

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
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

OPTION : ECOLOGIE DES MILIEUX
NATURELS

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par: MAKHZOUM Youcef

MAHDID Benaissa

Intitulé

**Hydrologie du bassin du Hodna : Construction
d'une base de données à l'aide d'un SIG.**

Soutenu devant le jury composé de:

BOUNAR	Rabeh	M.C.A	Université de M'Sila	Président.
KHOUDOUR	Djamel	M.C.A	Université de M'Sila	Rapporteur.
NOUIDJEM	Yassine	M.C.A	Université de M'Sila	Examineur.

Année universitaire : 2018 /2019

Remerciement

Tout d'abord, tout louange à dieu qui nous a fourni le courage, la capacité et la patience pour réaliser ce modeste travail avec toutes ses difficultés et ses obstacles.

*On remercie spécialement notre promoteur, Monsieur **Khoudour Djamel**, Maître de conférence classe » A « à l'université de Msila, pour nous avoir accordé sa confiance pour mener à bien ce projet et pour l'encadrement de ce travail et sa disponibilité ainsi que ses conseils ont largement contribué à l'aboutissement de ce travail.*

*Un merci particulier à Messieurs, **Nouidjem Yassine** et **Zedam Abdalghani**, pour leurs qualité de collaboration.*

*Aussi nous remercie Monsieur **Bouinar Rebeh** et membres du jury pour acceptée évaluée ce modeste travail,*

❖ **YOUCEF**
❖ **BENAISSA**

DEDICACE

Avec beaucoup d'amour et de respect, je dédie

ce modeste travail

A mon cher papa pour les longues années de sacrifices et de privations

pour m'aidera avancer dans la vie.

A ma chère maman pour son amour, son soutien, tous les sacrifices

consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa

présence dans ma vie.

À mes adorables frères, Ahmad, lakhdar, et toute ma familleMahdid.

À mes chers amis:Ahmida,Rabeh,Abdo,Nouri,Oussama,Elmowafak,

Et surtout Youcef et Abd Almalik et Tarek.

A mon encadreur : KHOUDOUR Djamel

A Tous Mes Amies De La Promotion 2019 De Master En Ecologie

A toutes les personnes qui on contribué, de prés ou de loin à la

réalisation de ce travail ; je leurs dis «Merci pour tout votre amour et

votre affection ».

BEN AISSA

DEDICACE

*J'ai l'honneur de dédie ce modeste travail à Ma famille
Makhzoum tahar Et aux personnes les plus chères au monde mes chers
parents :*

A mon père : Tahar

*Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon
éducation*

et mon bien être. Ce travail est fruit de tes sacrifices qui tu as consentis

Pour mon éducation et ma formation.

A ma très chère mère :

Tu es l'exemple de dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de

Prier pour moi. Et Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver t'accorder

Santé, longue vie et bonheur.

Je grande dédie spécial a mon frère Massinissa

Qui n'a pas arrêté le soutien moral et matériel ...sans oublier Ma sœur

Yasmin

*A ma 2ème famille mes amies : Tarek, Oussama, Nour dine, Hamide,
Islam,*

El Mouafek, Nasro, Abde el Malek

*A mon binôme Benaissa qui a partagée avec moi les moments difficiles
de ce*

Travail et sa famille.

Sans oublier mes amies et a Tous ceux qui m'ont connus.

YOUCEF

Liste des abréviations

Liste des abréviations :

KG : l'indice de compacité de Graveleuse

MNT : Modèle numérique de terrain

SQL : Structured Query Language

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 Organisation

SGBD : Système de Gestion de Base de Données

ESRI : Institut de Recherche sur les systèmes Environnementaux

SI : Système d'information

Tc : Temps de concentration

Liste des figures

Liste des figures

Fig. I.01 . Diagramme de phase de l'eau [Musy, 2003].....	03
Fig. I.02.Représentation du cycle de l'eau [Makhlouf ,2015].	05
Fig. I.03.Exemple d'un Bassin versant topographique [L'Algérois , Talatizi.2014].	11
Fig. I.04.Distinction entre bassin versant réel et bassin versant topographique [Musy et al, 2004].....	11
Fig. I.05. Influence de la forme du bassin versant sur l'hydrogramme de crue [Musy ,2003].....	13
Fig. I.06. Exemples d'indices de compacité[Musy et al ,2003].	14
Fig. I.07. Courbe hypsométrique du bassin versant de la Haute-Mentu [Talatizi,2014].	14
Fig. I.0 8.Processus d'infiltration dans le sol et multiplicités des écoulements [Musy, 2003].....	18
Fig. I.09. Les différents types d'écoulements [Musy, 2003].	21
Fig. I.10. La géomatique.	23
Fig. I. 11. Mode Raster et Vecteur.	25
Fig .I.12. : Représentation des images Raster et Vecteur.....	25
Fig. I.13.Schéma de la mise en place du système d'information.	27
Fig. I.14.schéma des composantes d'un SIG.	30
Fig. I.15. Les fonctionnalités du S.I.G [NOTTET, 2002].....	31
Fig. I.16.Domains d'application du SIG.	33
Fig. I.17.Les différents formats de MNT.....	35
Fig. II.01. Situation de bassin versant du Hodna dans L'ensemble des Bassins Versants Algériens.	38
Fig. II.02. Bassin versant du Hodna(google earth pro)	39
Fig. II.03. Pluviométrie dans le bassin versant du Hodna.....	40
Fig. II.04. Géologie du bassin versant du Hodna [Adoui, 2013]	43
Fig. II.05. Pédologie de la région du Hodna[Boyadgiev, 1975].	44
Fig. II.06.Sous bassin hydrographique principale.....	45
Fig. II.07.Longueur des principaux oueds du bassin.....	46
Fig. II .08. Réseau Hydrographique de Bassin du Hodna	47
Fig. II .09.Relief de bassin versant du Hodna.....	49
Fig. II.10. Courbe hypsométrique de bassin versant du Hodna.	51
Fig. II.11. Ressources en eau souterraine dans l'Algérie du Nord [Remini, 2009].	52
Fig. II.12.Les eaux souterraines de Bassin du Hodna.	54
Fig. II.13.Les eaux superficielles de Bassin du Hodna.	55
Fig. II.14. Précipitations mensuelles annuelles moyennes en (mm) de la région de M'Sila et Boussaàda durant la période (2008-2017).....	58

Liste des figures

Fig. II.15. Variabilités dans le temps des précipitations en (mm/an) entre les deux stations.	59
Fig. II.16. Apport annuelles des écoulements de rocade sud.	60
Fig. II.17. Apport annuelles des écoulements de Moulin Ferrero.....	61
Fig.IV.1. Base de données géographiques BDG [Ider, 2004].....	68
Fig.IV.2 : <i>MBDG</i> – distribution des eaux superficielles de la Bassin du Hodna sur le SIG.....	69
Fig.IV.3 : <i>MBDG</i> – distribution des eaux souterraines de la Bassin du Hodna sur leSIG.....	70
Fig.V.01. MNT du relief de bassin versant du Hodna.	72
Fig.V.02. MNT du réseau Hydrographique de bassin du Hodna en 3 dimensions.	73
Fig.V.03. Courbe de niveaux de bassin du Hodna par MNT.....	73
Fig.V.04.Evaluation des eaux souterraine du bassin du Hodna.	74
Fig.V.05.Evaluation des eaux superficielles de Bassin du Hodna.	75
Fig.V.06. Evaluation des capacités des barrages de bassin du Hodna.	75
Fig.V.07. Evaluation des capacités des retenues collinaires de bassin du Hodna.....	76
Fig.V.08 : <i>MBDG</i> – Estimation des eaux mobilisées de bassin du Hodna.....	76

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau.II.1.Principaux oueds de bassin du hodna.	46
Tableau.II.2. Répartition de la superficie selon l'élévation des courbes de niveau[Achour,2013].	50
Tableau.II.3.Caractéristiques physiques et morphométriques de bassin du hodna.	52
Tableau.II .4.Estimation des eaux souterraines dans le bassin du Hodna.....	53
Tableau.II .5.Potentialités en eaux superficielles de Bassin du Hodna.....	55
Tableau.II .6.La Capacité des Barrage et retenues collinaires de Bassin du Hodna.	56
Tableau.II .7 Données pluviométriques de la station météorologique de M'sila et Boussaàda.	57
Tableau.II .8.Données pluviométriques annuelles de la station météorologique de M'sila et Boussaàda.....	58
Tableau.II .9.Donnes hydrométriques de la station de rocade sud.....	59
Tableau.II .10. Donnes hydrométriques de la station de Moulin Ferrero. (ANRH, 2018).....	60
Tableau.III.1. caractéristiques de Bassin du Hodna.....	64

Table des matières

Table des matières

Liste d'abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.HYDROLOGIE DES BASSINS VERSANTS ET SIG	3
I.1. Cycle et bilan hydrologiques	3
I.1.1. Introduction	3
I.1.2 L'eau, généralités	3
I.1.3 Définition et composantes du cycle hydrologique	4
I.1.4.Le bilan hydrologique	8
I.2. Le bassin versant et son complexe	10
I.2.1.Définition du bassin versant	10
I.2.2. Comportement hydrologique.....	12
I.2.3.Caractéristiques physiques et leurs influences sur l'écoulement des eaux.....	12
I.2.3.1. Les caractéristiques géométriques	12
I.2.4. L'infiltration et l'écoulement	17
I.2.4.1. Introduction	17
I.2.4.2. L'infiltration	18
I.2.4.3.Les écoulements	20
I. 3. Le système d'information géographique	21
I. 3.1. Généralité	21
I. 3.2. Pourquoi la géographie ?.....	22
I. 3.3.Géomatique	22
I. 3.4. L'information géographique	23
I. 3.4.1. Définition.....	23

Table des matières

I. 3.4.2. Les composants de L'information géographique	23
I. 3.5. La représentation de l'information géographique	24
I.3.5.1. Classification des informations géographiques	24
I. 3.5.2. Dualité Raster - Vecteur	24
I. 3.6. Caractéristiques de l'information géographique	27
I. 3.7. Notion du système d'information.....	27
I. 3.8. Système d'information géographique	28
I. 3.9. Historique du S.I.G.....	29
I. 3.10. Les composantes d'un SIG.....	30
I. 3.11. Les fonctionnalités du S.I.G.....	31
I. 3.12. Le rôle des SIG.....	33
I. 3.14. Domaines d'application.....	33
I. 3.15. Présentation des principaux logiciels de S.I.G.....	34
I. 3.15.1. Logiciels en mode vectoriel.....	34
I. 3.14.2. Logiciels en mode RASTER	36
I. 3.16. Modeles numériques d'altitude	36
Chapitre II : Présentation des caractéristiques du bassin versant du hodna	
1. Situation géographique de bassin du Hodna	38
2. Le climat de la région.....	39
3. Couvert végétal	41
4. Géologie	42
5. Sols.....	43
6. Réseau Hydrographique	45
7. Caractéristiques physiques et morphométriques	47
7.1. Paramètres morphométriques	47
7.2. Paramètres du relief	49
7.2.1. Courbe hypsométrique	50
7.2.2. Les altitudes caractéristiques	51

Table des matières

8. Les potentialités en eau dans le bassin du Hodna	52
8.1. Les eaux souterraines.....	52
8.2. Eaux superficielles.....	54
9. Mobilisation de la ressource en eau	56
9.1. Eaux superficielles (Barrage et retenues collinaires)	56
10. Etude hydro-pluviométrique	57
10.1. Pluviométrie.....	57
10.2. Les écoulements	59
11. Réseau hydro-pluviométrique.....	61
Chapitre III :Matériels et approche méthodologique	
1. Etude hydrologique	62
1.1. Collecte des données	62
2. Les outils des traitements des données.....	62
3. Etude cartographique.....	62
3.1. Collecte des cartes	62
3.2. Traitement des cartes	63
3.2.1. Cartographie thématique.....	63
Chapitre IV : Mise en place d'une base de données a référence spatiale pour l'étude l'hydrologie du Bassin du Hodna	
1. Utilité d'un SIG dans l'étude d'hydrologie de bassin versant	65
1.2. Choix des données intégrées au système	66
2. Les grandes étapes de création de la base de données à référence spatiale	67
2.1. Structuration des données	67
2.1.1. Modèle d'une Base de Données Géographiques	67
2.1.2. L'implantation des données structurées dans un système informatique	70
2.2. Le travail sous environnement SIG : Intégration des données géographiques et traitement l'information.....	70
Chapitre V : Résultats et discussions	
1. Création d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT)- Intégration de l'MNT dans le SIG.....	72
2. Distribution et évaluation des eaux souterraine de bassin versant du hodna	74

Table des matières

3. Distribution et évaluation des eaux superficielles de bassin versant du Hodna.....	74
3.1. Evaluation des mobilisations des ressources en eau de bassin du Hodna.....	75

Conclusion

Références bibliographiques

Lexique

Annexe

Résumé

Introduction

Introduction

Le bassin du Hodna a été choisi comme une zone d'application de notre travail en raison de sa vaste superficie (25856 km²) par conséquent un nombre maximal des sous-bassins versants (08 sous-bassins) et ainsi de suite une grande variabilité des caractéristiques physiques qui influent sur l'écoulement des eaux. L'eau constitue l'un des éléments à la vie. Son intérêt a incité de nombreux scientifiques à faire des recherches approfondies afin de mieux contrôler et modéliser son cycle. Plusieurs sciences ont découlé de ces études effectuées durant des siècles, parmi lesquelles nous trouvons la mécanique des fluides, l'hydraulique, l'hydrologie....., selon le but et l'objet que l'on veut modéliser et estimer, on choisit la discipline adaptée au but de l'étude. L'intérêt de ces études c'est de déterminer les besoins et la gestion de cette ressource.

Cette ressource est devenue un problème qui occupe le monde actuel et qui inquiète les hydrologues et les climatologues qui craignent des conséquences désastreuses sur la vie de l'être humain, l'environnement et l'industrie.

Hydrologie d'une façon générale 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, 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'hydrologie de surface est la science qui traite essentiellement des problèmes qualitatifs et quantitatifs des écoulements à la surface des continents (**Laborde, 2009**).

Aussi l'hydrologie joue un rôle principal dans le domaine de l'ingénierie et des sciences environnementales. Elle concerne aussi bien les mécanismes d'écoulement des eaux dans les systèmes naturels (bassin versant) ou anthropisés (zone industrielles ou urbanisées) que le dimensionnement des ouvrages hydrauliques utiles à l'exploitation et à la gestion des eaux. Elle permet également de mieux comprendre et simuler le comportement dynamique des eaux dans les zones hydrauliques où elles se répandent et de mieux saisir les impacts des aménagements hydrauliques sur l'environnement.

L'objectif de notre travail est de faire une étude sur l'hydrologie de bassin versant du Hodna et l'évaluation et l'estimation de l'eau trouvée dans le bassin, et élaboration d'une base de données à l'aide de SIG.

La présente étude se structure en cinq chapitres, la première présente des données bibliographiques sur l'hydrologie de bassin versant et données sur le système d'information

Introduction

géographique (SIG). Le second chapitre englobe une présentation des caractéristiques du bassin versant du Hodna. Alors que le troisième chapitre met l'accent sur la méthodologie de l'étude. Le quatrième chapitre est consacré à la mise en place d'une base de données géographique pour l'étude de l'hydrologie de bassin du Hodna.

Nous avons abordé les résultats obtenus et les discussions dans le cinquième chapitre. Enfin, nous concluons ce travail par des perspectives.

Chapitre I :
Synthèse bibliographique

I. HYDROLOGIE DES BASSINS VERSANTS ET SIG

I.1. Cycle et bilan hydrologiques

I.1.1. Introduction

La question de la disponibilité et d'accès à l'eau est sans aucun doute un des problèmes majeurs auquel devra faire face l'humanité durant le siècle à venir. Aujourd'hui on estime en effet qu'un habitant sur cinq de la planète n'a pas accès à l'eau en suffisance et un sur trois a une eau de qualité. Dans ce contexte, il peut être utile de rappeler que "la mesure quantitative et qualitative des éléments du cycle hydrologique et la mesure des autres caractéristiques de l'environnement qui influent sur l'eau constituent une base essentielle pour une gestion efficace de l'eau". (Déclaration de Dublin, 1992). De fait, la compréhension et l'analyse du cycle de l'eau est la base de toute étude et réflexion au sujet de la gestion des eaux.

I.1.2 L'eau, généralités

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.

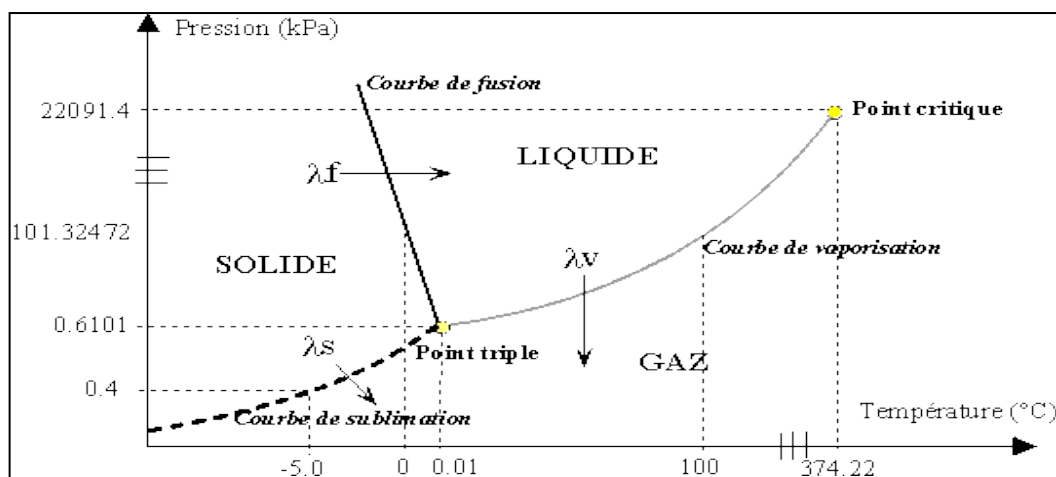


Fig. I.1 . Diagramme de phase de l'eau [Musy, 2003].

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**).

I.1.3 Définition et composantes du cycle hydrologique

Définition :

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 réévaporations (**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.

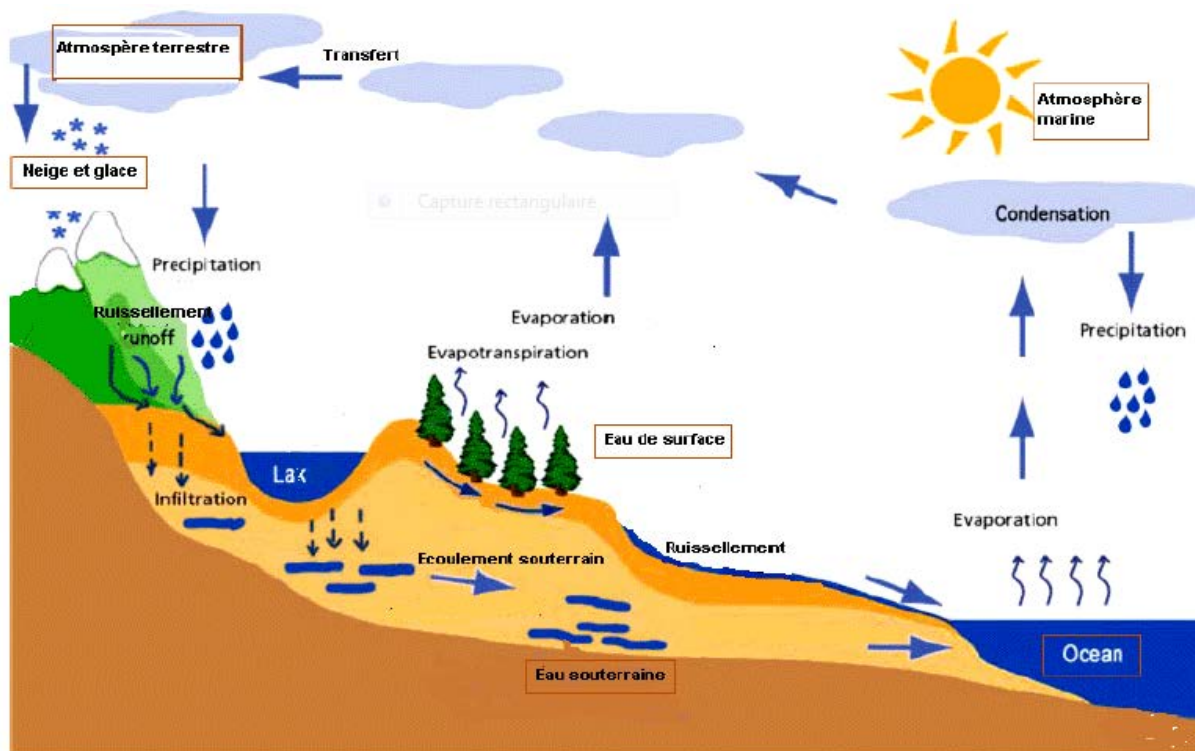


Fig. I.2.Représentation du cycle de l'eau [Makhlouf ,2015].

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 principales solide (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 bassin (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 subsurface (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).

I.1.4. Le bilan hydrologique

On peut schématiser le phénomène continu du cycle de l'eau en trois phases :

- Les précipitations,
- Le ruissellement de surface et l'écoulement souterrain,
- L'évaporation.

Il est intéressant de noter que dans chacune des phases on retrouve respectivement un transport d'eau, un emmagasinement temporaire et parfois un changement d'état. Il s'ensuit que l'estimation des quantités d'eau passant par chacune des étapes du cycle hydrologique peut se faire à l'aide d'une équation appelée "hydrologique" qui est le bilan des quantités d'eau entrant et sortant d'un système défini dans l'espace et dans le temps. Le temporel introduit la notion de l'année hydrologique. En principe, cette période d'une année est choisie en fonction des conditions climatiques. Ainsi en fonction de la situation météorologique des régions, l'année hydrologique peut débuter à des dates différentes de celle du calendrier ordinaire. Au niveau de l'espace, il est d'usage de travailler à l'échelle d'un bassin versant, mais il est possible de raisonner à un autre niveau (zone administrative, entité régionale, etc.), (Talatizi, 2014).

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

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

Avec :

P : précipitations (liquide et solide) [mm],

S : ressources (accumulation) 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 [mm].

