

III.1. Etude hydrologique

III.1.1. Collecte des données :

La démarche de recherche adoptée ici a combiné plusieurs méthodes et outils d'investigation. Les données collectées sont des données pluviométriques et hydrométriques. Celles-ci ont ensuite fait l'objet d'une analyse statistique et cartographique. Les données hydrométriques et hydrauliques concernant le sous-bassin d'Oued Soubella ont été recueillies auprès des directions de ressources en eau (D.R.E) et l'agence national des ressources hydrauliques (A.N.R.H) de la wilaya de M'sila et aussi les données pluviométriques recueillies auprès les stations météorologiques de M'Sila.

III.1.2. Les outils des traitements des données :

Le système d'information géographique (SIG) aide à manipuler les données de l'ordinateur pour simuler des solutions de recharge et prendre les décisions les plus efficaces (Narayan, 1999).

Le traitement des données collectées a été effectué sous diverses formes :

- ✓ Le transfert des données collectées de notre zone d'étude vers le logiciel Arc Gis ;
- ✓ Une base de données crée à Travers ce logiciel pour regrouper les diverses Informations concernant l'hydrologie de notre sous-bassin;
- ✓ Utilisation de logiciel Arc Gis 10.3 pour des représentations cartographiques thématiques. De façon générale, il est à noter que, les analyses ont été réalisées avec ce dernier ; cela suivant la nature des informations recherchées.

III.2. Etude cartographique

III.2.1. Collecte des cartes :

Les cartes qui ont été utilisées dans ce travail, ainsi que d'autres cartes thématiques, carte de bassin versant de nord Algérie et carte de réseau hydrographique du Hodna (ANRH)de M'sila, cartes des eaux superficielles des eaux souterraines de nord Algérie, carte topographique de Biskra et la carte du réseau hydro bioclimatique et de la surviennes de la qualité des eaux,(ANRH).

III.2.2. Traitement des cartes :

Pour, le traitement des cartes, le logiciel Arc GIS 10.3 a été utilisé. Les données hydrométriques et topographiques en relation avec l'hydrologie de sous-bassin d'Oued Soubella ont été extraites après traitement approprié des cartes.

III.2.3. Cartographie thématique :

Pour l'analyse des distributions en eaux superficielles de sous-bassin du Soubella et leurs caractéristiques nous avons adopté la méthode des études hydrologiques.

III.2.3.1.Description de la méthode :

Il s'agit d'une analyse l'hydrologique de Sous-bassin d'Oued Soubella avec recueil de données réalisé à partir de la direction des ressources en eau et l'agence national des ressources hydrauliques de la wilaya de M'sila. Les données recueil ont été compilées à partir des différents travaux sur le Bassin du Hodna tell que les travaux de Hasbaia, 2012 et Hadjab, 1998 concernées ainsi que différentes études réalisées sur la région. Les données recueillies ont été les suivantes :

- ✓ Carte de sous -bassin hydrographique du Soubella;
- ✓ Carte de relief (altitude, pente) du Hodna ;
- ✓ Fiche qui contient les données de caractéristiques de sous-bassin d'Oued Soubella (Tableau III.1.).

Tableau.III. 2: Caractéristiques de Sous bassin'Oued Soubella

Sous-Bassin hydrographique d'Oued Soubella	Caractéristiques					Ecoulements (Hm ³ /an)
	Superficie du bassin versant (km ²)	Altitude moyenne (m)	Pluviometer Moyenne Annuelle (mm)	Temperature s Moyenne Annuelle (°C)	Le temps de Concentration (h)	12
	183,87	790	250	15,7	6,30	

Source: Hasbaia, 2012 et ANRH, 2018

Le logiciel **Arc GIS 10.3** a été utilisé pour extraire les données environnementales les plus susceptibles d'agir sur l'hydrologie de bassin versant, à savoir, l'élaboration d'un MNT , la carte d'occupation des sols, la carte du réseau hydrographique, la carte de topographie, et aussi les cartes des eaux superficielles et des eaux souterraines , ainsi que la numérisation de nombreuses cartes thématiques de sous-bassin d'Oued Soubella .Par ailleurs les données hydrométriques sur l'hydrologie ont été recueillies. Pour la constitution du SIG, les données recueillies ont été triées, puis analysées avec ce logiciel. L'établissement des cartes et les analyses spatiales telles que requêtes SQL et analyses thématiques. .

Ce chapitre comporte deux sections : La première traite de l'intérêt de l'utilisation du SIG dans l'analyse d'hydrologie de bassin versant ; la seconde retrace les grandes étapes de création de la base de données à référence spatiale élaborée lors de notre analyse.

Chapitre IV :
Mise en place d'une
base de données a
référence spatiale pour
l'analyse d'hydrologie
de sous bassin du
soubella

Ce chapitre comporte deux sections : La première traite de l'intérêt de l'utilisation du SIG dans l'analyse hydrologique des eaux superficielles dans le sous - bassin versant d'Oued Soubella ; la seconde retrace les grandes étapes de création de la base de données à référence spatiale élaborée lors de notre analyse.

VI.1. Utilité d'un SIG dans l'analyse hydrologique des eaux superficielles dans le sous - bassin versant d'Oued Soubella

Un Système d'Information Géographique (SIG) est défini par *Thériault (1996)* comme étant «un ensemble de principes, de méthodes, d'instruments et de données à référence spatiales utilisé pour saisir, conserver, transformer, analyser, modéliser, stimuler et cartographier les phénomènes et les processus distribués dans l'espace géographique ». Il s'agit donc d'un outil informatique qui stocke et gère des informations ayant une référence au territoire.

Si l'on considère un Système d'Information Géographique comme un moteur, il est essentiel pour qu'il fonctionne de l'alimenter avec un carburant. Dans l'univers des SIG, ce carburant ce sont les données. Les données représentent les composantes les plus importantes des SIG. Les données géographiques et les données tabulaires associées peuvent, soit être constituées en interne, soit acquises auprès de producteurs de données.

Les données géographiques sont souvent sous forme de photographies aériennes, des plans, cartes sur papiers, etc. Dans notre cas nous avons eu des cartes sur papiers et des plans que nous avons transformés en formats numériques par géo référencement et par saisie. Les sources d'informations (comme celles décrites précédemment) peuvent être d'origines très diverses. Il est donc nécessaire de les harmoniser afin de pouvoir les exploiter conjointement.