On exprime généralement les termes du bilan hydrique en hauteur d'eau (mm par exemple), on parle alors de lame d'eau (précipitée, écoulée, évaporée, stockée, etc.). Cette équation exprime simplement que la différence entre le débit d'eau entrant et le débit d'eau sortant d'un volume

donné (par exemple un bassin versant) au cours d'une période déterminée est égale à la variation du volume d'eau emmagasinée au cours de ladite période.

Elle peut s'écrire encore sous la forme simplifiée suivante :

$$\mathbf{E=I-O\pm \Delta S}$$

Avec :

E : évaporation [mm] ou [m3],

I : volume entrant [mm] ou [m3],

O : volume sortant [mm] ou [m3],

ΔS : variation de stockage [mm] ou [m3].

Si le bassin versant naturel est relativement imperméable, la variation de stock sur une période donnée peut être considérée comme nulle ($\Delta S = 0$). Dès lors, on peut introduire le déficit d'écoulement D dans l'équation qui s'écrit :

$$\mathbf{I-O=D}$$

Ce déficit d'écoulement représente essentiellement les pertes dues à l'évaporation. Il peut être estimé à l'aide de mesures ou de méthodes de calcul.

A titre illustratif, les formules de Turc et Coutagne sont les suivantes :

1. Formule de Turc

$$\mathbf{D=\frac{P}{\sqrt{0,9+\frac{P^2}{L^2}}}}$$

Avec :

D : déficit d'écoulement [mm],

P : pluie annuelle

T : température moyenne annuelle [°C].

$$L = 300 + 25 T + 0.05 T^3.$$

2. Formule de Coutagne

$$\mathbf{D=P-mP^2}$$

Avec :

D : déficit d'écoulement [mm],

P : pluie annuelle [mm],

$m = 1/(0.8 + 0.16 T)$: coefficient régional ($m = 0.40$ pour l'Algérie).

La connaissance du déficit d'écoulement permet d'évaluer le comportement du système ou la fiabilité des données sensées le décrire, par comparaison entre les valeurs du déficit calculées directement et les valeurs estimées dans un bassin versant plus grand (Talatizi, 2014).

I.2. Le bassin versant et son complexe

I.2.1. Définition du bassin versant

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 (voir Fig. I.4).

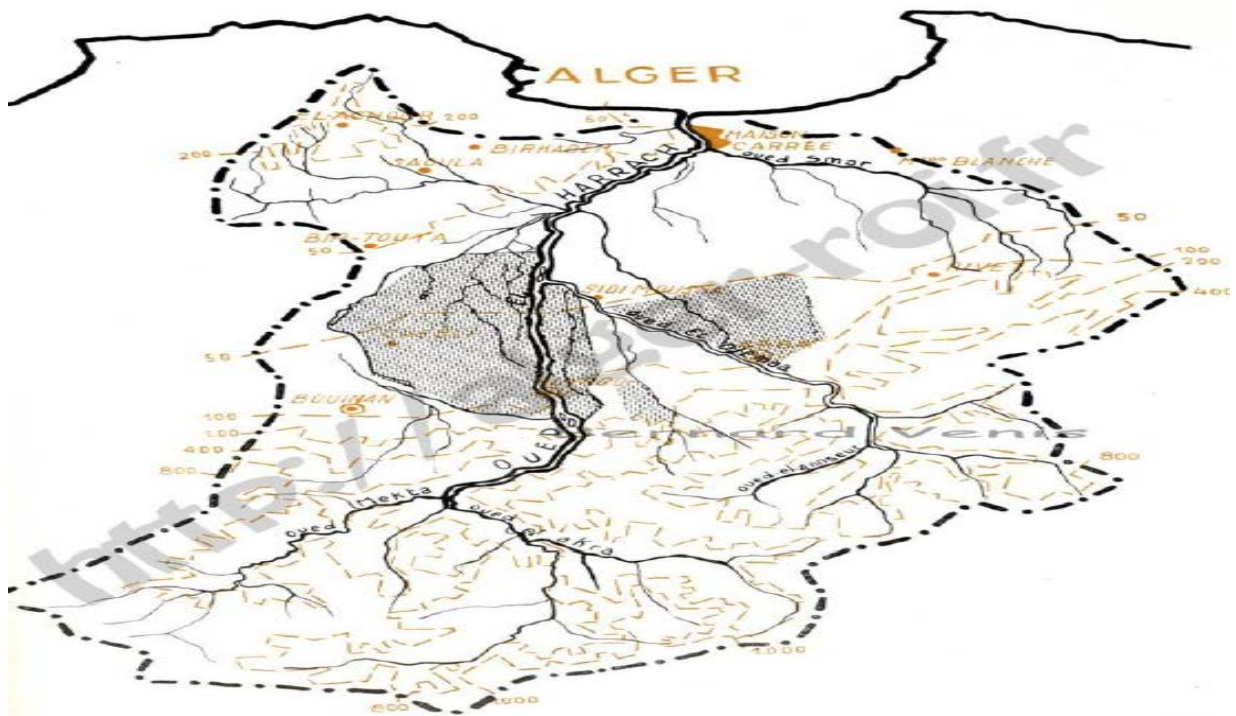


Fig. I.3.Exemple d'un Bassin versant topographique [L'Algérois ,Talatizi.2014].

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

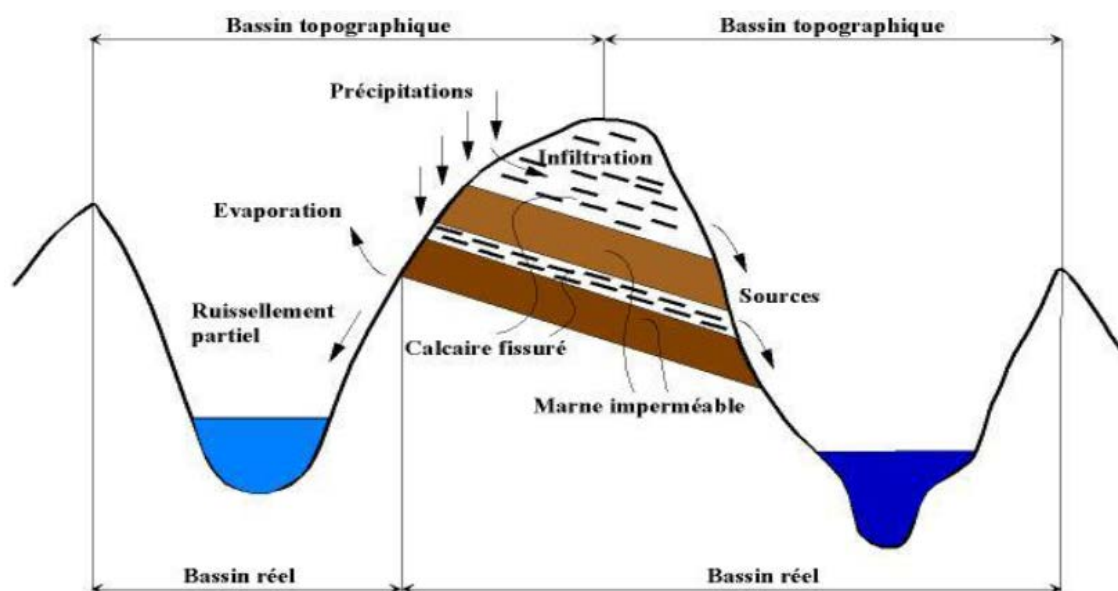


Fig. I.4.Distinction entre bassin versant réel et bassin versant topographique [Musy et al ,2004].

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, pompes 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).

I.2.2. Comportement hydrologique

a. Le temps de concentration

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:

$$t_c = \max (\sum (t_K + t_r + t_a))$$

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).

I.2.3. Caractéristiques physiques et leurs influences sur l'écoulement 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 :

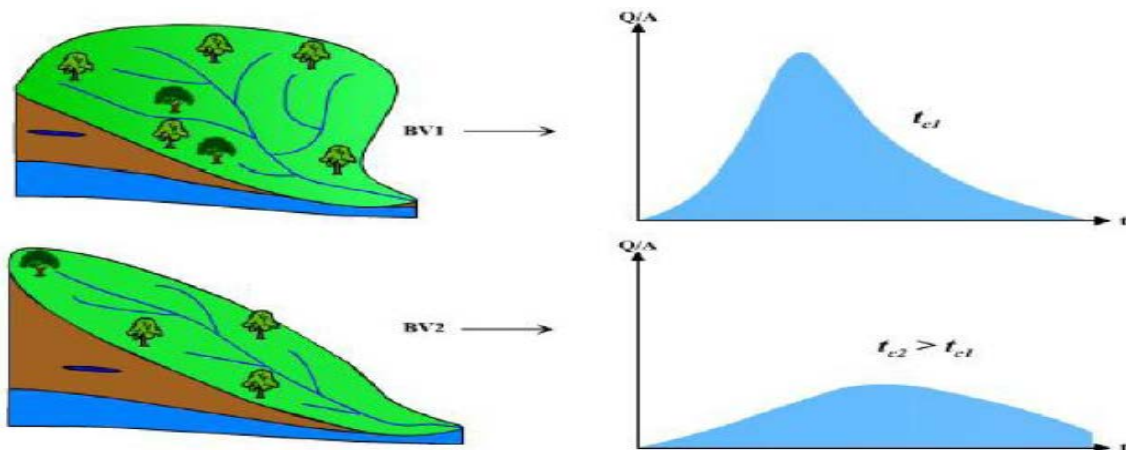


Fig. I.5. Influence de la forme du bassin versant sur l'hydrogramme de crue [Musy ,2003].

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) K_G , défini comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface :

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \approx 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec :

K_G 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 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.6.

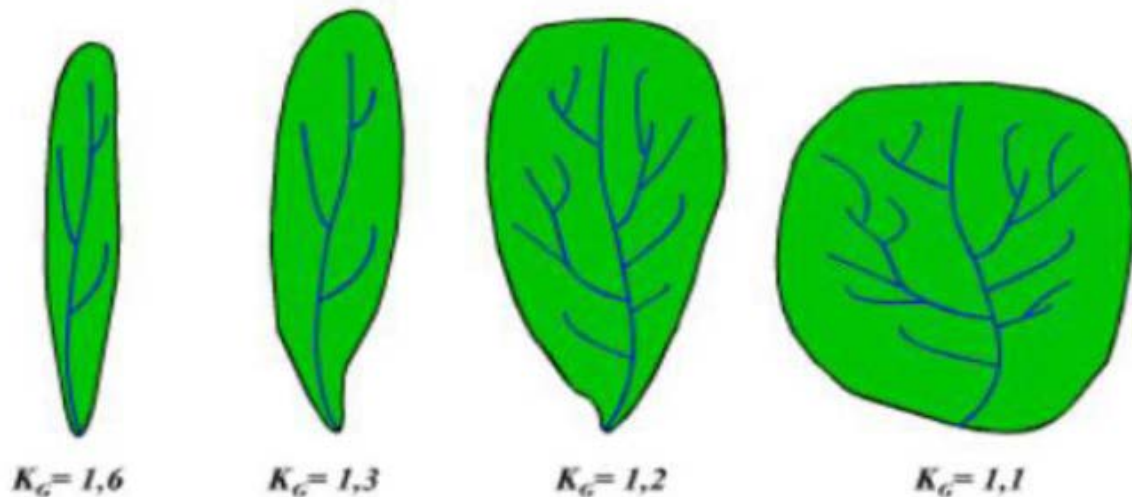


Fig. I.6. Exemples d'indices de compacité[Musy et al,2003].

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.7.). Elle exprime ainsi la superficie du bassin ou le pourcentage de superficie, au-delà d'une certaine altitude (**Musy et al,2004**).

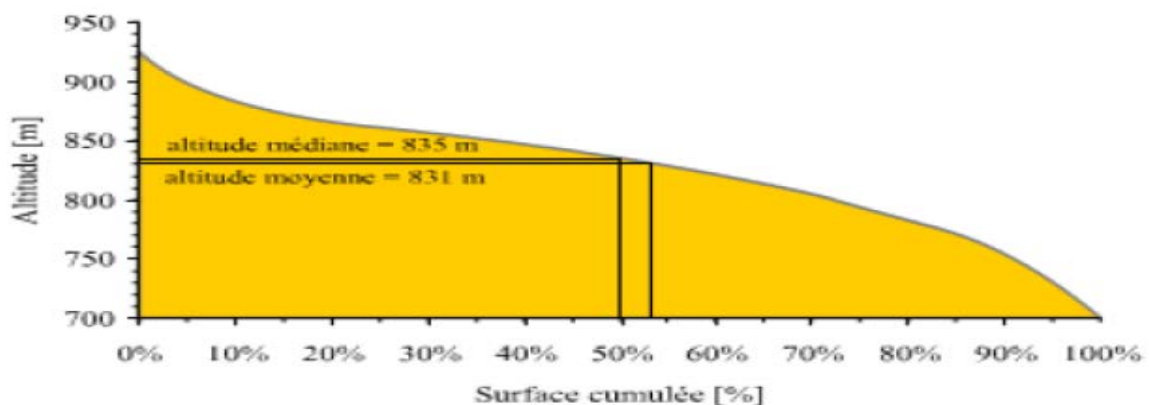


Fig. I.7. Courbe hypsométrique du bassin versant de la Haute-Mentu [Talatizi,2014].

Ajoutons que lorsqu'on désire caractériser des bassins versants de haute montagne, on a l'habitude de tracer des courbes hypsométriques glaciaires, en planimétrant 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 :

$$H_{moy} = \sum \frac{A_i h_i}{A}$$

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 :

$$i_{moy} = \frac{DL}{A}$$

Où :

i_m : pente moyenne [m/km ou ‰],

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, soit :

$$i_p = \frac{1}{L} \sum_i^n = 1 \left(x_i \sqrt{\frac{d}{x_i}} \right)$$

où :

i_p : indice de pente [%],

L : longueur du rectangle [m],

X_i : Distance qui sépare deux courbes sur le rectangle [m] (la largeur du rectangle étant constante, cette distance est égale au facteur de pondération),

d : Distance entre 2 courbes de niveau successives (peut être variable) [m],

$\frac{d}{X_i}$: Pente moyenne d'un élément [%].

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 (Talatzizi, 2014).

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

Si L et l représentent respectivement la longueur et la largeur du rectangle équivalent, alors :

Le périmètre du rectangle équivalent vaut : $P=2(L+l)$; la surface : $A=L.l$; le coefficient de compacité :

$$K_G = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$$

En combinant ces trois relations, on obtient :

$$L = \frac{KG\sqrt{A}}{1,12} \cdot \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{KG}\right)^2} \right] \quad \text{Si } K_G \geq 1,12$$

Le tracé des droites de niveau du rectangle équivalent découle directement de la répartition hypsométrique cumulée.

I.2.4. L'infiltration et l'écoulement

I.2.4.1. 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 (Talatzizi, 2014).

Les différents processus d'infiltration et d'écoulements participant à la génération de crue sont représentés de manière schématique dans la fig. (I.8).

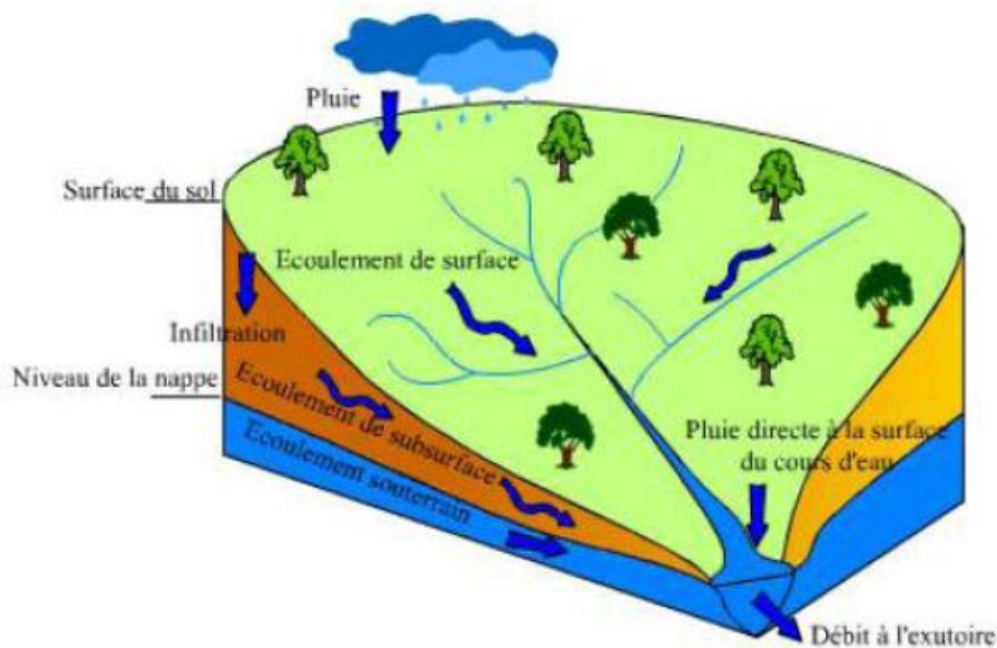


Fig. I. 8. Processus d'infiltration dans le sol et multiplicités des écoulements [Musy, 2003].

I.2.4.2. 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.

$$I(t) = \int_{t=t_0}^t i(t) dt$$

Avec :

$I(t)$: infiltration cumulative au temps t [mm],

$i(t)$: régime ou taux d'infiltration au temps t [mm/h].

-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 écoulée 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. (**Talatizi, 2014**).

***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) .

I.2.4.3.Les écoulements

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

deprécipitations 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) .

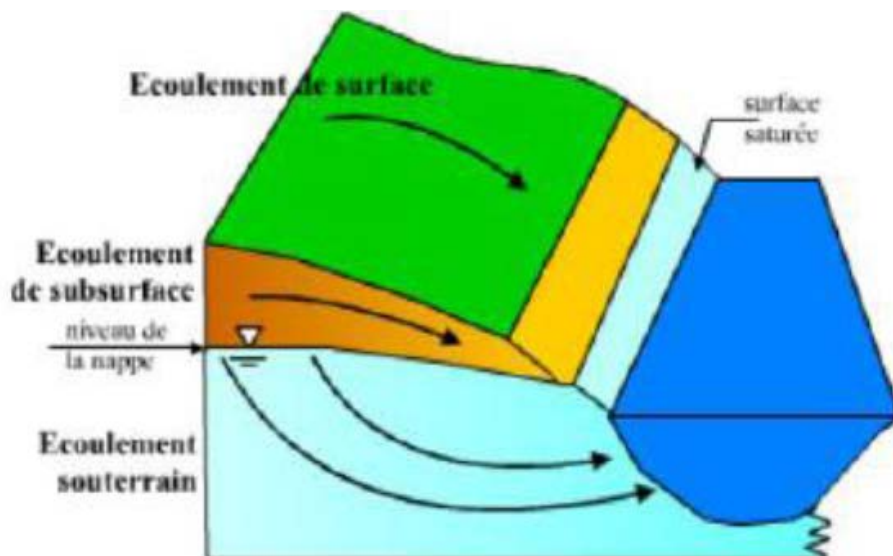


Fig. I.9. Les différents types d'écoulements [Musy, 2003].

I. 3. Le système d'information géographique

I.3.1. Généralité

Les enjeux majeurs auxquels il faut faire face aujourd'hui (environnement,aménagement de territoire...), ont tous un lien étroit avec le géoréférencement et lagéographie. Il apparaît donc nécessaire que pour une meilleure connaissance desphénomènes liés à la nature ou à l'activité humaine de disposer d'un ensembled'informations sur le milieu naturel considéré. Pour satisfaire ce besoin, on fait recoursaux nouvelles technologies apparues, notamment à celles dites des systèmesd'informations géographiques.

Une bonne gestion de l'environnement passe par une exploitation poussée des systèmes d'information modernes. Aujourd'hui il n'est plus nécessaire de présenter l'utilisation de l'informatique standard dans la gestion de base de données alphanumériques et dans la présentation graphique. Elle est devenue omniprésente et à la portée des utilisateurs concernés par l'environnement partout dans le monde, y compris dans les pays en développement. Il semble plus important d'examiner les développements nouveaux concernant les systèmes d'information et l'aide à la décision qui concernent les paramètres fondamentaux de

l'environnement, comme les dimensions spatiales et plus généralement, géographiques **(BRESSO et HAURIE, 1996)**.

Les systèmes d'information géographique (S.I.G), sont en pleine expansion et ne cessent de demander, de plus en plus, des données fiables provenant de sources diverses, leur mise en correspondance, leur comparaison et leur intégration. L'acquisition d'information géographique à partir d'images aériennes ou d'images satellitaires d'observation de la terre représente un potentiel important.

I.3.2. Pourquoi la géographie ?

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 et BADUEL, 2004)**.

I.3.3. Géomatique

-La géomatique est une science de l'acquisition, du traitement et de la diffusion des données à référence spatiale. Elle vise à produire une chaîne numérique continue de la production de données sur le territoire à l'aide de la topométrie, la photogrammétrie, la géodésie, le positionnement par satellite, la télédétection, les systèmes d'information géographique et la cartographie **(GARFF, 1975)**;

- la géomatique, c'est le portrait de la réalité de haute précision à partir de ce plan de base on peut travailler sur les projets, et essayer de corriger les erreurs du passé, c'est le portrait exact du territoire avec toutes les informations nécessaires **(ROCHE, 2000)** ;

-L'utilisation généralisée des ordinateurs personnels, qui sont de plus en plus puissants et conviviaux, est à l'origine du foisonnement de logiciels de traitement des données à référence spatiale. Entre autres, on en arrive à pouvoir traiter simultanément et de façon automatisée l'ensemble des données à référence spatiale d'un territoire, dont celles provenant de la télédétection. Cette approche est maintenant désignée sous terme de géomatique **(PROVENCHER et DUBOIS,2007)** ;

-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)** ;

-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 » (Fig.I.10.), 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.



Fig. I.10. La géomatique.

I.3.4. L'information géographique

I.3.4.1. Définition

L'information géographique peut être définie comme :

- 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 et al, 1996) ;
- Une information géographique renvoie à un objet localisé sur la surface terrestre et qui comporte plusieurs attributs. On le localise à l'aide d'un système de références dans l'espace ; par la localisation relative, on peut comparer cet objet par rapport à d'autres objets.