Les SIG intègrent de nombreux outils permettant de manipuler toutes les données pour les rendre cohérentes et ne garder que celles qui sont essentielles au projet. Ces manipulations peuvent, suivant les cas n'être que temporaires afin de se coordonner au moment de l'affichage ou bien être permanentes pour assurer alors une cohérence définitive des différentes sources de données.

Les fonctions les plus importantes des SIG sont :

- ✓ L'archivage c'est-à-dire le stockage des données au moyen de la saisie de l'information sous forme numérique;
- ✓ L'analyse des données spatiales et thématiques qui fait des SIG un puissant outil d'aide à la décision;
- ✓ La visualisation des résultats des analyses sous forme de cartes thématiques.

Dans le domaine d'étude d'hydrologie de bassin versant, les avantages fournis par les SIG sont nombreux. Tout d'abord, les SIG permettent une visualisation de la situation. Il est en effet plus aisé de

se représenter la réalité en ayant un support visuel tel qu'une carte thématique. Avec le SIG, les utilisateurs peuvent par exemple :

- Voir sur les sous- bassins hydrographiques du Hodna (sous- bassin d'Oued Soubella) ;
- Voir sur les eaux superficielles de sous- bassins hydrographiques du Hodna (sous- bassin d'Oued Soubella) ;
- Voir sur les eaux souterrains de la Bassin du Hodna;
- Voir sur les réseaux hydrographiques du sous- bassins hydrographiques du Hodna (sous- bassin d'Oued Soubella) ;

En fin, une fois les données intégrées au travers des différentes couches d'information, on peut effectuer une analyse spatiale rigoureuse et efficace, Des calques superposés les uns aux autres combinés à des données alphanumériques donnent des résultats d'analyse très efficaces. Pour de nombreuses opérations géographiques, la finalité consiste à bien visualiser des cartes et des graphes qui sont en effet de formidables outils de synthèse et de présentation de l'information.

Le SIG offrent à la cartographie moderne de nouveaux modes d'expression permettant d'accroître de façon significative son rôle pédagogique. Les cartes créées avec un SIG peuvent désormais facilement intégrer des rapports, des vues 3D ; des images photographiques et toutes sortes d'élément multimédia. Le système d'information devrait être un outil d'observation et d'aide à la décision pour leur développement futur. Il sera donc un outil évolutif qui permettra non seulement le stockage des données mais aussi une analyse de celles-ci.

VI.1.2. Choix des données intégrées au système

Plusieurs types de données ont été pris en compte dans l'élaboration du SIG, il s'agit :

- Des coordonnées géographiques issues des travaux de géoréférencement (Sous-bassin versant d'Oued Soubella) ;
- Des attributs des entités géographiques;
- Des attributs des entités géographiques
- La carte topographique de Biskra, Échelle 1/500 000 ;
- La carte du réseau hydro bioclimatique et de la surviennes de la qualité des eaux, Échelle 1/500 000 (ANRH)**Agence Nationale Ressources Hydraulique**
- La carte de réseau hydrographique de Bassin du Hodna ;
- La carte des ressources en eau souterraine dans l'Algérie du Nord ;
- Le choix des attributs des entités géographiques pour l'analyse hydrologique des eaux superficielles dans le sous - bassin versant.

Ces derniers concernent:

- Des données générales sur le sous - bassin versant;
- Des données sur les eaux superficielles;

- Des données sur la potentialité des eaux dans le sous - bassin.

VI.2. Les grandes étapes de création de la base de données à référencespatiale

La création de projet dans Arc GIS se fait par thème. Pour ce faire, il est essentiel d'utiliser un Système de Gestion de Base de Données (SGBD) qui facilitera le stockage, l'organisation et la gestion des données. Ainsi, chaque thème' sera accompagné d'un SGBD qui permettra de lier les données géographiques et celles tabulaires.

VI.2.1. Structuration des données

Après la définition des données à intégrer au système, il s'est agit de les organiser et de les structurer. Ainsi, la définition de règles de gestion a permis d'aligner dans l'ordre de leur apparition, toutes les données retenues. Aussi, pour passer de la réalité complexe à une représentation informatique, on a procédé à la réalisation d'un Modèle d'une Base de Données Géographiques(MBDG), ainsi qu'à l'implantation des données structurées dans un système informatique.

VI.2.1.1. Modèle d'une Base de Données Géographiques :

Une base de données (en anglais data base) est une "structure de données permettant de recevoir, de stocker et de fournir à la demande des données à de multiples utilisateurs indépendants" (*Définition AFNOR-ISO, dictionnaire de l'informatique, 1989*).

Les bases de données géographiques sont les outils opérationnels qui permettent d'organiser et de gérer l'information géographique sous forme numérique. Ce sont des ensembles structurés de fichiers décrivant les objets ou phénomènes localisés sur la Terre (avec leurs attributs et leurs relations nécessaires à la modélisation de l'espace géographique). Ces ensembles sont munis d'un système de gestion permettant de les tenir à jour, de les archiver et de les diffuser. Les bases de données constituent le socle sur lequel s'appuient les systèmes d'information géographique, qui analysent et exploitent les données pour en tirer des informations utiles à la décision. Toute base de données représente une modélisation particulière de la réalité, et donc une généralisation plus ou moins poussée de celle-ci. Le modèle d'une Base de Données Géographiques (MBDG) est une représentation facilement compréhensible, permettant de décrire le système d'information. Le MBDG sert à formaliser la description des informations qui sont mémorisées dans le système d'information géographique(SIG).