I.3.4.2. Les composants de L'information géographique

- L'information géographique a une double composante :
 - Une composante graphique :
 - description de la forme de l'objet géographique.
 - et sa localisation dans un référentiel cartographique.
 - Une composante attributaire :
 - caractéristiques décrivant l'objet (description géométriques, caractéristiques thématiques).

I.3.5. La représentation de l'information géographique

I.3.5.1. 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.3.5.2. 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.11 et I.12).



Fig. I. 11. Mode Raster et Vecteur.

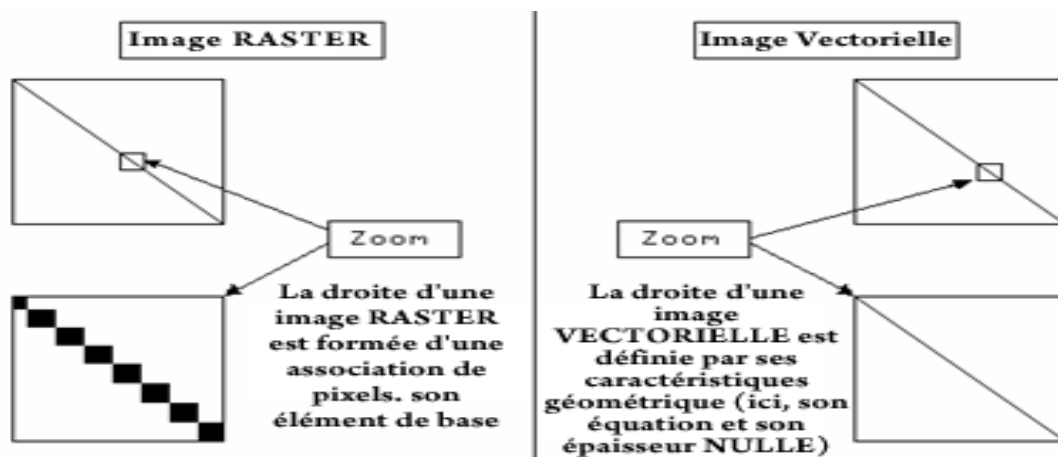


Fig.I.12. : Représentation des images Raster et Vecteur.

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 Rastring 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.

I.3.6. 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.3.7. Notion du système d'information

Partons de la définition la plus large et la plus générale du système, le système d'information est un ensemble d'éléments (des composants de traitement de l'information et de communication) en relation les uns les autres et formant un tout, organisé dans le but d'accomplir des fonctions de traitement de l'information. D'autres définitions sont plus précises pour ce système comme :

-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 et al, 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 et al,2006).

Nous pourrions schématiser la place du système d'information de la manière suivante : (Fig. I.13).

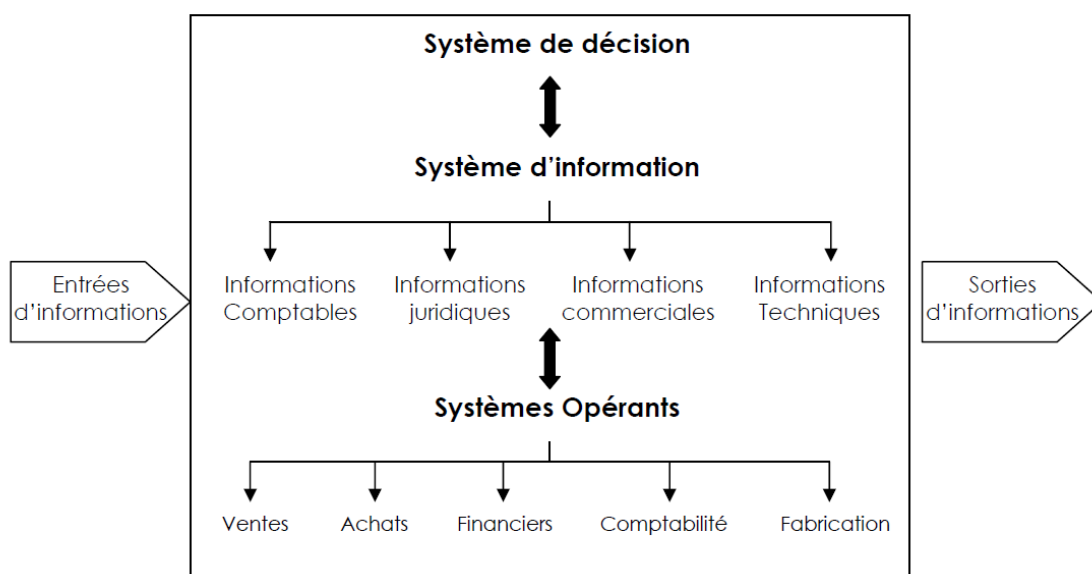


Fig. I.13.Schéma de la mise en place du système d'information.

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.3.8. Système d'information géographique

Le système d'information qui a recours à une base de données spatiales 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.3.9. Historique du S.I.G

a. Période des précurseurs (années 60) :

- Développement "aléatoire" ;
- Travaux pionniers des laboratoires de calcul (USA principalement) (**BELTRAN et GRISET, 2007**) ;
- Applications pilotes (USA Bureau of the Census, militaires).

b. Expérimentation (années 70) :

- Arrivée des unités graphiques, informatique des spécialistes ;
- Apparition des premières compagnies de logiciels de S.I.G ;
- ESRI 1969, Intergraph, Computer Vision, Synercom.

c. Mise en œuvre (années 80) :

- Développement des applications ;
- Diffusion des outils (Ex :ArcInfo 1982) ;
- Essor de la recherche, mise en place des programmes d'enseignement ;
- Emergence d'une communauté d'utilisateurs.

d. Maturité (années 90) :

- Généralisation des applications et élargissement des thématiques ;
- Multiplication des outils, apparition du Desktop GIS ;
- Apparition d'un marché commercial ;
- S.I.G sur internet.

e. Diffusion (années 2000) :

- S.I.G Mobile (Geolocation based services);
- Interopérabilité (**RIEDO et CHETELAT, 2001**).

I.3.10. Les composantes d'un SIG

Un Système d'Information Géographique est constitué de cinq composants majeurs(**COLLET, 1994**).

1. Matériel : Le traitement des données à l'aide des logiciels ne peut se faire sans un ordinateur. Pour cela, les SIG fonctionnent aujourd'hui sur une très large gamme d'ordinateurs.

2. Logiciels : Les logiciels de SIG offrent les outils et les fonctions pour l'exécution des fonctionnalités des SIG : (Acquisition, Archivage, Analyse, Affichage, Accès).

Les principaux composants d'un logiciel SIG sont :

- Outils de saisie et de manipulation des informations géographiques ;
- Système de Gestion de Base de Données ;
- Outils géographiques de requête, d'analyse et de visualisation ;
- Interface graphique utilisateur pour une utilisation facile.

3. Données : Les données sont la composante la plus importante des SIG (données graphiques spatiales, données alphanumériques...). Les données géographiques peuvent être, soit importées à partir de fichier, soit saisies manuellement par l'opérateur.

4. Le savoir-faire : Tous les éléments décrits précédemment ne peuvent prendre vis-à-vis une connaissance technique de ces derniers. Un SIG fait appel à de divers savoir-faire, donc à des divers métiers qui peuvent être effectués par une ou plusieurs personnes. On retiendra notamment la nécessité d'avoir des compétences en analyse des données et des processus, en traitement statistique, en sémiologie cartographique et en traitement graphique.

5. Les utilisateurs : Les SIG s'adressent à une très grande communauté d'utilisateurs depuis ceux qui l'ont créé et le maintiennent jusqu'aux utilisateurs ordinaires.



Fig. I.14. schéma des composantes d'un SIG.

I.3.11. Les fonctionnalités du S.I.G

Le système d'information est défini par Burrough (BURROUGH, 1986) en fonction des opérations que permet cet outil informatique :

- La saisie (numération) des données ;
- Le stockage (base de données graphiques et attributaire) ;

-L'analyse (requête, modélisation, simulation) ;

-La sortie (production de cartes, tableaux et graphiques, exportation et transfert de fichiers).

Le S.I.G offre cinq fonctionnalités, plus connues sous le terme des «5A » (Abstraction, Archivage, Analyse, Affichage et Acquisition) (DENEGRÉ et SALGE, 1996), (Fig. I.15).

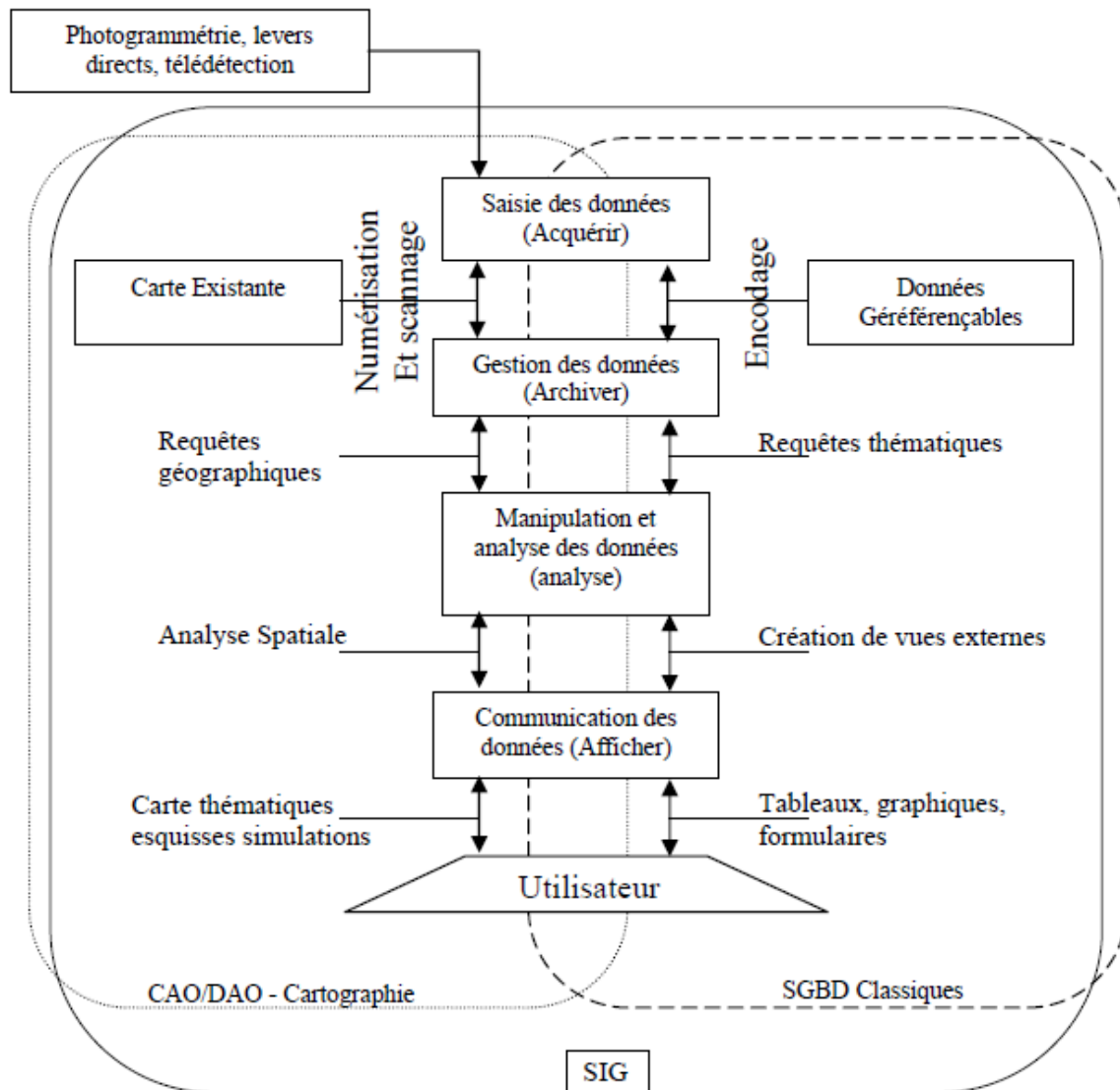


Fig. I.15. Les fonctionnalités du S.I.G [NOTTET, 2002].

Les fonctionnalités sont :

- L'acquisition des données localisées dans une base d'information géographique ;
- L'archivage des informations sous forme de plans thématiques, permettant un accès rapide ;
- L'accessibilité aisée à l'ensemble des informations par un affichage des couvertures ou par un accès direct aux fichiers informatiques ;

-L'analyse des informations par divers traitements spatiaux basés sur une ou plusieurs couches (s), et conduisant à produire une information inédite ;

-La valorisation des résultats sous différentes formes : tableaux, cartes et consultations à l'écran (AUGRIS, 2004).

I.3.12. Le rôle des 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 (disque dur). 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.3.14. Domaines d'application

Les domaines d'application des S.I.G sont aussi nombreux que variés (Fig. I.16.). 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)).

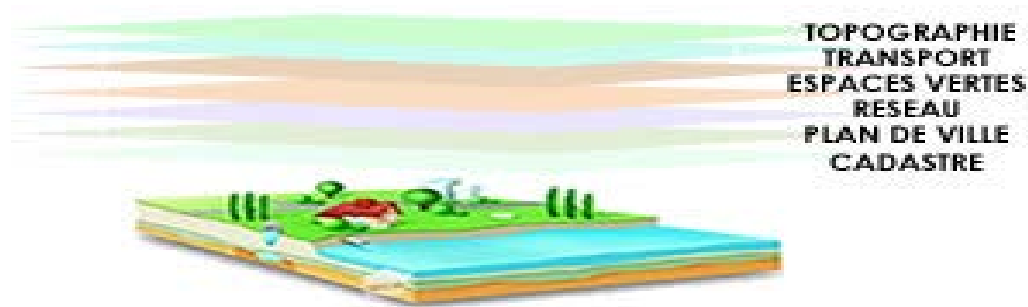


Fig.I.16.Domains d'application du SIG.

I.3.15. Présentation des principaux logiciels de S.I.G

I.3.15.1. 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 tels que Spatial Analyst (module raster) et 3D Analyst.

•MapInfo :

Mapinfo est un logiciel S.I.G qui présente une inter-opérabilité 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.

•**Géoconcept** :

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.

I.3.14.2. 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.

I.3.16. Modèles numériques 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 (le MNT 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 partir 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 (**Charleux-Demargne, 2001**). Les représentations les plus courantes sont les suivantes (Fig.I.17).

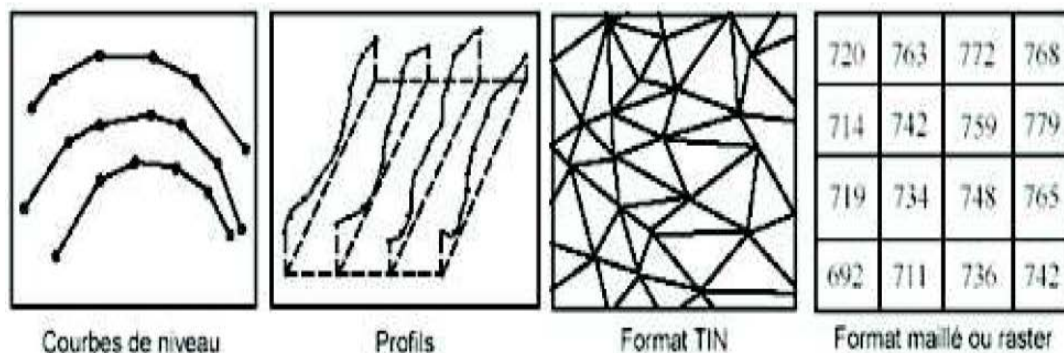


Fig.I.17. Les différents formats de MNT.

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 tessellation 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**).

Chapitre II :
Présentation des
caractéristiques du bassin
versant du Hodna

1. Situation géographique de bassin du Hodna

Le bassin versant du Hodna d’une superficie de 25 856 km² est le cinquième grand bassin de l’Algérie. Il est situé dans la partie Nord de l’Algérie entre les longitudes 3°9'24 "et 6°26'17" et les de 34°29'22"et 36°16'37"de latitude (Fig. II.1). Il couvre une superficie de 26000 km² et il touche les 7 wilayas, à savoir : la wilaya de M’sila, Batna, BBA, Djelfa et Médéa, Bouira et Sétif. Il est limité au nord par les montages de Bibans et le plateau Sétifien, à l’Ouest par les hautes plaines algéroises, tandis qu’au sud et à l’Est, il est limité par l’Atlas saharien. Les limites de zone d’étude est :

- Au Nord, par le bassin de soummam ;
- Au Sud et Sud-Est, par le bassin versant de chott Melrhir ;
- À l’Est, par le bassin versant des Hauts plateaux Constantinois ;
- À l’Ouest, par le bassin versant de Chleff et de Zahrez a Djelfa.

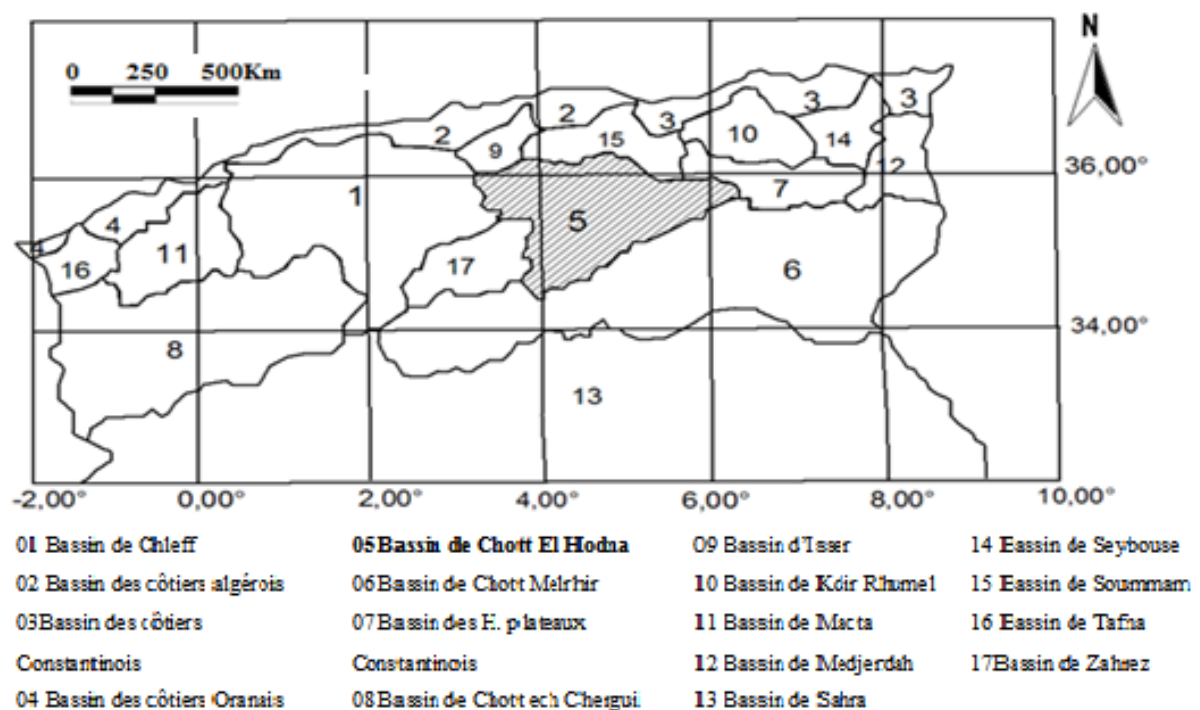


Fig. II.01. Situation de bassin versant du Hodna dans L’ensemble des Bassins Versants Algériens(ANRH,2018).

Le relief du bassin est caractérisé par des séries de montagnes au nord et au sud autour d’une dépression naturelle dite Chott El Hodna presque plate d’une altitude de 400 m et d’une superficie de 1150 km² (Kebiche, 1994).

L'altitude des sommets des monts du Hodna diminuant de l'Est à l'Ouest avec une altitude qui oscille entre 1900 et 1000 m, tandis qu'au Sud quelques sommets seulement dans l'atlas Saharien atteignent 1200 m (Fig. II.2).

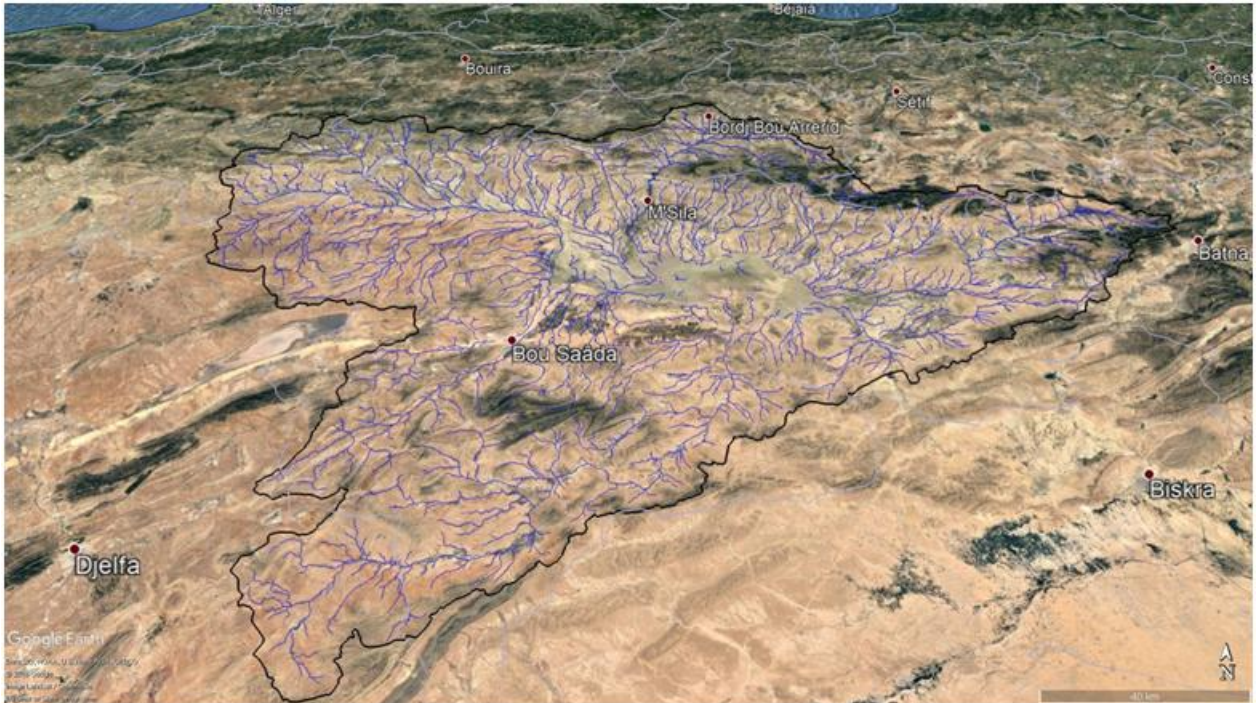


Fig. II.02. Bassin versant du Hodna (Google Earth Pro).

2. Le climat de la région

C'est l'ensemble des conditions météorologiques de la bassin du hodna, caractérisé par plusieurs paramètres climatiques : la pluviométrie, la température, le vent et l'humidité.

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

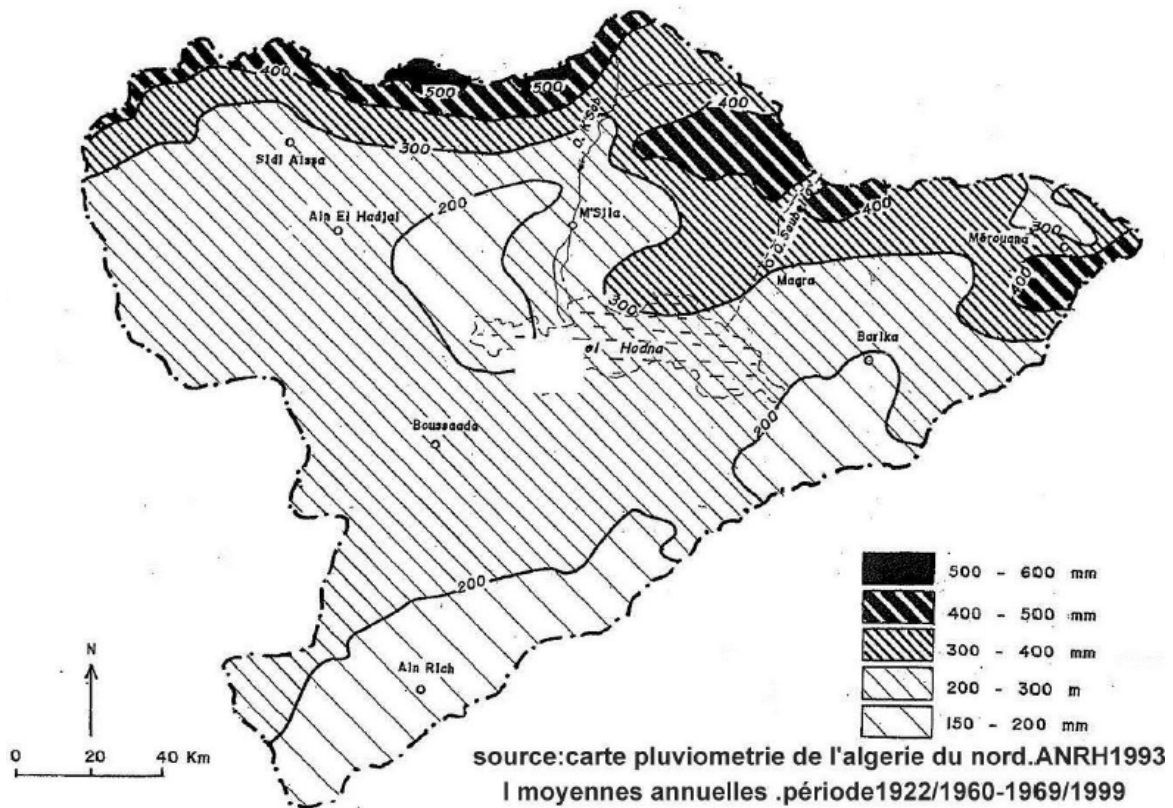


Fig. II.03. Pluviométrie dans le bassin versant du Hodna (ANRH, 1993).

b-Température : C'est une grandeur physique liée à la notion immédiate de chaud et froid. Il est lié essentiellement à l'altitude et les conditions locales. 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 fréquent pendant la période hivernale, et relayés par les vents du sud (sirocco) pendant la saison estivale (juin, juillet, août) 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 Ghezal (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 3m/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 quelque fois accompagnées de grêle. Une sécheresse d'été marquée avec une irrégularité des précipitations dans l'espace et dans le temps (**Bouthelja, 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 (**Hedjazi, 2009**).

3. Couvert végétal

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 du Hodna 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 Genévrier de Phénicie.

- Des superficies agricoles dans la plaine de M'sila qui propice aux cultures maraîchères (15125ha), aux céréales (741 945ha) et les arbres fruitiers (14 170ha) (**Bourenane, 2008**).

4. Géologie

La géologie du Hodna est assez complexe en raison de la position de la cuvette au contact des atlas tellien et Saharien.

Le substratum géologique, outre son importance dans le façonnement du relief, joue un rôle essentiel dans la distribution des sols comme matériaux originaux des sols (roche mer).

Le bâti géologique du Hodna comporte des formations d'âge secondaire, tertiaire et quaternaire. (Zeroual, 2016).

La description lithologique du Hodna est obtenue essentiellement des travaux de Savorin (1920) et d'Emberger (1964) où on distingue :

a- Le trias : dans les régions qui entourent la dépression du Hodna où les affleurements triasique sont assez nombreux mais n'apparaît qu'en certains points du bassin ; ils sont présentés principalement par des argiles, marnes et minéraux de néoformation, des lambeaux calcaro-dolomique, ainsi que des roches volcaniques.

b- Le jurassique et le carbonate : occupants des surfaces réduites du bassin.

c- Le crétacé : le crétacé inférieur présente une alternance de faciès marno-gréseux et argilo-gréseux de fortes épaisseurs.

d- Le Paléocène: il présente en deux types de formation :

-Formation autochtones : représentées par l'éocène de faciès marnes et gypses à passées jaunâtre due à l'alternance de la pyrite.

-Formations allochtones : qui sont les terrains argilo-marne-gypseux d'âge éocène et oligocène emballées de façon anarchique au miocène.

e- Le néogène : il occupe une grande superficie du Hodna d'âge miocène inférieur et moyenne (marnes gris) et pliocène (plaine de M'sila).

f- Le quaternaire : c'est l'âge pendant lequel ont été formés les chotts salés des hauts plateaux et de Sahara. Le quaternaire ancien est présenté par des dalles calcaires conglomérique surmontant localement des argiles sableuse roses.

La structure tectonique actuelle des monts du Hodna c'est formée au cours de diverses phases tectonique du système alpin de l'aire anticlinale de Meharga (sud de chott), avec orientation Est-West (épandages dépassant rarement 30°). (Zeroual, 2016).

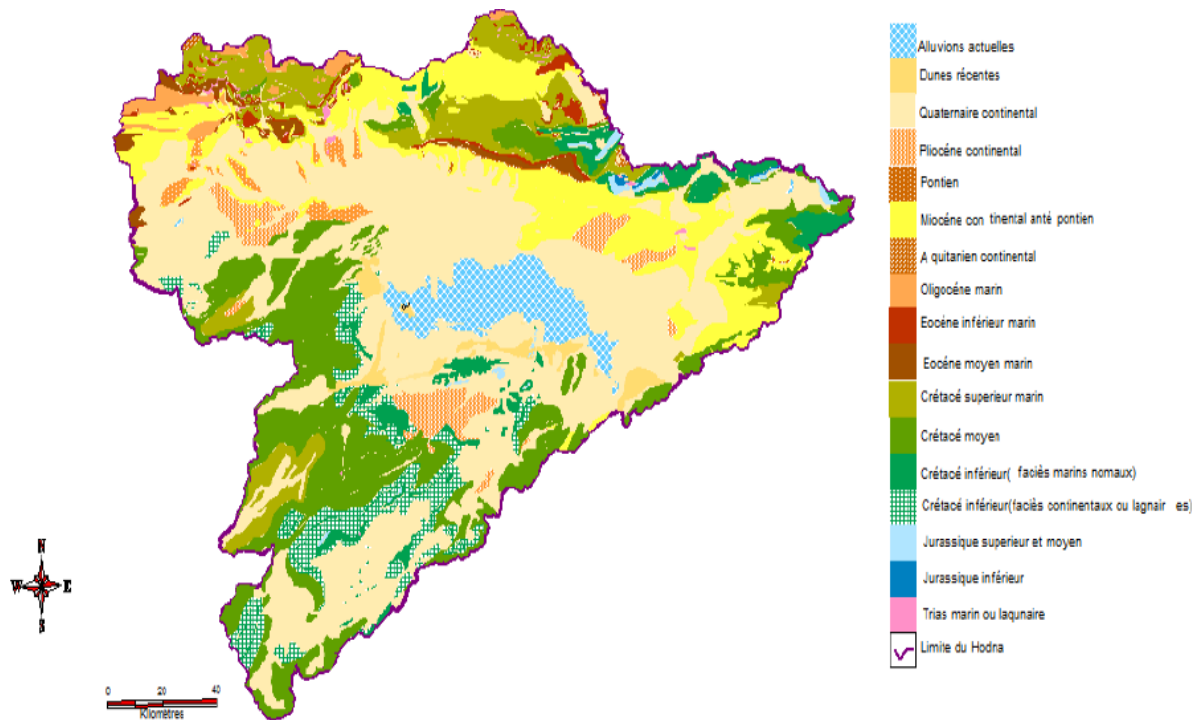


Fig. II.04. Géologie du bassin versant du Hodna [Adoui, 2013].

5. Sols

Les sols salés ont une grande extension dans les pays du Maghreb. Ils sont dus aux conditions arides ou semi-arides d'une grande partie de cette région où les possibilités d'évaporation sont considérables et les précipitations pluviales limitées, à présence fréquente de dépôts géologiques salifères et de nappes phréatiques salées (**Aubert, 1976**).

Plusieurs travaux pédologiques ont été réalisés dans le Hodna (**Belouam, 1976 ; Dekkich, 1974 ; Boyadgiev, 1975 ; Daoud et Doggar, 1985**).

Les sols, en majorité sableux, présentent des caractères salins, calcaires ou gypseux ou soumis à l'effet de la nappe phréatique ou à l'érosion éolienne. D'une manière générale, à cause de leur texture et leur faible teneur en matière organique, le niveau de fertilité est faible (faible capacité d'échange cationique et de rétention en eau) ; le recours à la fertilisation et aux amendements organiques est indispensable pour assurer des rendements acceptables.

Selon **Boyadgiev (1975)**, le chott entourant la sebkha et la sebkha elle-même portent des sols à accumulations gypso-salines de nappe qui deviennent franchement salines dans la sebkha (chlorure de sodium) ; leur conductivité électrique est très élevée. Au sud du chott, la situation est toute autre. La partie centrale a été et est fortement influencée par des apports massifs de sables éoliens (R'Mel) formant des sols minéraux bruts auxquels succèdent les glacis encroûtés comparables à ceux du nord.

La carte pédologique du Hodna (**Boyadgiev, 1975**) présente les types de sols suivants :

- Sols bruns calcaires en association avec régosols et lithosols.
- Sols minéraux bruts et sols peu évolués régosoliques.
- Sols peu évolués d'apport alluvial.
- Sols peu évolués d'apport alluvial : (Peu steppisés -Calcimorphes.- Hydromorphes).
- Sols peu évolués halomorphes.
- Sols sodiques.
- Sols très fortement à excessivement salins.
- Sols minéraux bruts xériques inorganisés d'apport.
- Sols peu évolués d'apport éolien.
- Sols sur croûte et encroûtement calcaire.
- Sols minéraux bruts d'érosion.

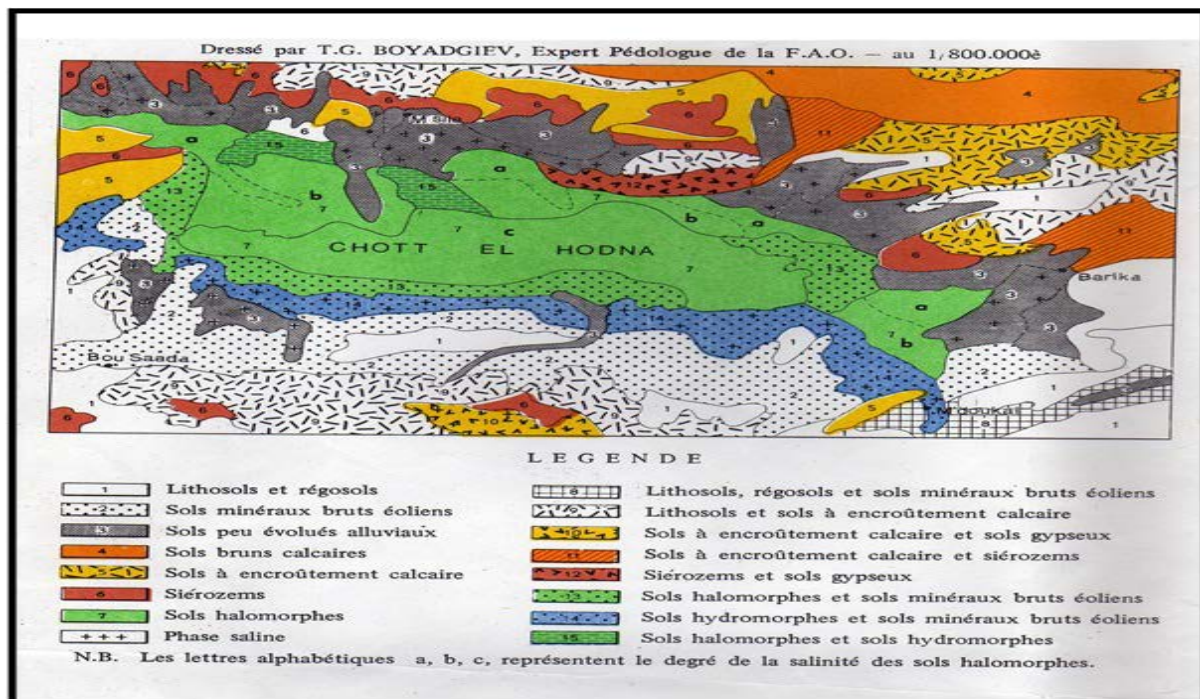


Fig. II.5. Pédologique de la région du Hodna[Boyadgiev, 1975].

6. Réseau Hydrographique

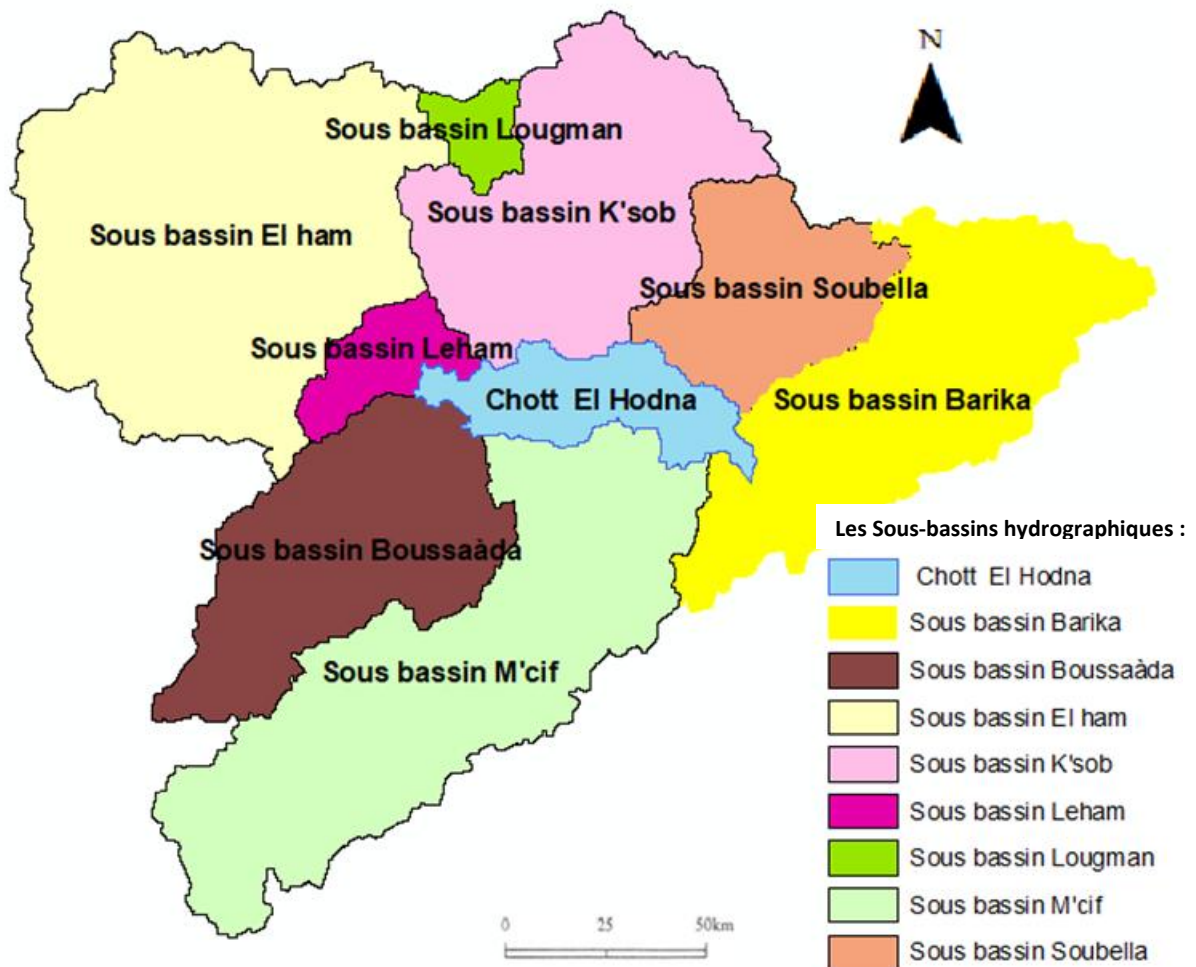


Fig. II .6.Sous-bassins hydrographique principales(Originale) .

Il s'étend sur la moitié méridionale de la wilaya de BBarréridj et l'autre de la wilaya de M'sila. On trouve de nombreuses sources ayant un débit appréciable. Les sources issues des reliefs ou des puits creusés dans les zones plus basses participent pour une large part à l'alimentation des populations en eau potable ainsi qu'à l'irrigation des parcelles agricoles. L'insuffisance des ressources en eaux souterraines est justifiée par la nature peu perméable d'une grande partie des terrains du bassin (Ahour, 2013).

Le bassin versant Hodnèen est parcourue par un réseau hydrographique peu dense (Ahour, 2013). Le niveau d'eau dans le Chott varie grandement d'une saison à l'autre et d'une année à l'autre (ANRH, 2002).

Le Plan National de l'Eau a estimé un débit spécifique variant de 32 à 68 mm/an sur portion nord du bassin (Ahour, 2013). Tous les Oueds pérennes ou non, ont des crues secondaire et fortes. Les eaux se déversant dans le chott sont estimées à 150 hm³ /an pour une année moyennement pluvieuse (C.F.M., 2009).

Quatre Oueds seulement sont pérennes, quoique leurs débits soit très faible (**Boumezbeur, 2002**), Oued El Ham, Oued K’Sob, Oued Barika et Oued M’Cif, l’alimentation de bassin versant Hodnèèn est assurée par 23 cours d’eau principaux.

Le réseau hydrographique est caractérisé par :

L’existence d’Oueds, les principaux sont les suivants :

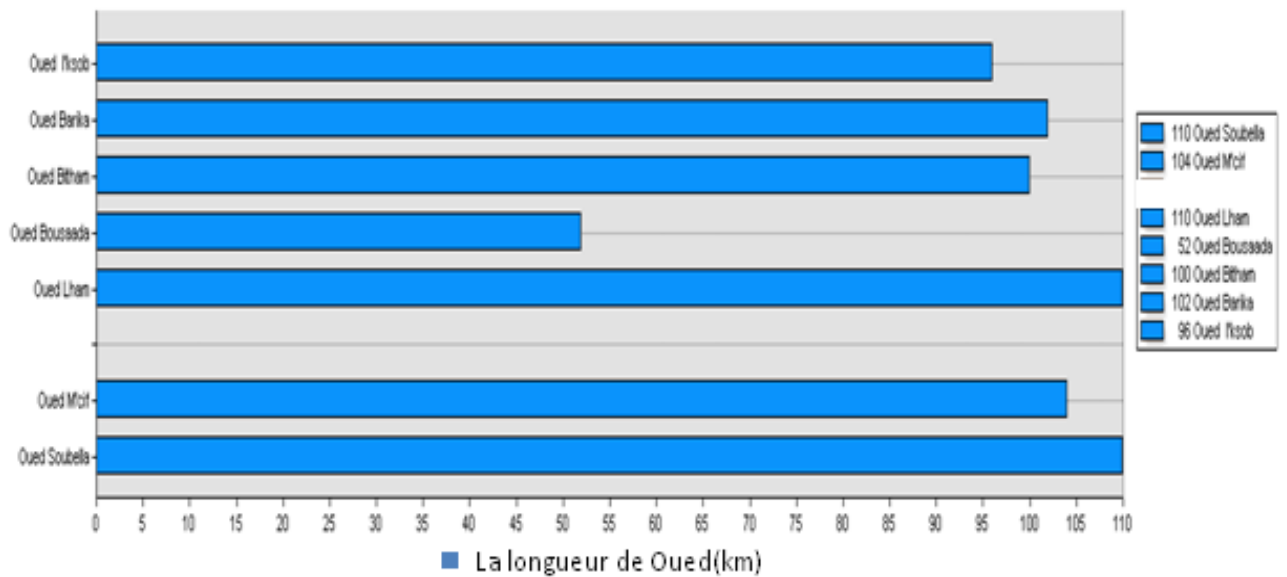


Fig. II.7. Longueur des principaux oueds du bassin.