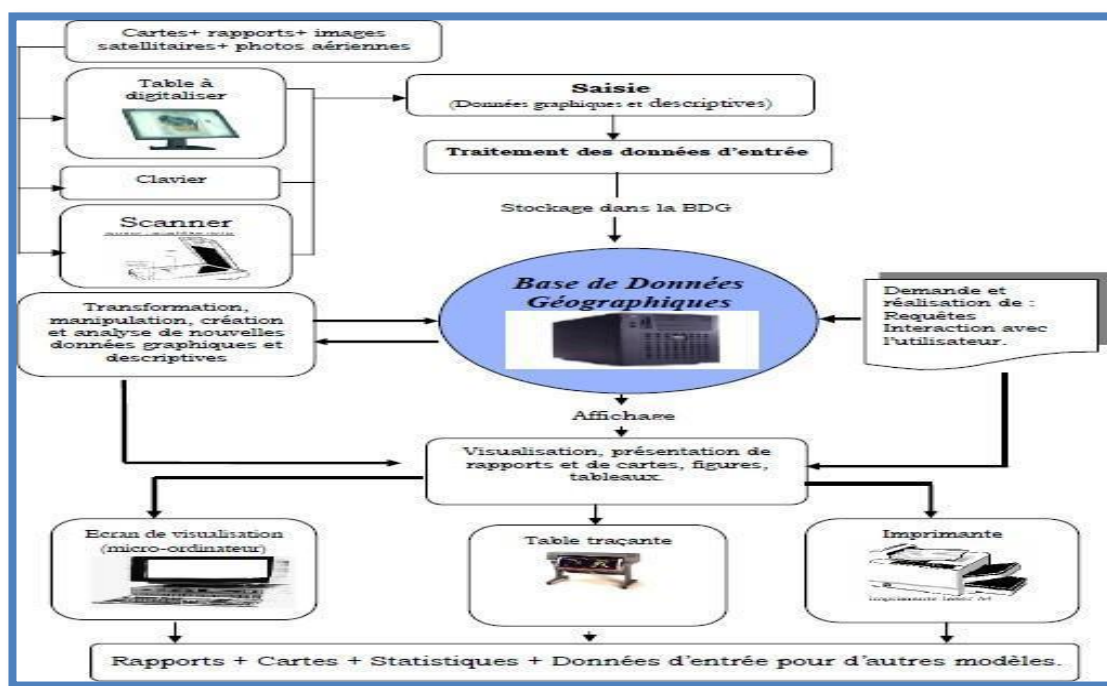


Fig.IV. 1 : Base de données géographiques BDG [Ider, 2004].

Le noyau du SIG- étude hydrologique est une base de données géographique intégrant un ensemble de couches thématiques (distribution et évaluation de l'eau... etc.) et des données des campagnes d'analyses. Une application SIG spécifique offrant un ensemble d'outils notamment pour la saisie et le contrôle des données, les traitements statistiques, les analyses spatiales et les représentations cartographiques.

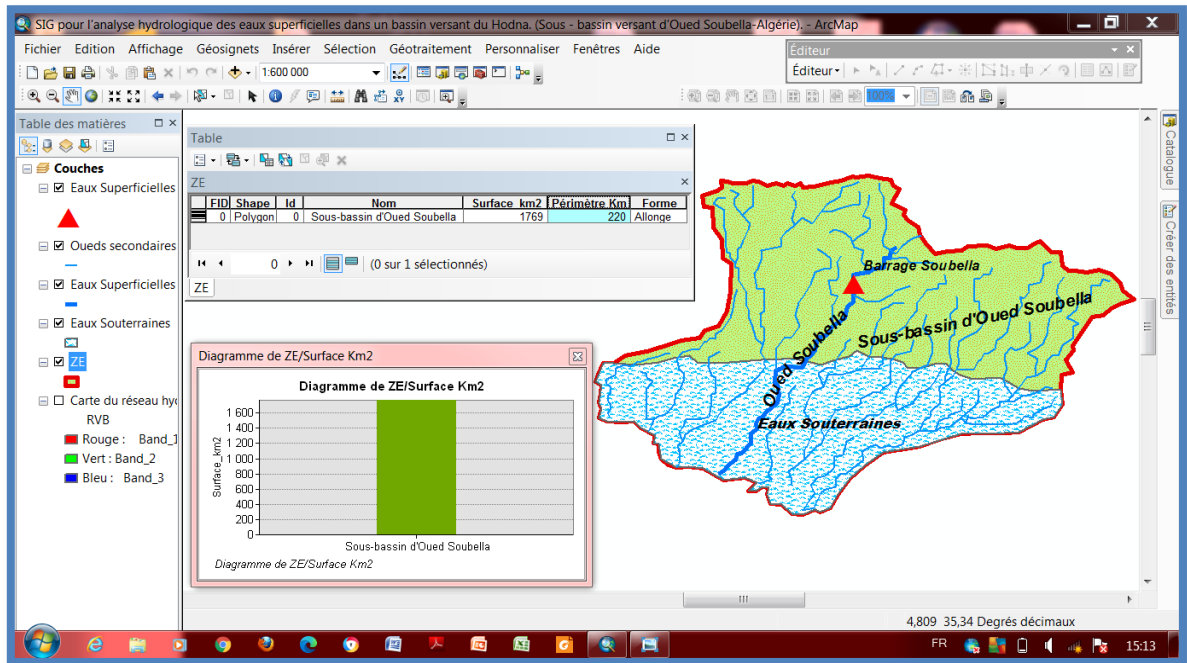


Fig.IV. 2: MBDG –Caractéristiques physiques (surface) de sous-bassin versant d’Oued Soubella par SIG.