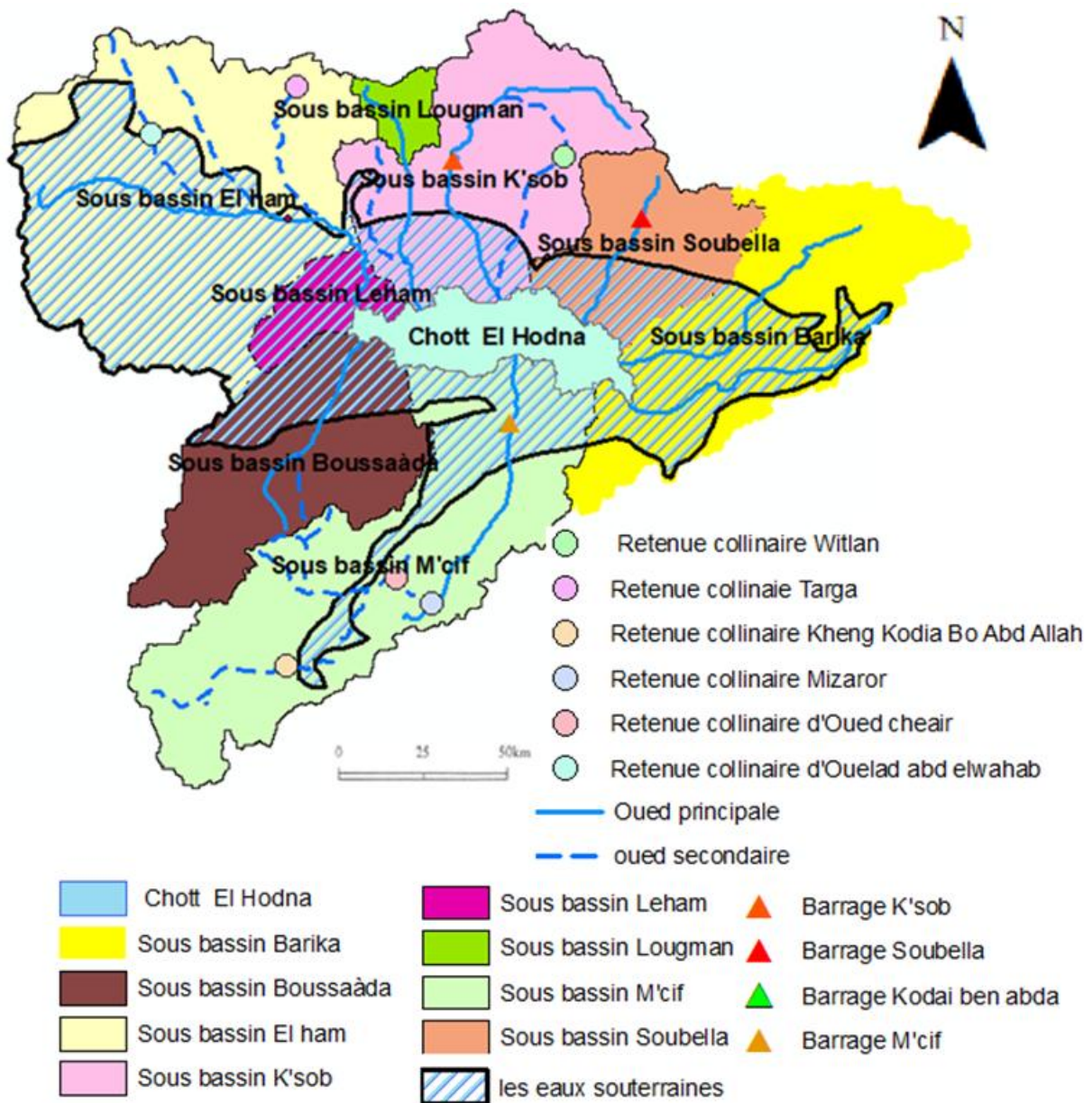


Fig. II .8. Réseau Hydrographique de Bassin du Hodna(Originale).

7. Caractéristiques physiques et morphométriques

7.1. Paramètres morphométriques

Les différents paramètres morphométriques d'un bassin versant (forme, altitude, pente, relief, etc.) jouent un rôle essentiel dans son comportement hydrologique. Ils ont l'avantage de se prêter à une analyse quantifiée qu'il convient de préciser autant que possible, dès le début de toute étude.

La forme des bassins versants qui peut être traduite par l'indice de compacité de Gravelus a également une influence certaine sur l'écoulement.

Les différentes grandeurs déterminantes la forme d'un bassin versant sont les suivantes :

➤ **L'indice de compacité de Gravelus**

Le coefficient de Gravelius K_G est égal au rapport de ces deux grandeurs, la surface et le périmètre. Si on désigne par S la surface du bassin en kilomètres carrés et par P son périmètre en kilomètres.

On a :

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}} \approx 0.28 \cdot \frac{P}{\sqrt{S}}$$

Avec :

P : Périmètre du bassin versant, [Km].

S : Superficie du bassin versant, [km²].

* Lorsque K_G est inférieur de **1** le bassin versant est de forme quasiment **circulaire**.

* Lorsque le K_G supérieur à **1** le bassin versant est de forme

A partir d'une requête géographique, L'indice de compacité Gravelus est

Le cas de bassin du Hodna présente une forme **allongée**, cette forme induire de faibles débits de pointe de crue, et ce la augmente le temps de concentration.

➤ **Dimensions du rectangle équivalent**

La notion de rectangle équivalent ou rectangle de Gravelius, introduite par **Roche (1963)**, C'est une notion que nous avons introduite il y a quelques années pour pouvoir comparer facilement des bassins entre eux du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement.

Les courbes de niveaux des bassins versants des droites parallèles aux petits côtés du rectangle et l'exutoire un des petits côtés du rectangle que nous avons appelé **rectangle équivalent**. (**Achour, 2013**).

On a, d'après la définition ci-dessus :

$$L = \frac{KG\sqrt{S}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{KG}\right)^2} \right] \quad / \quad I = \frac{KG\sqrt{S}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{KG}\right)^2} \right]$$

L : Longueur du rectangle équivalent, [Km].

I : Largeur du rectangle équivalent, [Km].

K_G : Indice de compacité de Gravelius

Le bassin versant du Hodna est de forme **allongée**, qu'on peut le représenter par un rectangle équivalent de longueur de **L= 329.18 Km**, et une largeur de **I= 78.53 Km**.

7.2. Paramètres du relief

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 bassin du Hodna est divisé en quatre unités géomorphologique : La région montagneuse, la plaine du Hodna, le Chott Sebkhha et la région du R'mel. d'une altitude variable de 1400 à 1800 m qui relie l'atlas tallien à l'atlas saharien, le Chott Sebkhha occupe une superficie 100 km². S'étire de Boussaada à M'doukal, la région du R'mel présente un paysage de dunes et de steppes sableuse. (Zeroual, 2016).

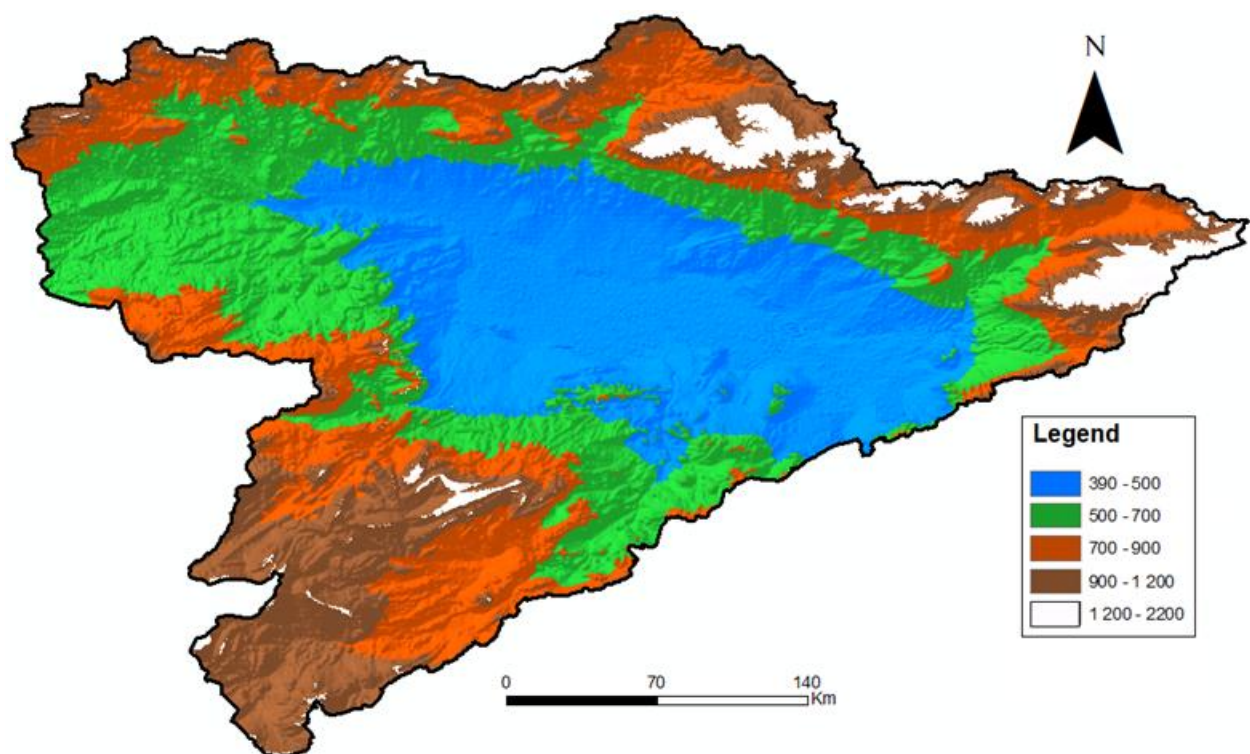


Fig. II.9. Relief de bassin versant du Hodna(Originale).

Le relief se détermine lui aussi au moyen d'indices ou de caractéristiques suivants :

7.2.1. Courbe hypsométrique

Le relief est souvent caractérisé par la courbe hypsométrique du bassin : on porte une altitude donnée en abscisse et en ordonnée la surface du bassin pour laquelle chaque point est à une coté au moins égale à cette altitude. La courbe hypsométrique s'établit en planimétrant les surfaces, et en cumulant les aires situées entre chaque deux courbe successive on obtient un histogramme de fréquences d'altitudes et la courbe hypsométrique.

Tableau.II.2. Répartition de la superficie selon l'élévation des courbes de niveau [Achour,2013].

Elévation des courbes de niveau (m)	Bassin versant du Hodna		
	Superficie entre les courbes (Km ²)	Pourcentage total (%)	Pourcentage au-dessus de la limite inférieure (%)
>1800	128	0,49	0,49
1600-1800	512	1,98	2,47
1400-1600	1024	3,96	6,43
1200-1400	1792	6,93	13,36
1000-1200	3200	12,37	25,74
800-1000	5120	19,80	45,54
600-800	6144	23,76	69,30
400-600	6912	26,73	96,03
<400	1024	3,96	100

La répartition hypsométrique est donnée par le pourcentage de la surface comprise entre les différentes courbes de niveau à la surface totale du bassin versant du Hodna(Achour, 2013).

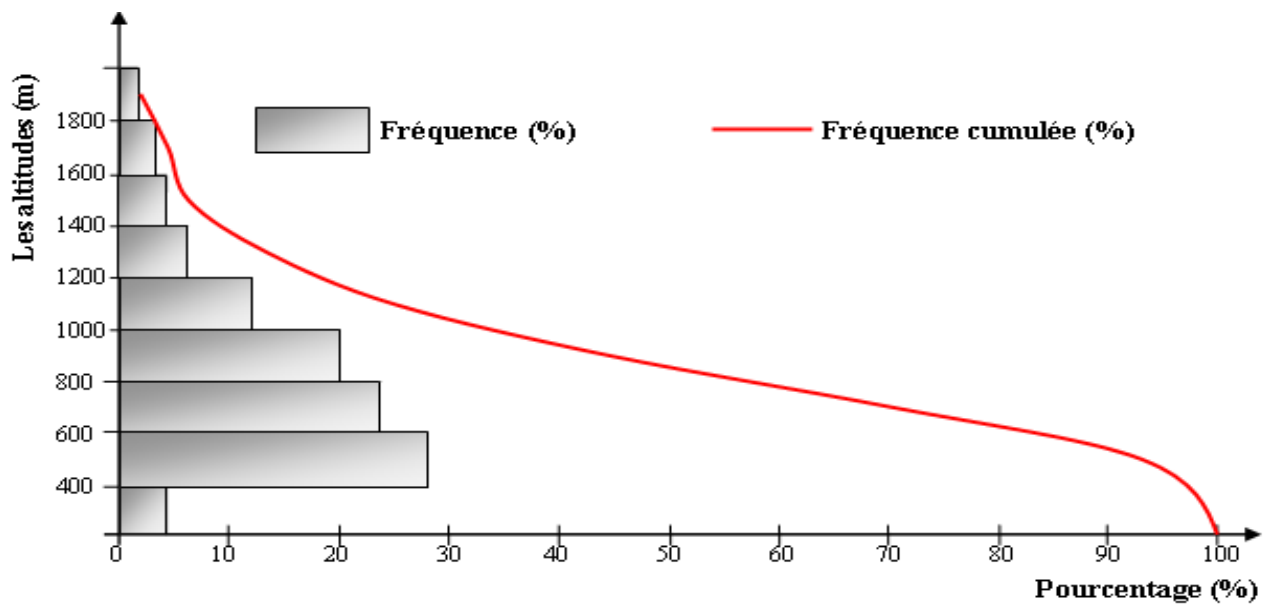


Fig. II.10. Courbe hypsométrique de bassin versant du Hodna.

7.2.2. Les altitudes caractéristiques

➤ **Les altitudes maximales et minimales :**

Elles sont obtenues directement à partir des cartes topographiques de bassin du hodna.

*L'altitude maximale, $H_{\max} =$

*L'altitude min

➤ **L'altitude moyenne :** L'altitude moyenne de bassin versant du Hodna est, $H_{\text{moy}} :$

➤ **L'altitude médiane :** obtenu directement à partir la courbe hypsométrique

8. Les potentialités en eau dans le bassin du Hodna

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.11.)

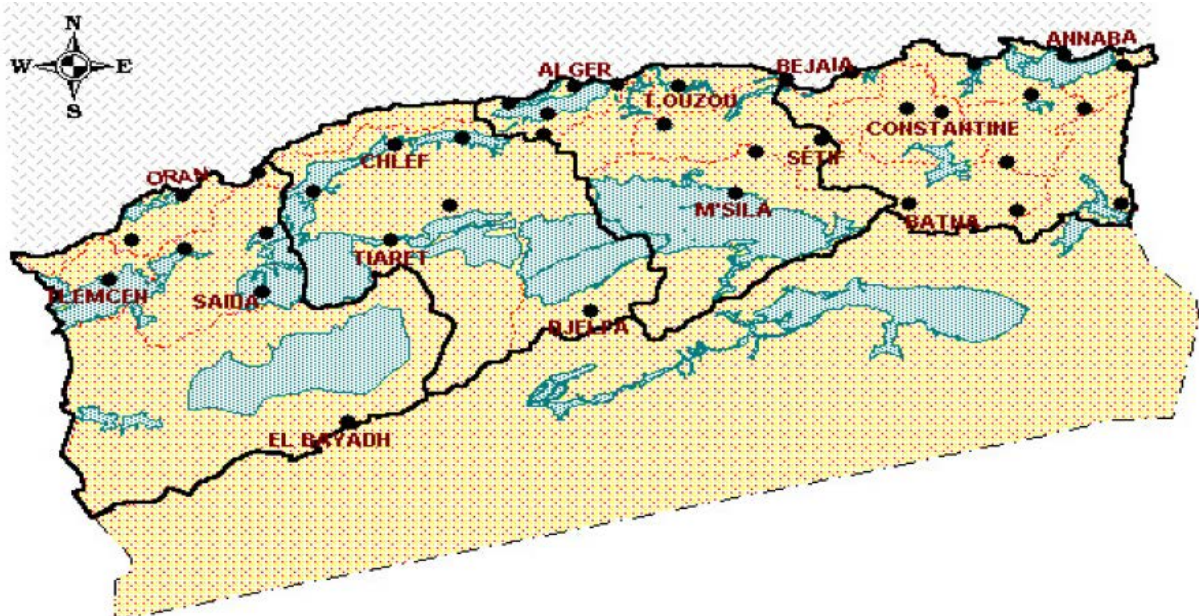


Fig. II.11. Ressources en eau souterraine dans l'Algérie du Nord [Remini, 2009].

Pour le Bassin du hodna par les études hydrogéologiques et géophysiques réalisées au niveau de bassin la potentialité des eaux souterraines réparties comme suit :

- Nappe de chott El Hodna,
- Nappe de Ain Riche,
- Nappe de Zahrez Oriental,
- Nappe de Monts du Hodna
- Nappe de Birin.

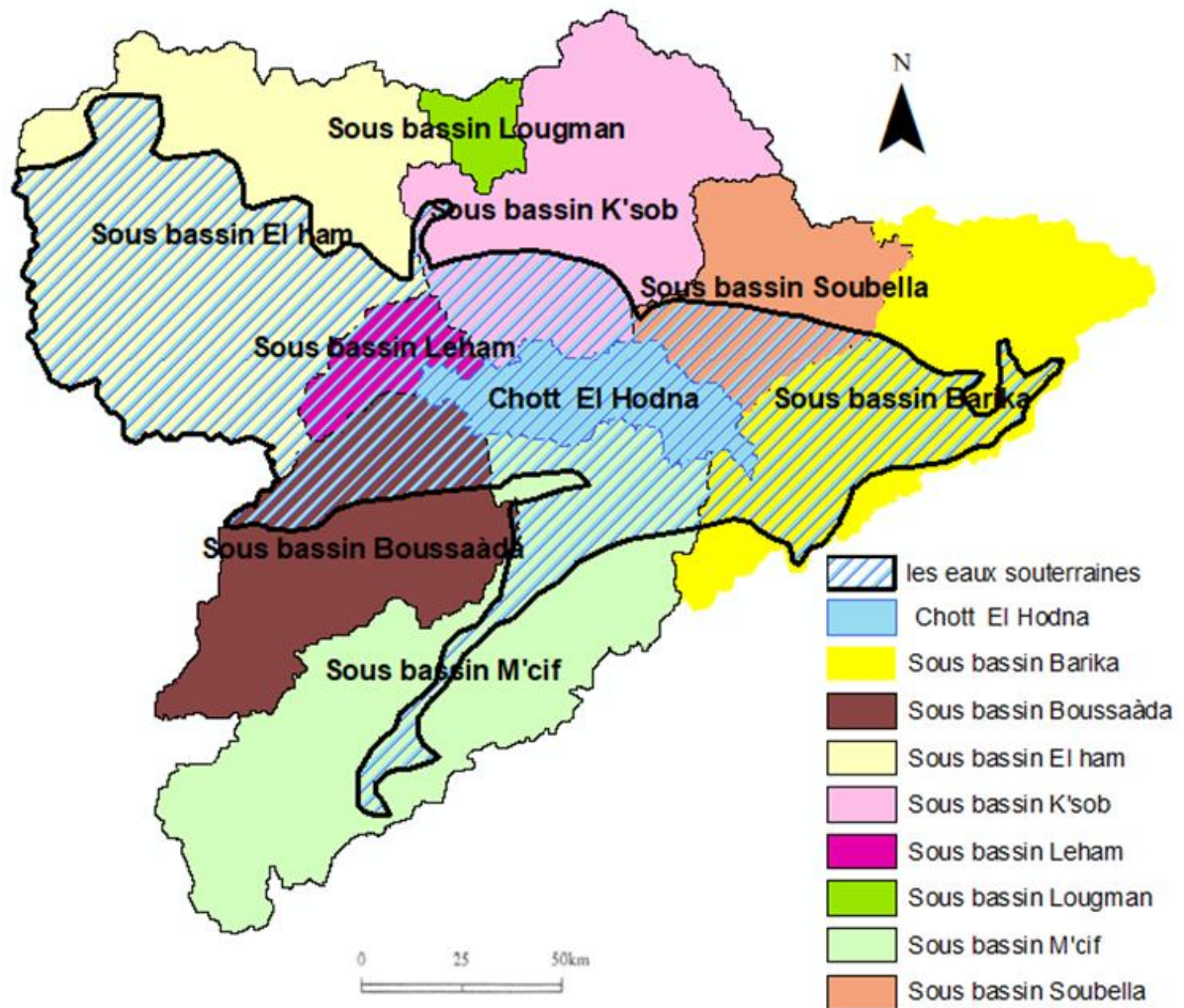


Fig. II.12. Les eaux souterraines de Bassin du Hodna (Originale).

8.2. Eaux superficielles

La carte suivante représente les principaux sources d'eaux superficielles dans le Bassin du Hodna.

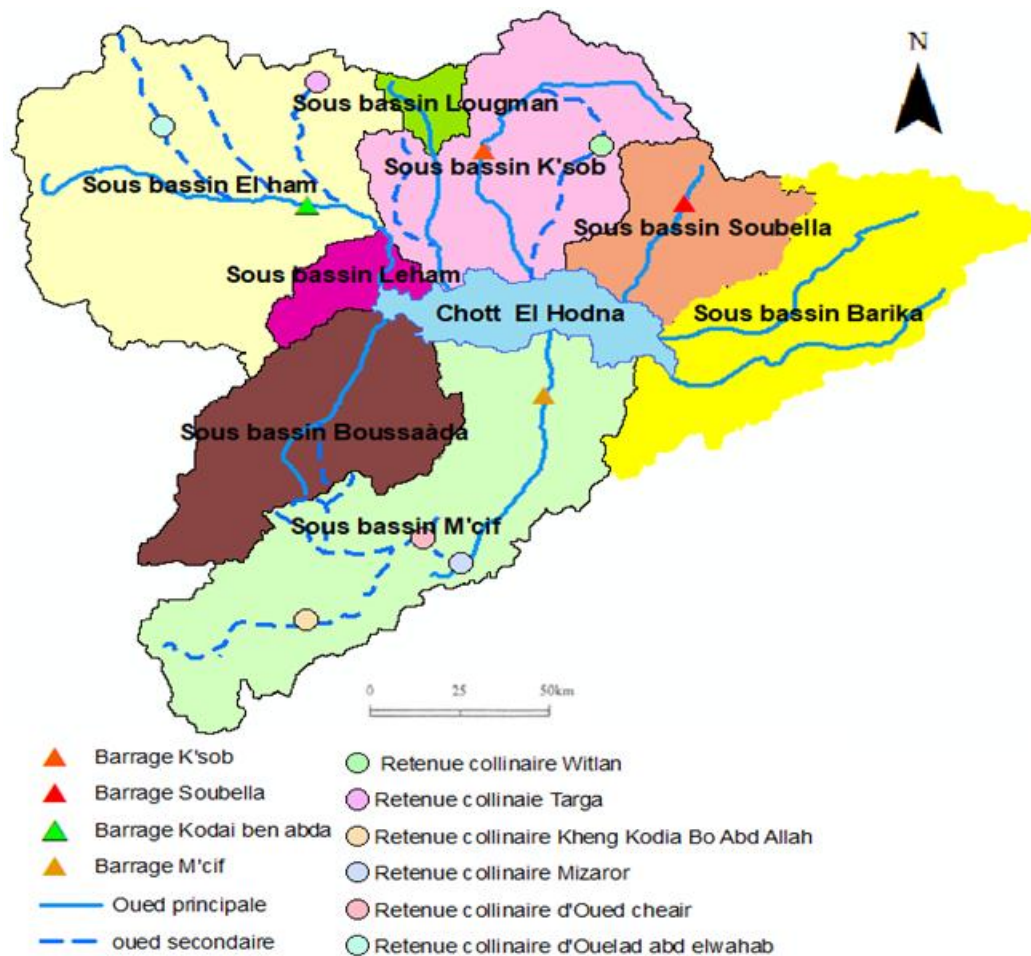


Fig. II.13. Les eaux superficielles de Bassin du Hodna (Originale).