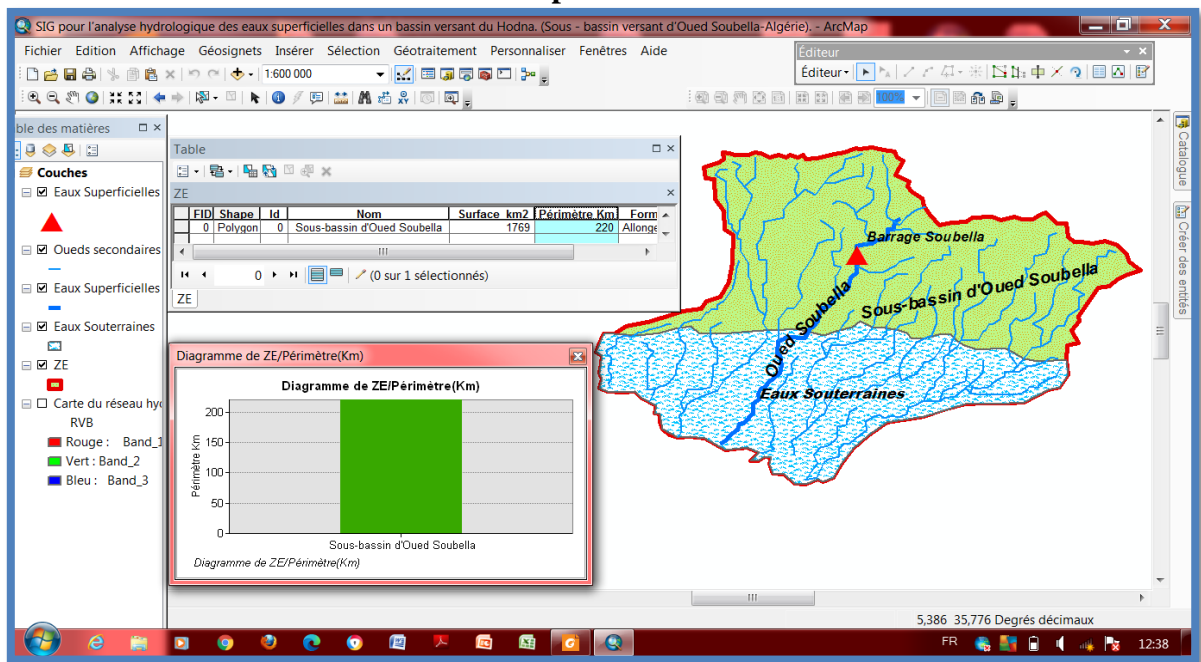


Fig.IV. 3: MBDG –Caractéristiques physiques (périmètre) de sous-bassin versant d’Oued Soubella par SIG.

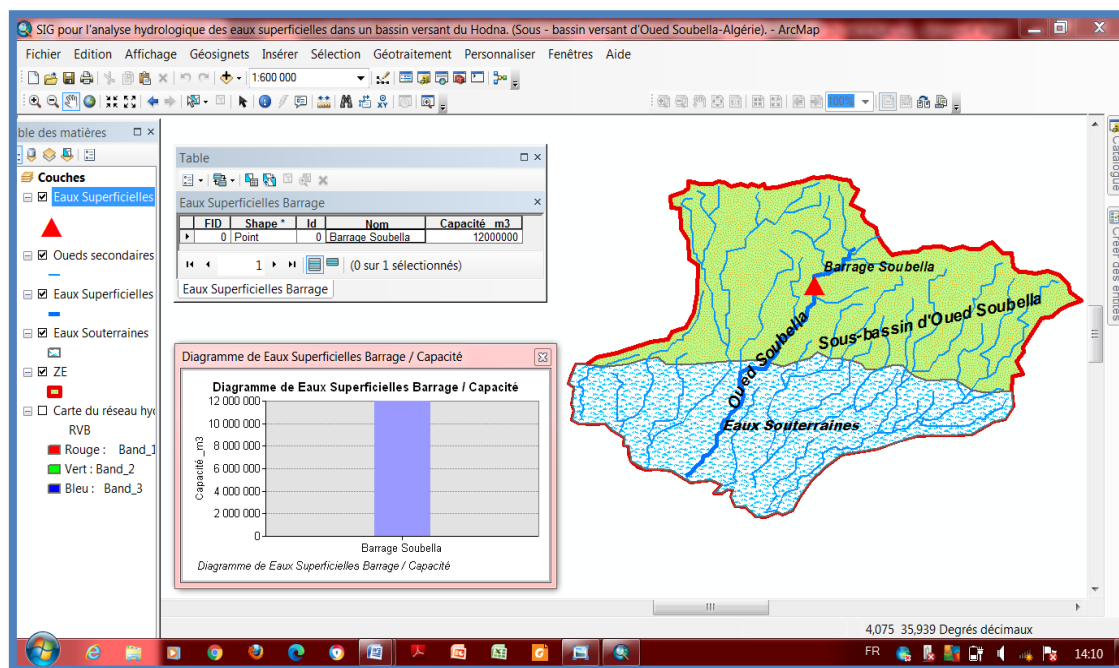


Fig.IV. 4 : MBDG – Capacité des eaux superficielles (barrage) de sous-bassin versant d'Oued Soubella par SIG.

VI.2.1.2. L'implantation des données structurées dans un système informatique

Les données structurées en modèle d'une base de données ont été implantées dans un système informatique et les attributs des différentes entités (tables) ont été renseignés à l'aide des données collectées sur le terrain. La base de données créée a ensuite été testée afin de contrôler son fonctionnement. C'est ainsi que des requêtes en langage SQL (StructureQueryLangages) ont été créées dans le but d'analyser et d'exploiter les données.

Les SIG permettent des manipulations via des requêtes écrites en langage SQL, La base de données conçue doit être exploitable et compréhensible pour des personnes ne maîtrisant pas forcément le logiciel SIG. C'est pourquoi, il a été nécessaire de créer une interface graphique (formulaires) simple et conviviale aussi bien pour le démarrage d'une session, la saisie et la mise à jour des données et l'exploitation des données. Ainsi, les utilisateurs pourront utiliser cet outil sans même connaître le fonctionnement et le langage de SIG.

VI.2.2. Le travail sous environnement SIG : Intégration des données géographiques et traitement de l'information

Dans cette partie, les coordonnées des entités géographiques (distribution et évaluation de l'eau le sous-bassin..Etc.) Prises sur le terrain lors de nos enquêtes ont été exportées du plan et à l'aide de calage des cartes à l'ordinateur pour être ensuite intégrées dans le SIG. En somme, un(01), sous- bassins hydrographiques principales, leur hydrologie répartis comme suit ont été intégrés dans le SIG :

- 02 Points représentant les coordonnées des eaux superficielles dans le sous-bassin du soubella;
- 02 Points représentant les coordonnées de mobilisation de la ressource en eau du soubella ;

-La représentation de coordonnées des eaux souterraines dans le Sous- bassin du soubella(Nappe de Magra pas étudiée).

Les coordonnées des entités géographiques (distribution et évaluation de l'eau dans le bassin..Etc.) Étant matérialisées dans le SIG et leurs différents attributs stockés dans la base de données, il a été indispensable de créer un lien entre la base de données et Arc Gis 10.3 (le logiciel de SIG utilisé). Pour ce faire, les tables de la base de données distribution et évaluation de l'eau dans le bassin..Etc.) Ayant une référence spatiale ont été converties en format dBASE. Ces fichiers dBASE, successivement chargés dans Arc Gis sous forme de tables ont été ensuite ajoutés au SIG par jointure avec les tables attributaires des entités géographiques correspondantes. La jointure de table est un procédé qui permet d'attribuer des données d'une table extérieure (fichier dBASE) à des objets du SIG.

Le logiciel SIG mémorise l'endroit du disque où réside le fichier et rappelle les données qu'il contient chaque fois que le document (projet) est ouvert.