9. Mobilisation de la ressource en eau

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,
- 02 barrages en cours de construction, Barrage M'cif et Barrage kodia ben abda (khetoti ced jdir).

❖ Les retenues collinaires

- Retenue collinaire de witlan Maàdid,
- Retenue collinaire d'Oued cheair (Mohamed boudiaf),
- Retenue collinaire d'Ouelad Abd el Wahab (Sidi Aissa),
- Retenue collinaire de Kheng Kodia Bo Abd Allah (Ain M'elh),
- Retenue collinaire de Mizaror ((Mohamed boudiaf),

➤ Retenue collinaire de Targa (Beni Yalman).

10. Etude hydro-pluviométrique

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 moyennes

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(II .7) et (II .8).

Tableau.II .7 Données pluviométriques de la station météorologique de M'sila et Bousaàda.

Mois Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne
M'sila P (mm)	18,9 4	13,1 7	14,4 6	19,6 8	23,3 6	9,3 3	4,2 5	7,3 6	24,4 4	23, 9	19,6 7	19,2 9	196,87
Bousaà da 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 Bousaàda 2018.

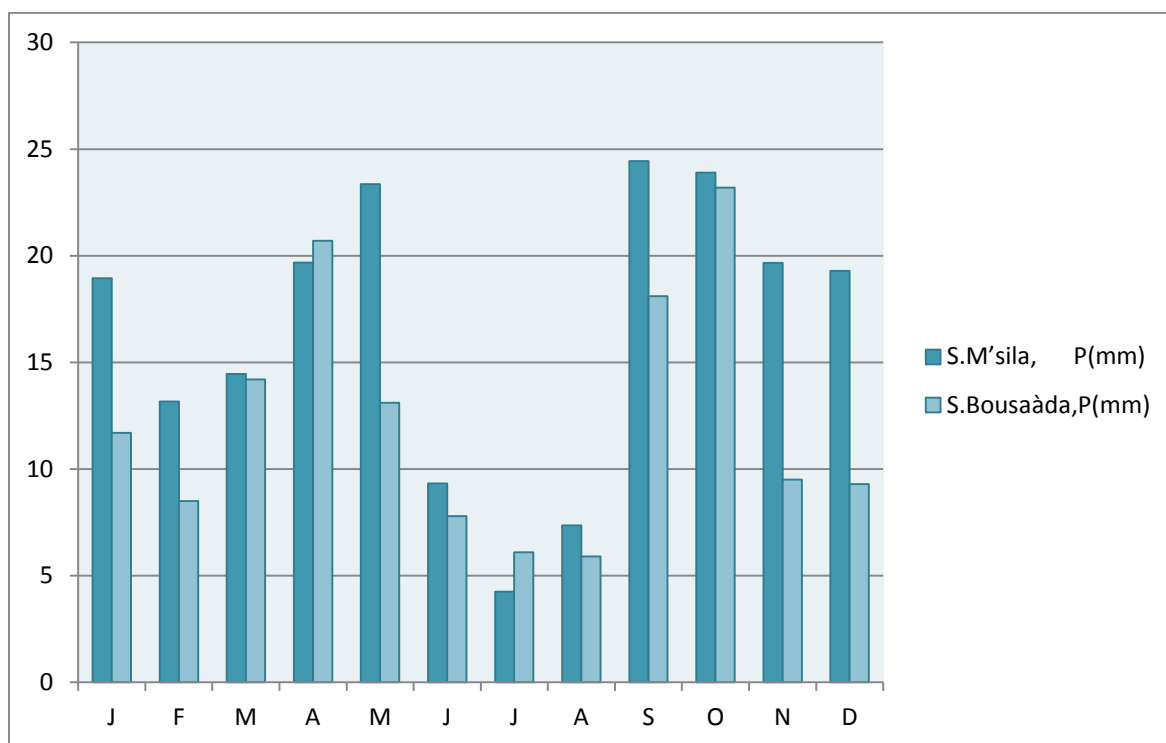


Fig. II.14. Précipitations mensuelles annuelles moyennes en (mm) de la région de M'Sila et Bousaàda durant la période (2008-2017).

Tableau.II .8.Données pluviométriques annuelles de la station météorologique de M'sila et Bousaàda

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
Bousaàda	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 Bousaàda 2018.

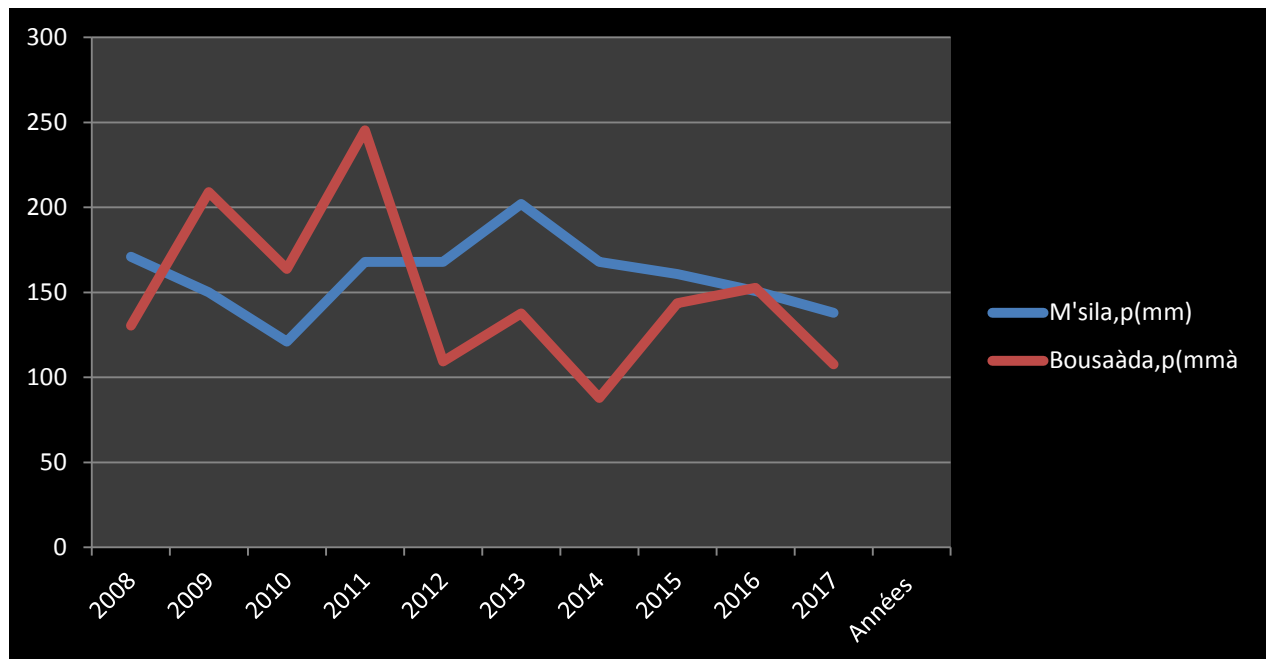


Fig. II.15. Variabilités dans le temps des précipitations en (mm/an) entre les deux stations.

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.

11. Réseau hydro-pluviométrique

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***

1. Etude hydrologique

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 Bassin du Hodna.

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 :

- ✓ Une base de données créée à travers ce logiciel pour regrouper les diverses Informations concernant l'hydrologie du Hodna ;
- ✓ Utilisation de logiciel Arc Gis 10.5 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.

3. Etude cartographique

Les cartes qui ont été utilisées dans ce travail, ainsi que d'autres cartes thématiques,

3.2. Traitement des cartes

Pour, le traitement des cartes, le logiciel Arc GIS 10.5 a été utilisé. Les données hydrométriques et topographiques en relation avec l'hydrologie de Bassin versant du Hodna ont été extraites après traitement approprié des cartes.

3.2.1. Cartographie thématique

Pour l'étude des distributions en eaux superficielles et des eaux souterraines dans le Bassin du Hodna et leurs caractéristiques nous avons adopté la méthode des études hydrologiques.

3.2.1.1. Description de la méthode

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

- ✓ Carte de sous Bassin hydrographique du Hodna ;
- ✓ Carte de relief (altitude, pente) ;
- ✓ Fiche qui contient les données de caractéristiques de Bassin du Hodna

Le logiciel **Arc GIS 10.5** 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 la Bassin du Hodna. 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.

Chapitre IV :
Mise en place d'une base de
données a référence spatiale
pour l'étude d'hydrologie du
Bassin du Hodna

Ce chapitre comporte deux sections : La première traite de l'intérêt de l'utilisation du SIG dans l'étude 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 étude.

1. Utilité d'un SIG dans l'étude d'hydrologie de bassin versant

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 transformées en formats numériques par géoréférencement 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 :

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.

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 (Bassin du Hodna) ;
- ✓ Des attributs des entités géographiques ;
- ✓ La carte de bassin versant de nord A'lgerie ;
- ✓ La carte de réseau hydrographique de Bassin du Hodna ;
- ✓ La carte des eaux souterraines au nord Algérie ;

2. Les grandes étapes de création de la base de données à référence spatiale

La création de projet dans ArcGIS 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.

2.1. Structuration des données

Après la définition des données à intégrer au système, il s'est agi 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.

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).

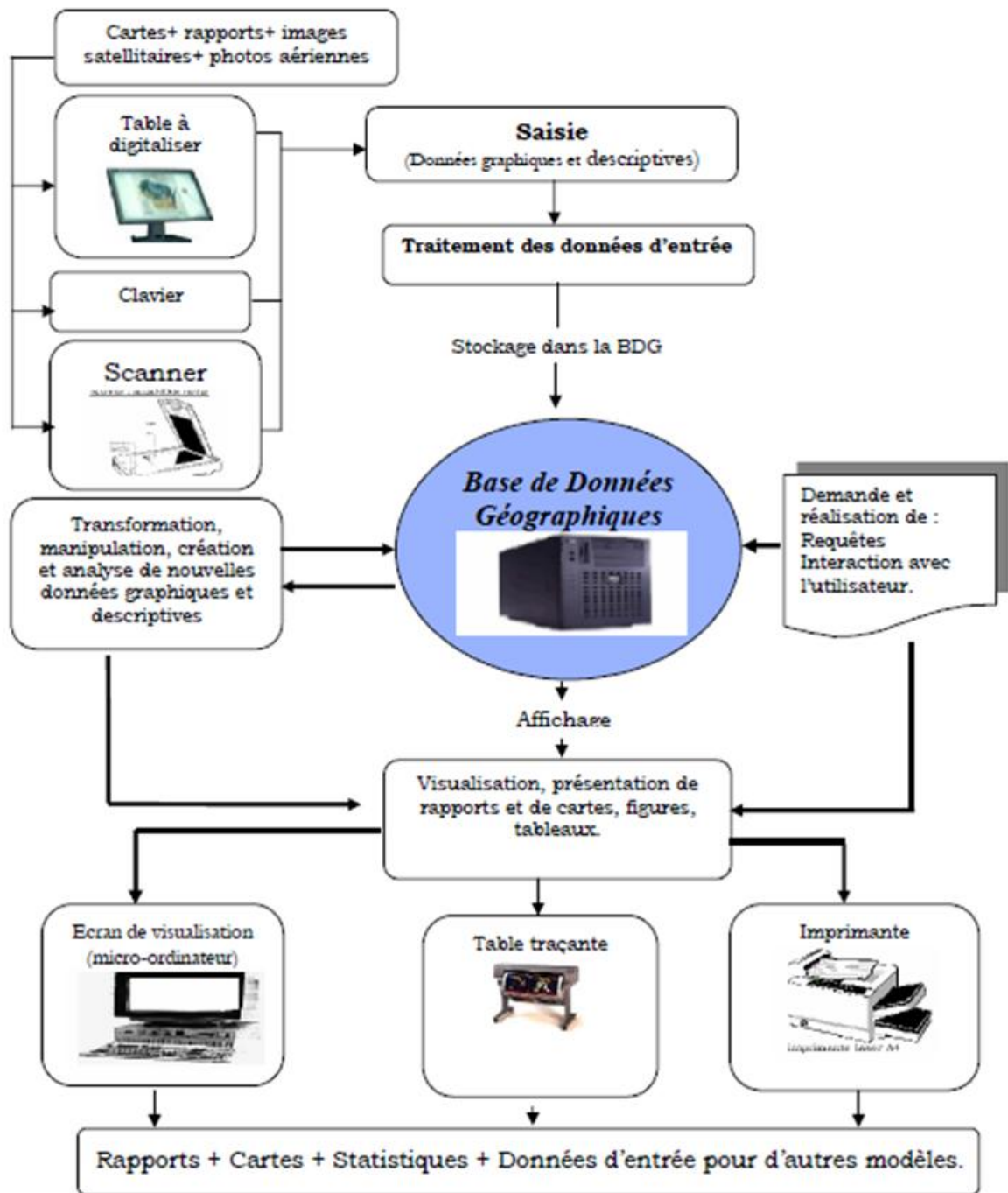


Fig.IV.1. Base de données géographiques BDG [Ider, 2004].

Chapitre IV *Mise en place d'une base de données a référence spatiale pour l'étude l'hydrologie du Bassin du Hodna*

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.

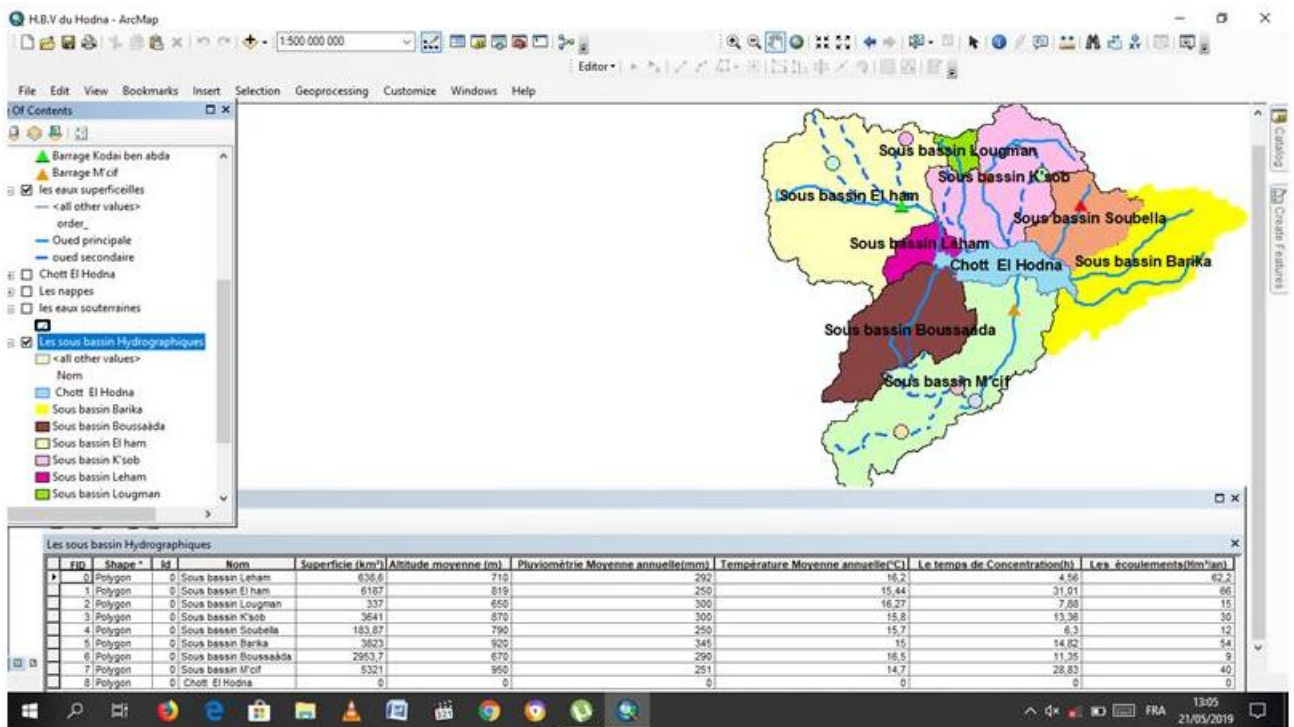


Fig.IV.2 : MBDG – distribution des eaux superficielles de la Bassin du Hodna sur le SIG.

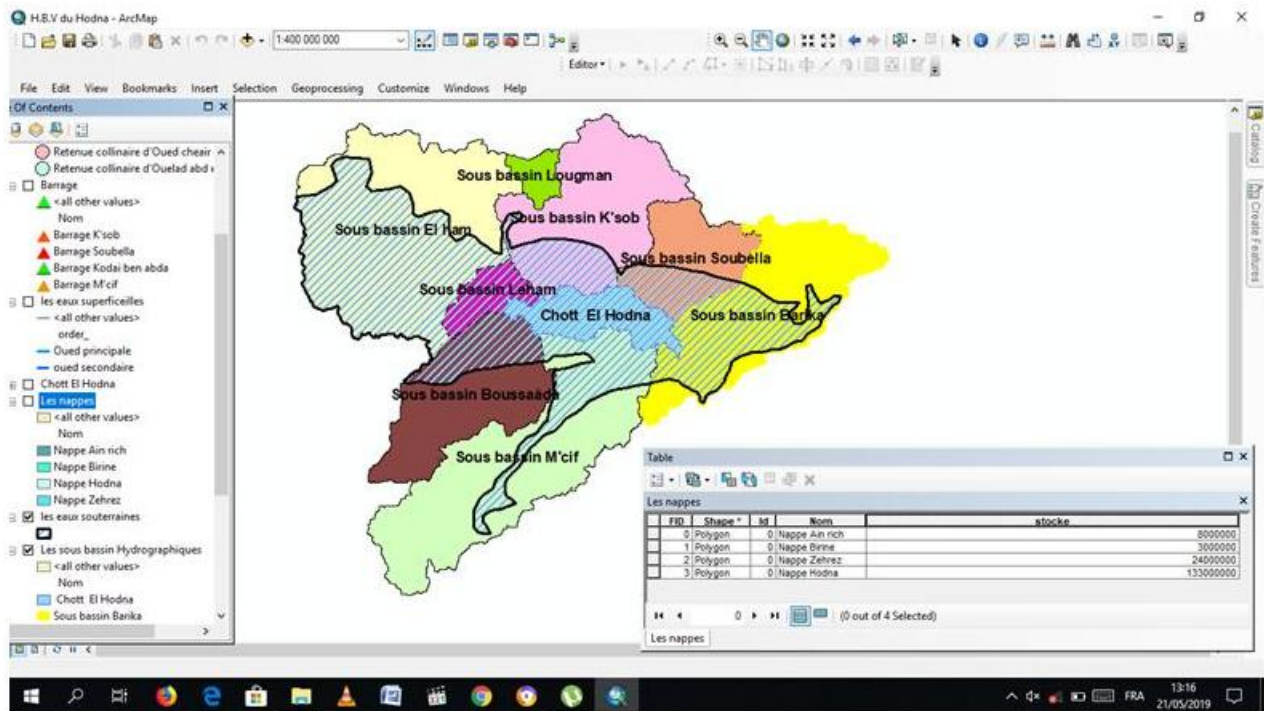


Fig.IV.3 : MBDG – distribution des eaux souterraines de la Bassin du Hodna sur le SIG.

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

Les données structurées en modèle d'une base de données des figures (IV.2) et(IV.3) 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 (Structured Query Language) 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.

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

dans le bassin..etc.) prises sur le terrain lors de nos enquêtes ont été exportées du plan et a l'aide de calage des cartes à l'ordinateur pour être ensuite intégrées dans le SIG. En somme, huit (08), sous- bassins hydrographiques principales, leur hydrologie répartis comme suit ont été intégrés dans le SIG :

- 08 Points représentant les coordonnées des eaux superficielles dans le Bassin du Hodna ;
- 10 Points représentant les coordonnées de mobilisation de la ressource en eau du Hodna ;
- 04 Points représentant les coordonnées des eaux souterraines dans le Bassin du Hodna.

Les coordonnées des entités géographiques (distribution et évaluation de l'eau dan 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 10.5 (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 ou 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 hodna. Dans le chapitre suivant, nous verrons comment peut être exploité l'ensemble de ces données dans une approche de spatialisation d'étude hydrologique des bassins versants.

Chapitre V :
Résultats et discussions

Notre étude hydrologique sur le bassin versant du Hodna traduit les résultats de collecte et traitement des données sur le terrain.

1. Création d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT)- Intégration de l'MNT dans le SIG

Le MNT fournit une information altimétrique, c'est une représentation numérique simplifiée de la surface du territoire, intégrée dans le SIG cette information joue un rôle très important dans les méthodes d'analyse spatiale en particulier pour la prise en compte de la morphologie du terrain.

Le programme de SIG permet de développer des modèles numériques de terrain pour le bassin du Hodna (voir les figures suivantes).

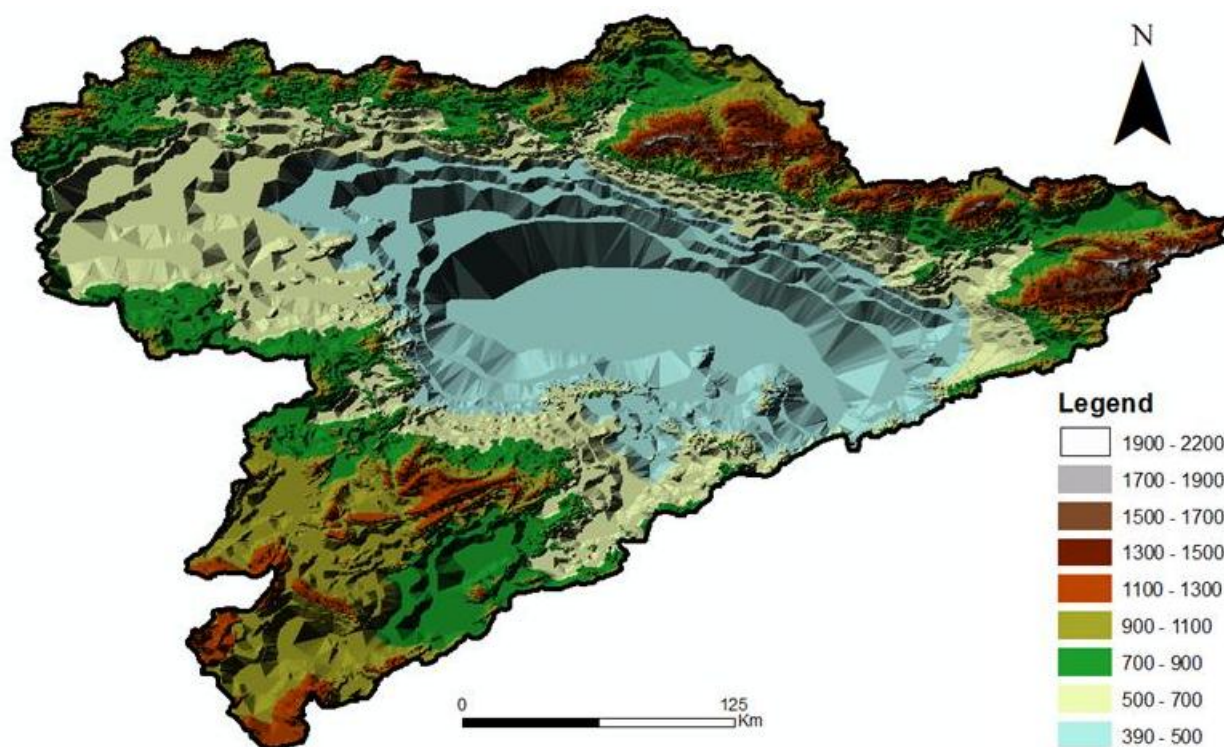


Fig.V.01. MNT du relief de bassin versant du Hodna(Originale).

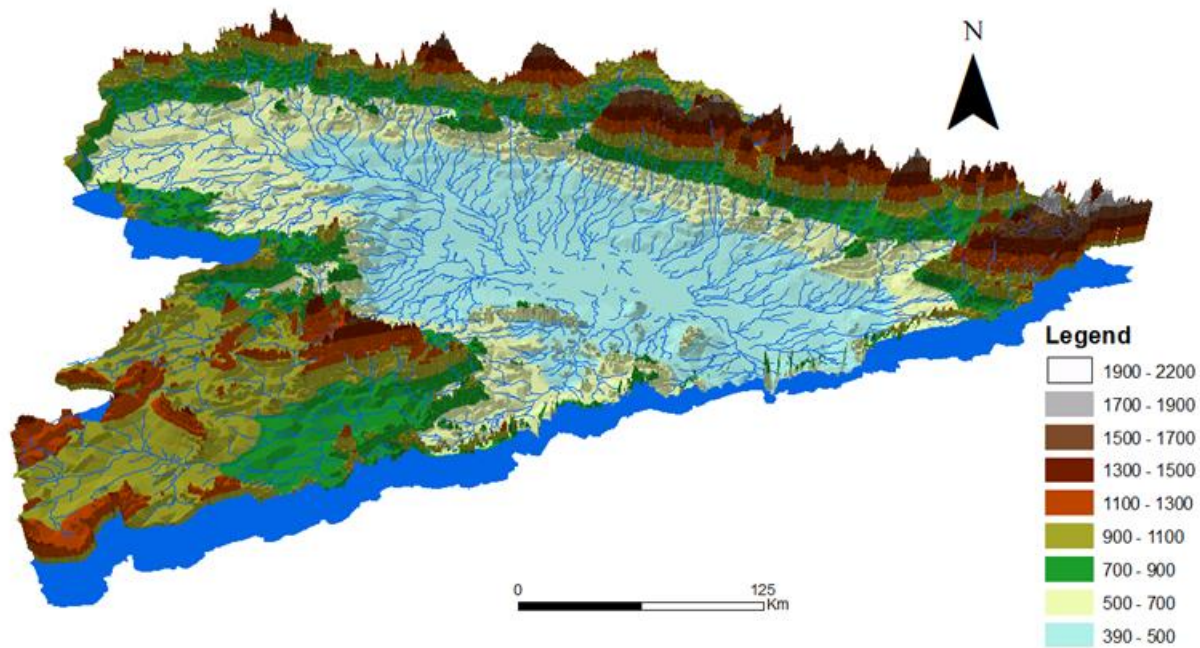


Fig.V.02. MNT du réseau Hydrographique de bassin du Hodna en 3 dimensions(Originale).

Ces modèles permettent de calcules les paramètres morphométriques du bassin.

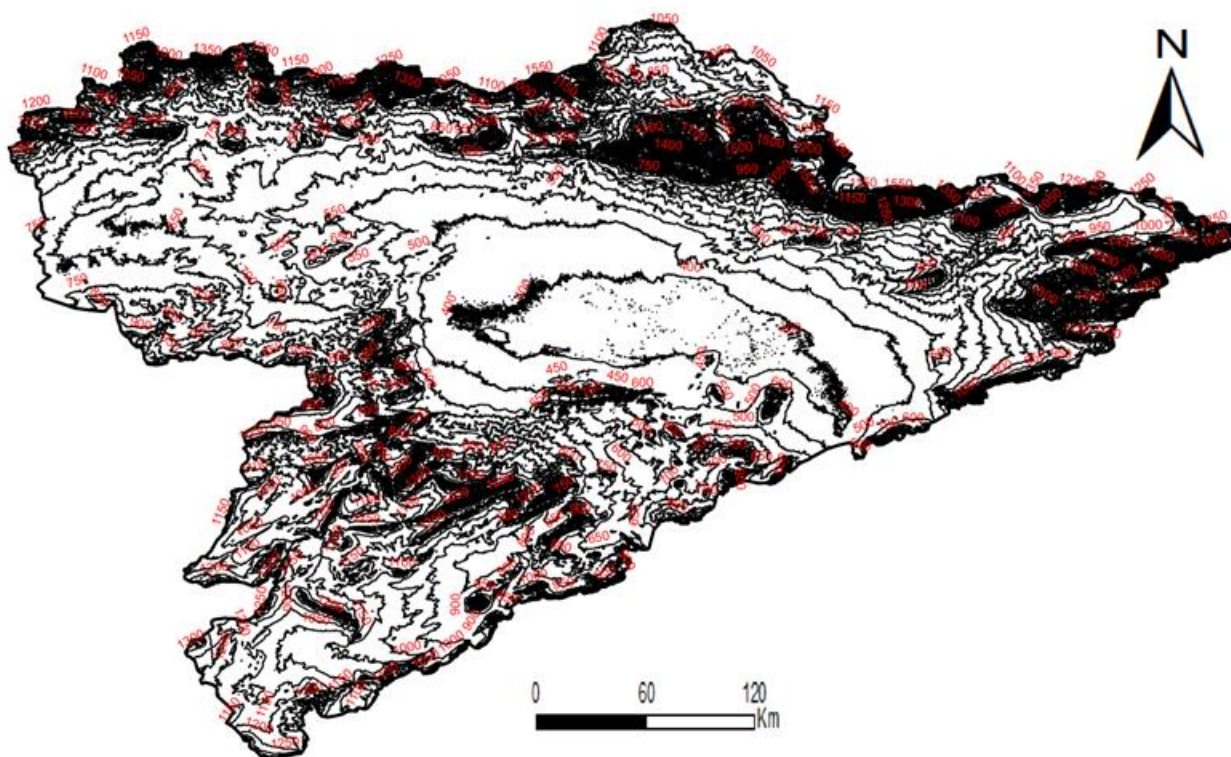


Fig.V.03. Courbe de niveaux de bassin du Hodna par MNT(Originale).

2. Distribution et évaluation des eaux souterraine de bassin versant du hodna

L'évaluation et l'estimation des eaux souterraine dans le bassin du Hodna selon l'analyse des donnes.

Après les analyses thématiques

Fig.V.04.Evaluation des eaux souterraine du bassin du Hodna.

3. Distribution et évaluation des eaux superficielles de bassin versant du Hodna

Les résultats des analyses thématiques des donnes obtenus à partir l'ANRH et DRE elle donne une estimation du apport annuelle de bassin versant du Hodna .

Fig.V.05.Evaluation des eaux superficielles de Bassin du Hodna.

3.1. Evaluation des mobilisations des ressources en eau de bassin du Hodna

D'après les données collectées on a quatre barrages .

.

Fig.V.06. Evaluation des capacités des barrages de bassin du Hodna.

Fig.V.07.Evaluation des capacités des retenues collinaires de bassin du Hodna.

Fig.V.08 : *MBDG* – Estimation des eaux mobilisées de bassin du Hodna.

Enfin, nous avons utilisé les données hydrologiques et le logiciel ArcGis 10.5 pour la production des cartes et des diagrammes de distribution et évaluation des eaux souterraine et les eaux superficielles de bassin versant du Hodna.

Conclusion

Conclusion

Conclusion

Dans ce projet de fin d'étude, nous avons fait une étude hydrologique et exactement sur les potentialités hydriques au sein de bassin versant du Hodna, suivi de l'application de système d'information géographique SIG pour la construction d'une base de données. La connaissance et l'étude du comportement hydrologique et physique des cours d'eau de ce bassin révèle donc d'une importance majeure et permet de réaliser des quelques modèles et cartes thématiques, tels que : les Modèles de Base de Données Géographiques MBDG, les Modèles Numériques de Terrain MNT et plusieurs cartes thématiques.

L'objectif principal de ce travail s'appuie sur l'étude hydrologique et géomatique au bassin du Hodna. La méthodologie est basée essentiellement sur la collecte, le regroupement et le traitement des données avec le logiciel ArcGis 10.5.

Après une analyse des données hydrologiques disponibles à diverses sources, on a déterminé les caractéristiques hydrométriques et pluviométriques de ce bassin, on a constaté qu'il y a un manque d'instrumentation et un déséquilibre spatiale de leur répartition, ce qui a fait que les données n'étaient pas vraiment fiables tant du point de vue de la qualité que de la quantité. Le logiciel qui a été utilisé, est un programme de plusieurs fonctionnalités. Il nous permet de reconstituer des bases de données, des diagrammes de différents thèmes ...etc.

A ce sujet, La difficulté majeure rencontrée dans la majorité d'étude hydrologique de ce bassin est l'insuffisance d'informations temporelles, spatiales et leur qualité ce qui engendre un manque dans la production de plusieurs cartes thématiques, la gestion des données hydrographiques, la gestion durable des ressources naturelles de la région et par conséquent la création de plusieurs couches thématiques (base de données).

Ce travail nous a permis d'acquérir des connaissances certaines concernant l'hydrologie du bassin versant du Hodna avec l'utilisation du SIG. Le SIG a permis la création d'une base de données content des informations hydrologiques de bassin versant et de produire des cartes et des modèles thématiques, la technologie SIG offre une perfection considérable des capacités de représentation graphique, une souplesse de réflexion qui permet d'apprendre à réfléchir à propos de l'espace et des processus qui agissent dans celui-ci une extension de nos capacités d'analyse.

L'utilisation du SIG permis, en plus de la production des cartes et des graphes, d'exécuter des requêtes et analyses géographique, d'améliorer l'organisation de l'information et de prendre plus rapidement les meilleures décisions.

Notre contribution consiste à introduire le SIG comme un nouvel outil de gestion moderne et pertinent dans l'environnement de l'évaluation hydrologique dans le bassin versant.

Conclusion

En fin les points bénéfiques que peut apporter le SIG :

- Les informations sont stockées de façon claire et définitive ;
- Gérer une multiplicité d'information attributaires sur des objets ;
- Comprendre les phénomènes ;
- Etablir des cartographies rapides ;

La réalisation d'un tel projet nous permis d'explorer les capacités du SIG autant qu'un outil d'aide à la décision. Ainsi, il exploitable par n'importe quelle étude concernant le bassin versant du Hodna.

Comme perspectives, il serait souhaitable de :

- Nécessité de créer un comité du bassin Hodna dont les missions sont la surveillance et le contrôle des ressources hydrologiques ;
- Créer un système d'alerte précoce basé sur les données climatiques surtout la pluviométrie, pour pouvoir faire des prédictions de l'évaluation des stockages d'eau dans les années à venir ;
- Mener des enquêtes approfondies sur la potentialité des eaux souterraines.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

- 1. Achour, Hanan Oumaima. (2013).** Mémoire de Master. Utilisation d'un SIG pour l'évaluation des caractéristiques physiques d'un bassin versant et leur influences sur l'écoulement des eaux. Universités de M'sila, 64p.
- 2. Adoui, H. (2013).** Etude de la vulnérabilité du bassin versant du Hodna aux inondations. Mémoire soutenu à l'université de M'sila pour obtenir le diplôme de Master, pp 17.
- 3. Agence National des Ressources Hydroliques. (2002).** Atlas des températures et des évapotranspirations du nord de l'Algérie.
- 4. ALDOSA, N., LE BIHAN, M., MONIN, M. (2003).** Information, communication, organisation. Bréal Rosny. 2ème édition. 159p.
- 5. André MUSY., Christophe HIGY. (2003).** Hydrologie, 1ere édition. Lausanne.
- 6. André MUSY., Christophe HIGY., Emmanuel Reynard. (2004).** Hydrologie 1. 2ém édition Lausanne.
- 7. André MUSY., Marc SOUTTER. (1991).** Physique du sol. 2eme édition. Lausanne.
- 8. ANRH. (1993).** Carte pluviométrique de l'Algérie du nord, à l'échelle 1: 500.000 et notice explicative. ANRH, Algérie.
- 9. Aubert, G. (1976).** Les sol sodiques en Afrique du nord. Ann INA EL Haraaach. p6.
- 10. AUGRIS, C. (2004).** Évolution morpho-sédimentaire du domaine littoral et marin de la Seine-Maritime, Ifremer collection "Bilans et prospectives" . 39p.
- 11. BELOUAM . (1976).** Caractéristiques macromorphologiques et micromorphologiques de quelques sols à accumulation calcaire du Hodna. Annales de l'INA El Harrach Vol. 1, pp 47-53.
- 12. BELTRAN, A., GRISET, P. (2007).** Histoire d'un pionnier de l'informatique 40 ans de recherche à l'INRIA .EDP Sciences. coll Sciences & Histoire. Paris. 186p.
- 13. BIGAND, M., CAMUS, H., BOUREY, J., CORBEEL, D. (2006).** Conception des systèmes d'information , modélisation des données, études de cas. Technip . 3p.
- 14. BONN, F. (1994).** Télédétection de l'environnement dans l'espace francophone . Presses de l'Université du Québec. pp. 471-472.
- 15. BORD, J., Pierre-Robert BADUEL. (2004).** Les cartes de la connaissance. Karthala. 47p.

Références bibliographiques

- 16. Boumezbeur, A. (2002).** Atlas des zones humides algériennes d'importance internationale. 89p.
- 17. Bourenane, A., Mechri, S. (2008).** Contribution à l'étude du transport solide dans le sous bassin versant de Soubella (Hodna). Mémoire d'ingénieur d'état en hydraulique, Université de M'sila.
- 18. Bouteldja, N. (2005).** Contribution à la modélisation de l'érosion hydrique dans le bassin versant du Hodna sous bassins versants du Ksob et de Soubella (Algérie), Thèse de doctorat en Géographie. Université de la Provence Aix-Marseille. 180p.
- 19. BOYADGIEV, T. G. (1975).** Les sols du Hodna. Rapport FAO. Algérie 9, Rome. 141 p.
- 20. BRESSO, M., HAURIE, A. (1996).** Gestion de l'environnement et entreprise. Presse polytechnique et universitaire Romandes. 139p.
- 21. BROCARD, M., MALLET, P., LEVEQUE, L., BESSINETON, C. (1996).** Atlas de l'estuaire de la Seine. Publications des universités de Rouen et du Havre. 144p.
- 22. BURROUGH, P.A. (1986).** Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford University Press. 194 p.
- 23. C.F.M. (2009).** Fiche descriptive sur les zones humides. Chott El Hodna. D.G.F. 25p.
- 24. CEMAGREF. (2000).** Revue, Ingénieries. Eau, agriculture, territoires. Centre national du machinisme agricole du génie rural des eaux et des forêts. France. 38p.
- 25. CHARLEUX-DEMARGNE, J. (2001).** Qualité des modèles numériques terrains pour l'hydrologie application à la caractérisation du régime de crues des bassins versants. Thèse préparée au sein de l'unité mixte de recherche « Structure et systèmes spatiaux » Cemgref-Engref, Montpellier. 350 p.
- 26. Collet, C. (1992).** Système d'information géographique en mode image. Lausanne. Presses polytechniques et universitaires romandes. 186p.
- 27. Collet, C. (1994).** Systèmes d'information géographique en mode image. Presses Polytechniques et universitaires Romandes.
- 28. DAOUD, Y., DOGAR, A. (1985).** Le régime du potassium dans quelques types de sol du Hodna (Algérie). Revue de la Potasse, section 4, n°6 : p1-7.
- 29. DEKKICHE B. (1974).** Contribution à l'étude des sols du Hodna et corrélation géochimique des eaux de la nappe. Thèse Univ. Gand, Belgique, 210 p.

Références bibliographiques

- 30. DENEGRÉ, J., SALGE, F. (1996).** Les systèmes d'information géographique. Paris, PUF, Coll. "Que sais-je ?". n° 3122. pp. 127-128.
- 31. GRINE, R. (2009).** Les perspectives hydrogéologiques de la cuvette hodnienne. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de magister en sciences de la terre. Spécialité : Hydrogéologie, université des sciences et de la technologie Houari Boumediène. 130 p.
- 32. GUEGAN, J., CHOISY, M. (2009).** Introduction à l'épidémiologie intégrative. De Boeck université. 43p.
- 33. HAMENNI, N. (2011).** Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Magister en Sciences Agronomiques. Étude des ressources en eau du bassin versant de la soummam par l'utilisation de SIG. École Nationale Supérieure d'Agronomie. 153 p.
- 34. HASBAIA, M., ADOUI, H. (2012).** Contribution à l'étude du régime des crues dans les bassins semi-arides algériens, cas du bassin versant du Hodna en Algérie. Département de l'hydraulique, Université de M'Sila.
- 35. Hedjazi, A. (2009).** Quantification des apports liquides et solides de l'Oued El-ham. Mémoire d'ingénieur d'état en hydraulique : option hydraulique urbaine, Université de M'Sila.
- 36. Hingray, B., Picouet, C., Musy, A. (2009).** Hydrologie 2. Une science pour l'ingénieur. Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes. 600p.
- 37. I.A.A.T. (2003).** Cahier méthodologique sur la mise en œuvre d'un SIG, 33p.
- 38. Ider, K. (2004).** Modélisation hydrodynamique d'un cours d'eau, Application à l'Oued Soummam. Mémoire de Magister. ENP, Alger. 124 p.
- 39. ING Akli, TALATIZI. (2014).** Étude des infiltrations à travers une digue de barrage en terre Cas d'un barrage algérien. Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou. 190 p.
- 40. 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. Études algériennes. pp. 25-34.
- 41. KNOEPFEL, P., DA CUNHA, A., P LERESCHE, J., NAHRATH, S. (2005).** Enjeux du développement urbain durable, Transformations urbaines, gestion des ressources et gouvernance. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (PPUR). 129p.
- 42. Laborde J, P. (2009).** Éléments d'hydrologie de surface, Support de cours. École polytechnique de l'université de Nice-Sophia Antipolis.

Références bibliographiques

- 43. LE GARFF, A. (1975).**Dictionnaire de l'informatique. Paris, Presses universitaires de France.
- 44. LEGROS, J. (1996).** Cartographies des sols, de l'analyse spatiale à la gestion des territoires. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (PPUR).167p.
- 45. Makhlouf, N. (2015).** Cours cycle hydrologique. Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumédiène, Faculté des Sciences de la Terre, de la Géographie et de l'Aménagement du Territoire.
- 46. MARGADA, P. (1988).** Cahiers de l'urbanisme, Revue de l'administration wallonne de l'aménagement du territoire N° 4. 62p.
- 47. Narayan, L. (1999).** RemoteSensing and its Applications, India: UniversityPress.
- 48. NOTTET, A. (2002).**Analyse et croisement cartographique de la base de données BASIAS et des bases de données de l'IGN. Mémoire de maîtrise d'Aménagement du Territoire.Université Paris XII – Val-de-Marne. 60p.
- 49. NOVA, N. (2009).** Les médias géolocalisés,Comprendre les nouveaux espaces numériques.17p.
- 50. OCDE. (2004).** L'espace à l'horizon 2030, quel avenir pour les applications spatiales ?, organisation de coopération et de développement économique. pp. 130-132.
- 51. PROVENCHER, L., Jean-Marie., Maurice, Dubois. (2007).**Précis de télédétection Méthode photo interprétation et d'interprétation d'image, Volume 4.33p.
- 52. Remini, B. (2009).** Algerie_Rapport_national_eau_adaptation, Problématique du secteur de l'eau et impacts liés au climat en Algérie. pp04.
- 53. RIEDO, M., CHETELAT, J. (2001).**Présentation des outils informatiques destinés au développement des applications SIG. EPFL, Ecole Polytechnique Fédérale De LAUSANE.pp 05.
- 54. ROCHE, M. (1963).**Hydrologie de surface. Gauthier-Villars Editeur-Paris.429 p.
- 55. ROCHE, S. (2000).** Les enjeux sociaux des systèmes d'information géographique. Revue géographique sociale. L'Harmattan.