Associées à chaque point, les données recueillies peuvent nous permettre de réaliser une cartographie thématique plus ciblée à mettre à la disposition et des acteurs institutionnels agissant dans l'exploitation des eaux dans le bassin du soubella.

Dans le chapitre suivant, nous verrons comment peut être exploité l'ensemble de ces données dans une approche de spatialisation d'analyse hydrologique des bassins versants.

Conclusion

Conclusion :

Dans ce thème, nous avons traité de l'étude du sous-bassin versant d'Oued Soubella , qui occupe une surface de 1769Km².

L'analyse du réseau hydrologique et géométrique, ainsi que des caractéristiques physiques et des différents facteurs climatiques (température, précipitation et le vent) et leur impact sur l'écoulement de l'eau de ce bassin, en utilisant le programme des systèmes d'information géographique (Arc GIS 10.3).

Le programme des systèmes d'information géographique (SIG) traite l'information et corrige les erreurs qu'il contient et permet son analyse et sa modification. Et création des modèles BDG de terrain (MBDG) et nous permet de reconstituer des bases des données (BD) et création des cartes modèles thématiques, d'hydrologie des bassins versants et développement des caractéristiques géomorphologiques Le programme SIG comprend par :

- faciliter et accélérer l'affichage et l'enregistrement des informations
- Création rapide de cartes thématiques
- La possibilité d'obtenir des informations renouvelables (détermination des dimensions, des surfaces et des longueurs)
- Analyser et traiter une grande quantité d'informations en un temps record Le programme des systèmes d'information géographique contribue à l'amélioration et à l'organisation du travail des départements et à l'obtention d'informations

Nous pouvons également programmer des systèmes d'information géographique pour prédire les catastrophes (inondations, tremblements de terre, érosion des sols).

Références bibliographiques

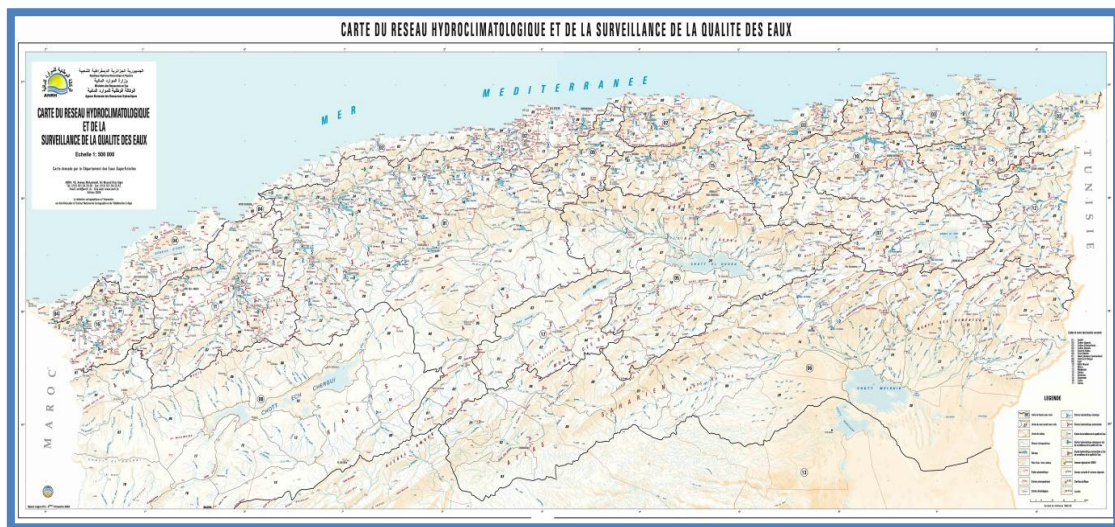
- 1) **ACHOUR O. (2013).** Titre de mémoire. Mémoire Présenté pour l'obtention du diplôme de master .Filiere: Biologie, Université de M'Sila. 123p.
- 2) **AFNOR-ISO,** dictionnaire de l'informatique, 1989
- 3) **Aldosa, N., Bihan, M., Monin, M. (2003).**Information, communication, organisation, 2eme éd.
- 4) **André, L, G., (1975).** Dictionnaire de l'informatique Reliure inconnue.
- 5) **Aronoff, S. (1991).** Geographic Information systems, a management perspective, Ottawa, WDL Publications, 294 p.
- 6) **Bernard Dubuisson (GUEGAN et CHOISY, 2009)**
- 7) **Bigand, M., Camus, H., Bourey, J., Corbeel, D. (2006).** Conception des systèmes de l'information, modélisation des données, études de cas.
- 8) **Bimonte, S. (2007).** Intégration de l'information géographique dans les entrepôts de données et l'analyse en ligne.
- 9) **Bonn, F. (1994).** Télédétection de l'environnement dans l'espace francophone. Du Québec.
- 10) **BORD, J., Pierre-Robert BADUEL. (2004).**Les cartes de la connaissance. Karthala.47p
- 11) **BORDIN, P. (2006).** Méthode d'observation multi-niveaux pour le suivi de phénomènes géographiques avec un SIG.14
- 12) **BOURENANE, A., MECHRI, S. (2008).** Contribution a l'étude du transport solide dans le sous bassin versant de Soubella (Hodna).Mémoire d'ingénieur d'état en hydraulique, Université de m'sila.
- 13) **BOUTELDJA, N. (2005).** Contribution à la modélisation de l'érosion hydrique dans le bassin versant du Hodna sous bassins versants du K'sob et de Soubella (Algérie), Thèse de doctorat en Géographie. Université de la Provence Aix-Marseille.180p.
- 14) **Brocard, M., Mallet, P., Leveque, L., Bessineton, C. (1996).** Atlas de l'estuaire de laSeine. Rouen et du Havre.
- 15) **BROSSO ET HAURIE, A. (1996).**Gestion de l'environnement et l'entreprise .presse polytechnique et universitaire romandes.139p.
- 16) **COLLET, C. (1992).** Système d'information géographique en mode image. (P. polytechniques et universitaires Romandes, Éd.). Lausanne.
- 17) **Didier, M.(1993).** Guide économique et méthodologique des S.I.G. (Hermès, Éd.). Paris.
- 18) **Didier, M.(1993).** Guide économique et méthodologique des S.I.G. (Hermès, Éd.). Paris.
- 19) **FRANÇOIS, D. (2004).** Les systèmes d'information géographique. P. U. de France, Éd. 2nd éd. Paris. 29
- 20) **FRANÇOIS, D. (2004).** Les systèmes d'information géographique. P. U. de France, Éd. 2nd éd. Paris. 29

- 21) **Ider,K(2004)**.Modélisation Hydrodynamique d'une cour d'eau application a l'Oued Soummam Mémoires ENP Alger 124 p.
- 22) **Jacques Bordet**, L'eau dans son environnement rural : Hydraulique et cycle de l'eau, l'alimentation en eau potable, l'assainissement des agglomérations, Éditions Johanet (ISBN 978-2-900086-71-1), 2007
- 23) **KEBICHE, M. (1994)**. Le bassin versant du Hodna (Algérie): Ressources en eau et possibilités d'aménagement. In: Travaux de l'Institut Géographique de Reims, n°85-86, 1994. Etudes algériennes. pp. 25-34.
- 24) **Laurine, R., (1993)**. Les bases de données en géomatique. Hermès, Éd. Paris.
- 25) **MAGUIRE D.J., GOODCHILD M.F., R. D. (1991)**. Geographical Information Système.
- 26) **MUSY A.et Higy C., 2004**.science de la nature, PPUR ,314p.
- 27) **MUSY A. Hydrologie** .Appliquée. EditionHGA. Bucarest ; 1998.
- 28) **NOVA, N(2009)**.Les medias géo localisés, comprendre les niveaux espaces numérique.17p
- 29) **OULD AHMED, S**, étude des paramètres morphométriques et hydrographiques du bassin versant de l'oued TARIA ,diplôme de mestre en hydraulique, université de SAIDA,2018 ,
- 30) **PROVENCHER, L ., Jean-Marie ., Maurice DUBOIS(2007)**.précis de télédétection méthode photo interprétation et de l'interprétation d'image, volume 4,33p.
- 31) **QUODVERTE. (1994)**. Cartographie numérique et information géographique. D'Orléans.
- 32) **ROCHE, S, (2000)** les enjeux sociaux des systèmes d'information géographique revue géographique sociale .le Harmattan.
- 33) **Thériault, M. (1995)**. Systèmes d'information géographique, concepts fondamentaux. Québec.
- 34) **ThériaultM(1996).SYS-866** – Système d'information géographique et télédétation.Département de la Géographie,Université Laval,Canada 52p.

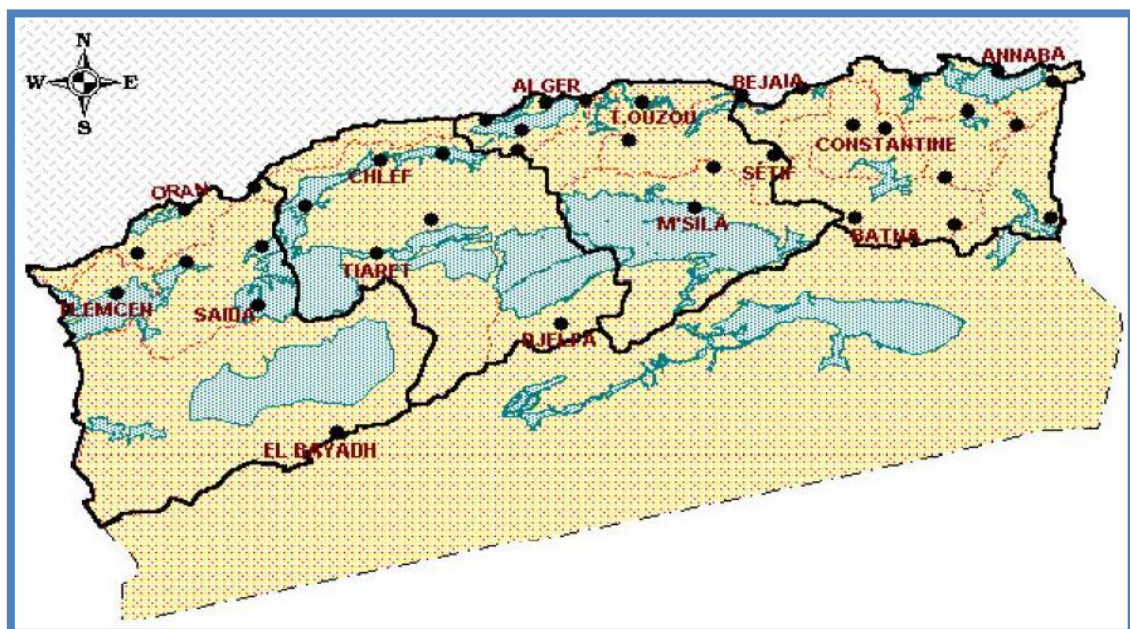
Références de web site :

http://www.limousin.developpement-durable.gouv.fr/q_ualite-des-eaux-superficielles-r67.html
 [archive], sur *www.limousin.developpementdurable.gouv.fr*, 6 novembre 2009 (consulté le 6 décembre 2015). Qualité des eaux superficielles.

Annexe



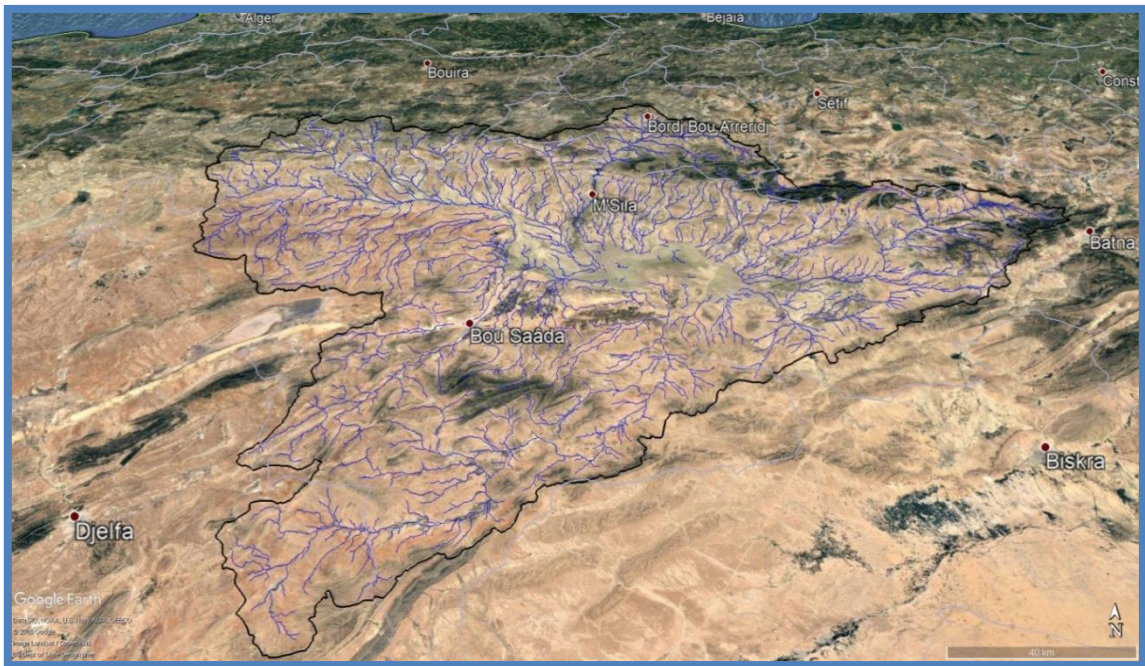
Carte des réseaux hydro climatologique de la surveillance de la qualité des eaux.



Ressources en eau souterraine dans l'Algérie du Nord



Carte de Biskra



Carte de réseau hydrographique de Bassin du Hodna



Barrage de Soubella

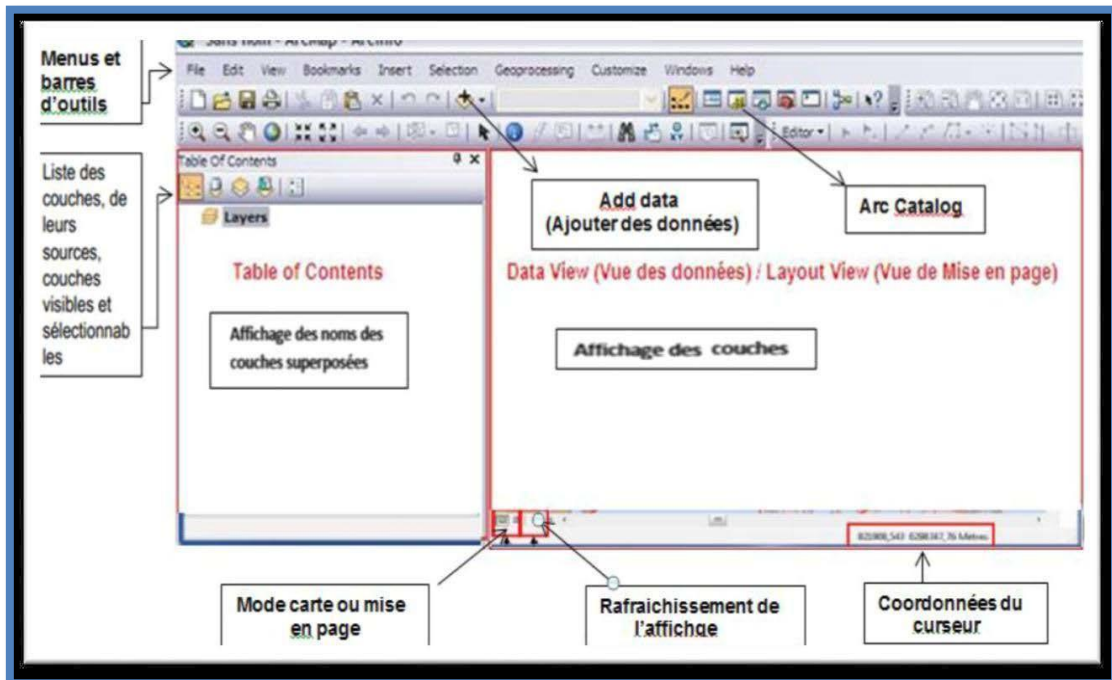


Barrage de Soubella.



Barrage de Soubella.

Présentation de l'interface d'Arc Gis 10.3:



Add data /Ajouter de nouvelles couches de données (bouton de commande ou menu Fichier) au bloc de données actif. Il est aussi possible de les faire glisser du catalogue ou de l'Explorateur Windows.

1. Liste des connexions aux données d'ArcCatalog.

- Accueil - Pech_Maho\Lidar
- Connexions aux dossiers
 - C:\crrs\Cours\20130208_M1_InvitationArcGIS\ArcData
 - C:\crrs\Lattes\Pech_Maho
 - C:\data\Lidar
 - C:\Temp
 - Z:\data\Fonds de carte
 - Z:\data\IGN\34 - Hérault
 - Z:\data\IGN\France\SCAN_25_193
 - Z:\data\Lidar
- Boîtes à outils
- Serveurs de bases de données

2. Créer une connexion à un nouveau répertoire.

3. Type de données reconnues par ArcCatalog

Zooms
Déplacer

Zooms constants
Vue générale

Cadrement précédent
Cadrement suivant

Hyperlien

Itinéraires

Recherche d'entités

Outil de mesure

Outils d'identification

Echelle : 1:253 193
(entrer directement l'échelle voulue)

Géosignets :
Enregistrer un cadre des données

Géosignets
Créer un géosignet...
Organiser les géosignets...

Sélection d'entités ou d'éléments graphiques

- Sélectionner par rectangle
- Sélectionner par polygone
- Sélectionner par lasso
- Sélectionner par cercle
- Sélectionner par ligne

Aller à : XY (Mètres)

X: 773 000 Y: 6 275 000

Afficher les données attributaires :

1. Clic droit sur le nom de la couche ;
2. Sélectionner *Open Attribute Table / Ouvrir la table attributaire.*

Longueurs et surfaces sont calculées et jour automatique pour les classes géodatabase.

Propriétés d'un document ArcMap: Dans le menu File / Map Document Properties

(Fichier / Propriétés de la carte):

***Propriétés des blocs de données :**

1-Unités, emprises:

Unités affichées sous la carte.

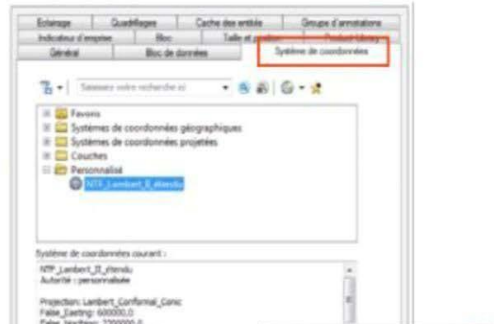
Taille des symboles dépend de l'échelle

Défaut, plein Nord de référence.

2- Systèmes de coordonnées:

La première couche ajoutée à un bloc de données impose son système de coordonnées.

- Toutes les nouvelles couches ajoutées seront affichées dans ce système.
- Un **avertissement** est affiché en cas de datums différents. Il peut être nécessaire de préciser quelle transformation géographique utiliser ou bien d'en définir les paramètres.



• Général

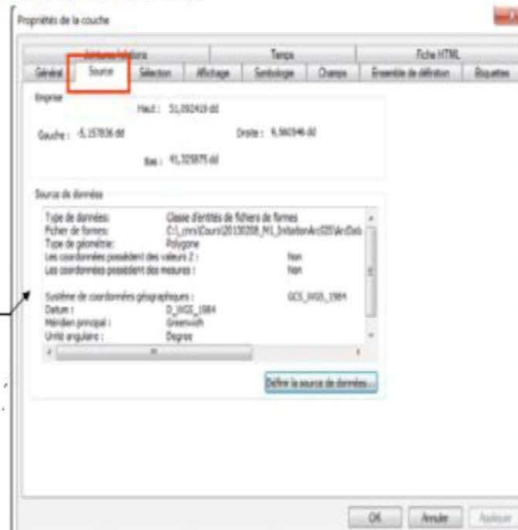
- Nom de la couche.
- Couche visible ou non.
- Plage d'échelle de visibilité :
 - Ne pas afficher si zoom **arrière** supérieur à (échelle minimale).
 - Ne pas afficher si zoom **avant** supérieur à ... (échelle maximale).
 - Afficher à toutes les échelles.



2 - Source

- Si une source de données a été **déplacée, renommée** ou **supprimée**, le lien avec les couches qui s'y réfèrent est rompu (indiqué par un ! devant le nom de la couche).
- Cliquer sur le bouton « Définir la source des données » pour indiquer le nouvel emplacement (la même option est disponible avec un clic droit sur la couche).
- Les propriétés d'affichage de la couche (symbologie, etc.) ne sont pas perdues.
- Cet onglet indique également **l'emprise** de la couche.

Le système de coordonnées de la **source** de données peut être différent de celui de la couche dans le bloc de données: **changement de projection « à la volée »**



ملخص

الموارد المائية هي من أساسيات التنمية المستدامة في عدة مناطق من العالم، ولا يعد توفر المياه كمصدر رئيسي للتنمية الزراعية و الصناعية و السياحية، بل إن معرفة جودة ونوعية هذه المياه مؤشر مهم في تحقيق تلك التنمية. التحليل الهيدرولوجي هو وسيلة لأجل معرفة طريقة توزيع المياه السطحية وخصائصها. يعد نظم المعلومات الجغرافية (SIG) وسيلة معلوماتية لتمثيل وتحليل جميع العناصر الموجودة على الأرض وجميع الظواهر الطارئة التي تحدث هناك. تم تنفيذ منهجية العمل التي تتمثل في تمثيل المعلومات التي تم جمعها في شكل خرائط مواضيعية وبيانات أخرى، باستخدام برنامج "ArcGis 10.3" (وباستخدام بيانات قاعدة البيانات المتاحة على مستوى الوكالة الوطنية للموارد المائية ومديرية الموارد المائية (DRE-ANRH) في هذا العمل، قدمنا خطوات إعداد البيانات اللازمة للمحاكاة، أولاً عن طريق تحديد قاعدة بيانات هيدرولوجية (BD)، تبعها إنشاء نماذج لقاعدة البيانات الجغرافية (MBDG) للحوض المصب، وأخيراً تقييم وتقدير المياه الجوفية والمياه السطحية في حوض سوبلة.

الكلمات المفتاحية: التحليل الهيدرولوجي. حوض سوبلة. المياه السطحية. نظام المعلومات الجغرافية (SIG). (BD).

Abstract

Water resources are essential for sustainable development in many parts of the world, the availability of water in quantity is not the main source of agricultural, industrial and tourism development, but the knowledge of the quality of this water is an important indicator of this development.

Hydrological analysis is a method to know the distribution of surface waters and their characteristics.

The Geographic Information System (GIS) is a computer tool for representing and analyzing all the elements that exist on earth and all the events that occur there. A working methodology that consists in representing the collected information in the form of thematic maps was carried out using the "ArcGis 10.3" software by using the database data available at the organization level (DRE-ANRH).

In this work, we presented the steps of the preparation of the data necessary for the simulation, first of all by the construction of the digital terrain model (DTM), then the determination of a database for hydrology (DB), and creation to models of geographic database (MGDB) for watershed and finally the assessment and estimation of groundwater and surface water in the Soubella Wadi sub basin.

Keyword: Hydrological analysis, the Soubella Wadi sub basin, surface waters, The Geographic Information System (GIS), a database for hydrology (DB).

Résumé

Les ressources en eau sont essentielles pour le développement durable dans de nombreuses régions du monde. La disponibilité de l'eau est un facteur majeur de développement agricole, industriel et touristique, alors que la connaissance de la qualité de l'eau est un indicateur important du développement.

Analyse hydrologique est une méthode pour connaître la distribution des eaux superficielles et leur caractéristiques.

Le système d'information Géographique (SIG) est un outil informatique permettant de représenter et d'analyser tous les éléments qui existent sur terre ainsi que tous les événements qui s'y produisent. Une méthodologie de travail qui consiste à représenter les informations collectées sous forme de cartes thématiques, a été réalisée en utilisant le logiciel « Arc Gis 10.3 » par l'exploitation des données de bases disponibles au niveau des organismes (DRE-ANRH).

Dans ce travail, nous avons présenté les étapes de la préparation des données nécessaires à la simulation, cela, tout d'abord par la détermination d'une base de données pour l'analyse hydrologique (BD), suivie par la création des modèles d'une Base de Données Géographique (MBDG) pour le sous-bassin versant et enfin l'évaluation et l'estimation des eaux superficielles dans le sous-bassin d'Oued Soubella.

Mots clés : Analyse hydrologique, Sous-bassin d'Oued Soubella, Eaux Superficielles, Le système d'information Géographique (SIG), Base des Données.