Références bibliographiques

56.ROGNANT, L.(2000).Application à la représentation de MNT et à la fusion de MNT radar. Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier (Grenoble). 431 p.

57. Zeroual, S. (2016). Etude de la sensibilité du sous bassin versant de Ksob a l'érosion hydrique par une approche quantitative. Mémoire Présenté pour l'obtention du diplôme de master .Filiere:Hydraulique, Université de M'Sila.123p .

58. ZWAENEPOEL, P. (2000).Agriculture de précision ,avancées de la recherche technologique et industrielle .Educagri Dijon .pp. 58-59.

59. (D.R.E).Direction des ressources en eau M'sila. (2018).

60. (ANRH).Agence National des Ressources Hydroliques.(2018).

Lexique

Landsat :

Le programme Landsat est un des plus anciens programmes américains d'observation par satellite de la surface terrestre. Sept satellites Landsat ont été lancés depuis le 23 juillet 1972. Le dernier, Landsat 7, a été lancé le 15 avril 1999.

Spot :

SPOT (Système Probatoire d'Observation de la Terre ou Satellite Pour l'Observation de la Terre) est une famille de satellites de télédétection français civils d'observation de la terre. Cinq exemplaires ont été lancés entre 1985 et 2002. Deux nouveaux satellites devraient être lancés à compter de 2013.

Restituteurs analytiques :

Les restituteurs analytiques permettent une meilleure rapidité de mise en place et d'exploitation des clichés.

Cartogenèse :

Processus qui permet de comprendre l'organisation d'un objet dans un paysage. Elle est basée sur l'élaboration de modèles issus de la chorologie (une science issue de la biogéographie qui étudie la répartition géographique des espèces vivantes).

ArcInfo 1982 :

En 1982, Esri lance ARC/INFO son premier S.I.G commercial. Cette même année voit la naissance de PC ARC/INFO solution S.I.G autonome sur PC.

Sylviculture :

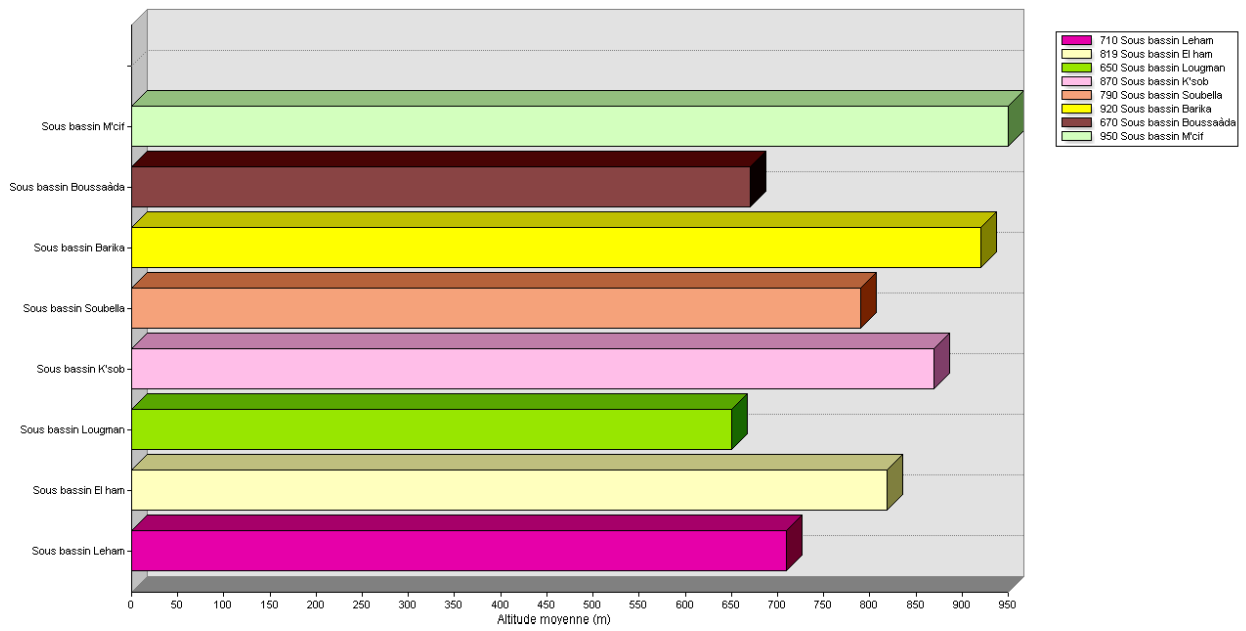
Ensemble des techniques permettant la création et l'exploitation rationnelle des forêts tout en assurant leur conservation et leur régénération.

C3R :

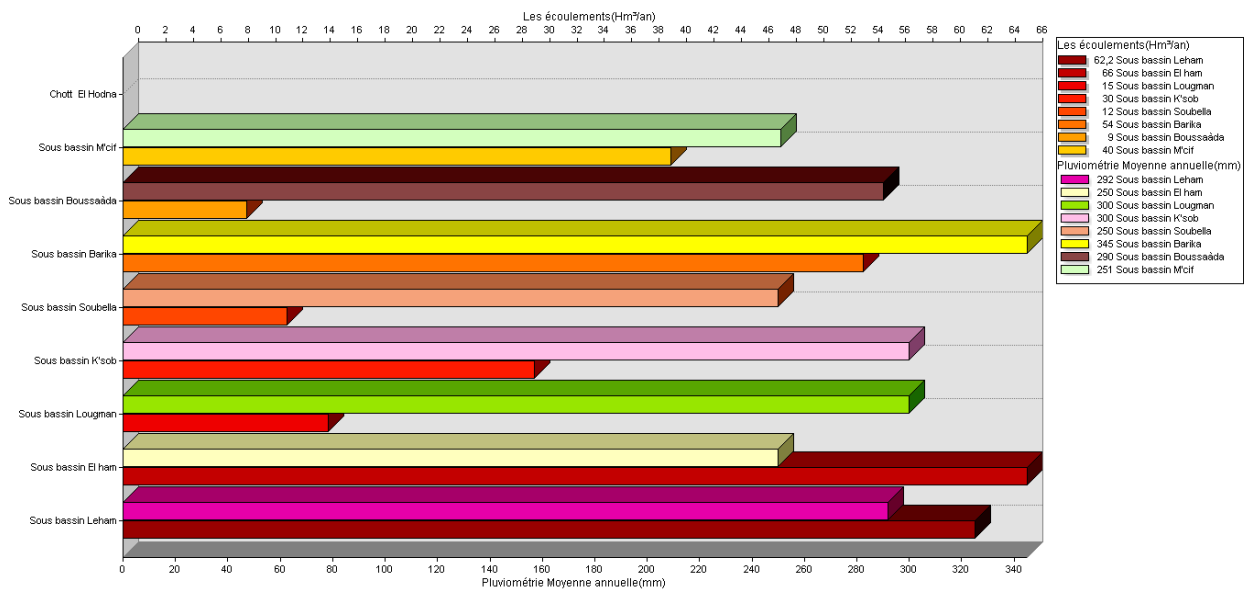
D'un point de vue militaire, l'observation de la terre est un élément vital de ce que l'on appelle le C3R (commandement, communication, conduite et renseignement), notamment en ce qui concerne le renseignement et la conduite des opérations. Ainsi, elle offre un moyen unique de suivre le déploiement de forces hostile et de disposer en temps réel d'une image de l'évolution de la situation sur un théâtre d'opérations donné. L'observation de la terre s'est également révélée un outil efficace pour surveiller l'application des traités de désarmement [OCDE, 2004].

Annexes

Annexe

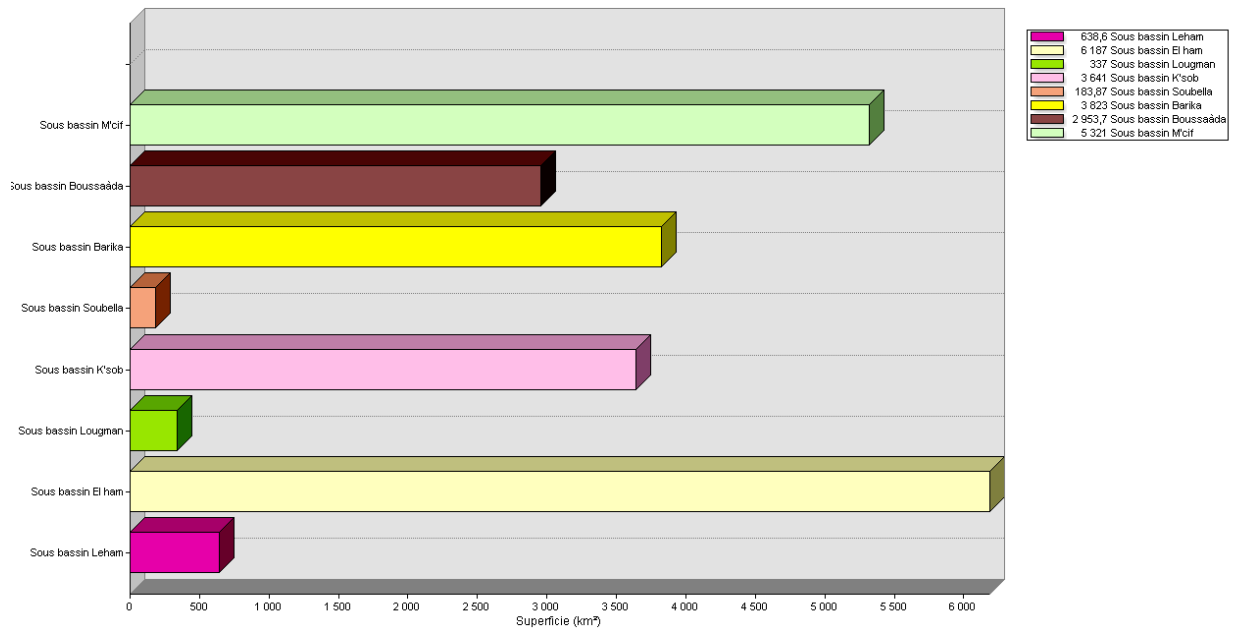


Altitude moyenne de sous-bassin hydrographique du Hodna.

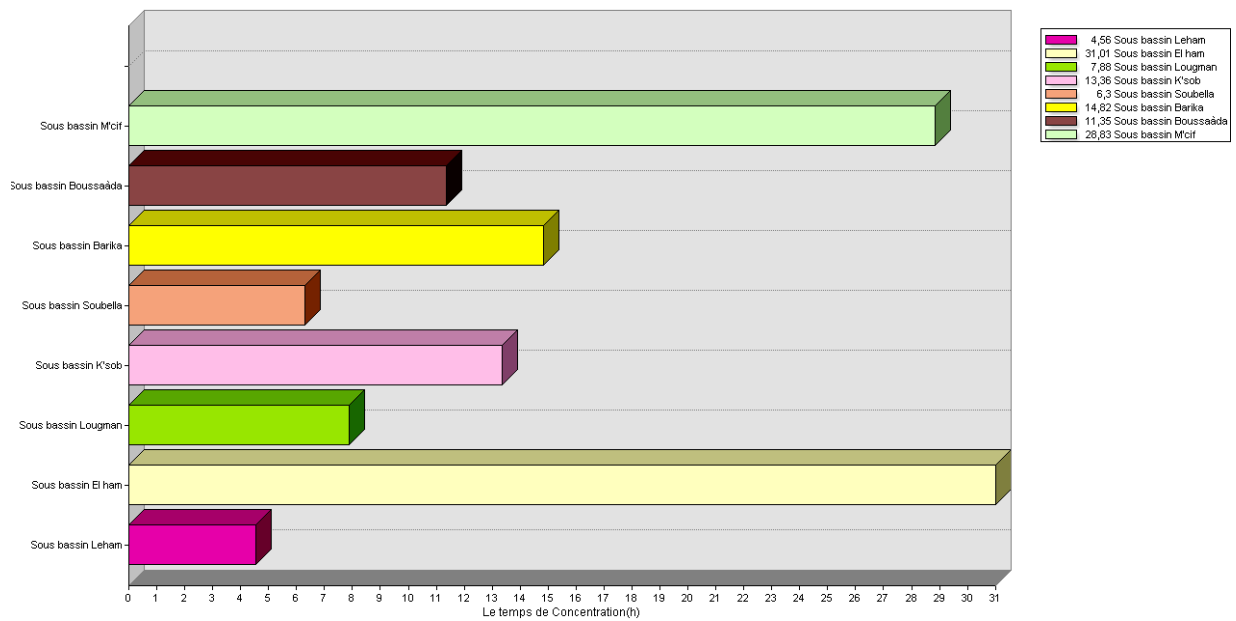


Régime d'écoulement annuel avec la précipitation moyenne annuelle de sous-bassin hydrographique du Hodna.

Annexes

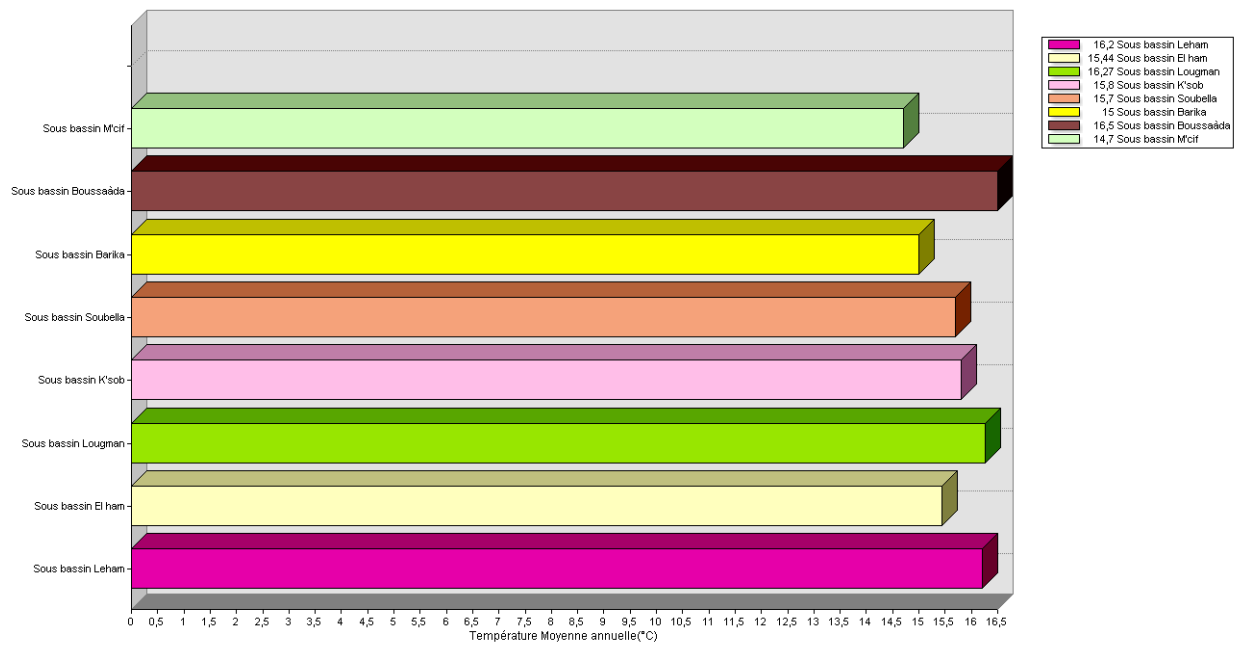


Superficies de chaque sous-bassin hydrographique du Hodna.



Le temps de concentration de chaque sous-bassin hydrographique du Hodna.

Annexes



Température moyenne annuelle de chaque sous-bassin hydrographique du Hodna.



Barrage de K'sob.

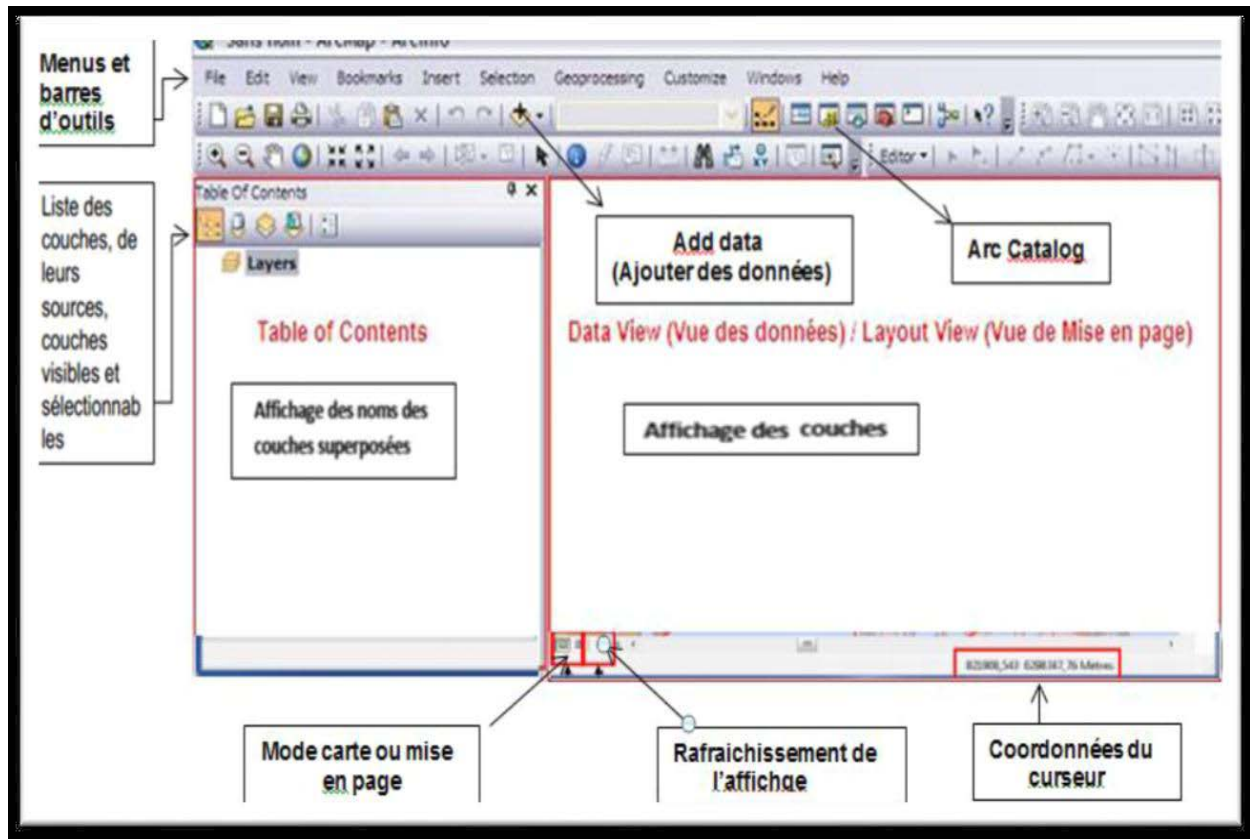


Retenue collinaire de witlan Maàdid.



Retenue collinaire d'Oued cheair (Mohamed boudiaf).

Présentation de l'interface d'Arc Gis 10.5



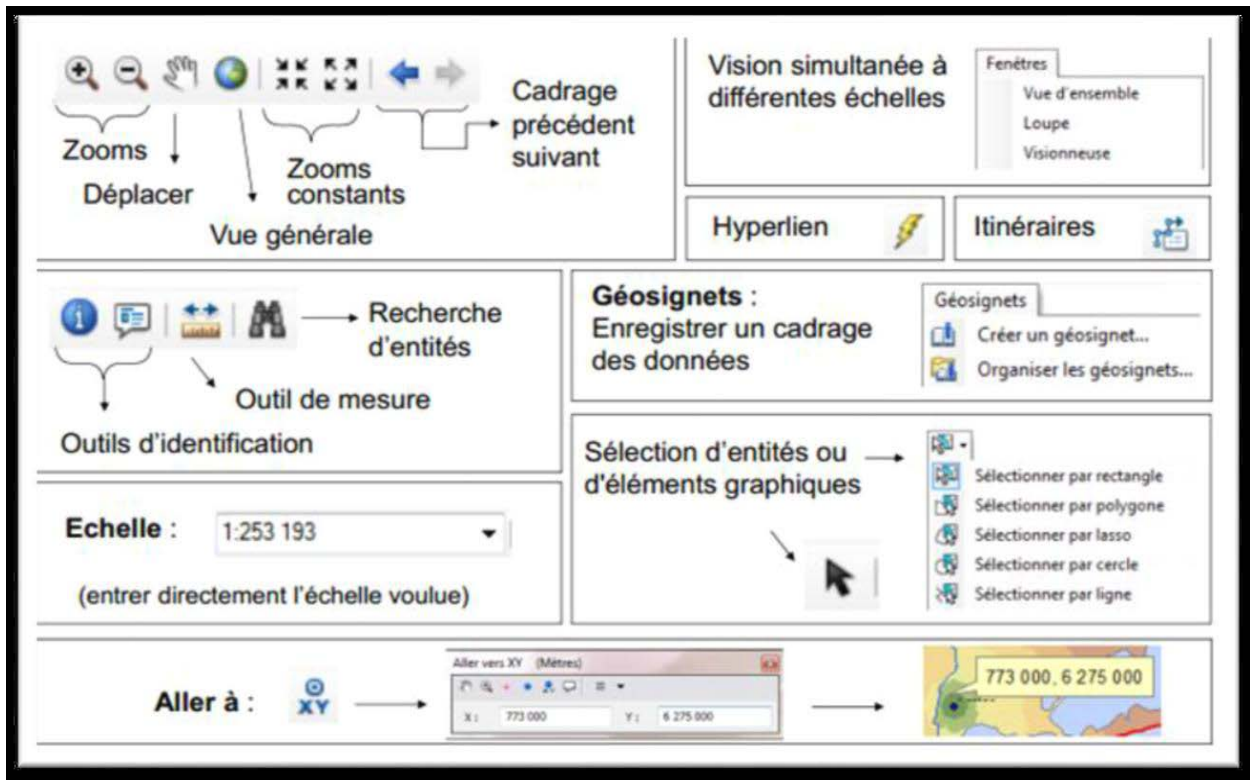
Add data /Ajouter de nouvelles couches de données (bouton de commande ou menu Fichier) au bloc de données actif. Il est aussi possible de les faire glisser du catalogue ou de l'Explorateur Windows.

1. Liste des connexions aux données d'ArcCatalog.

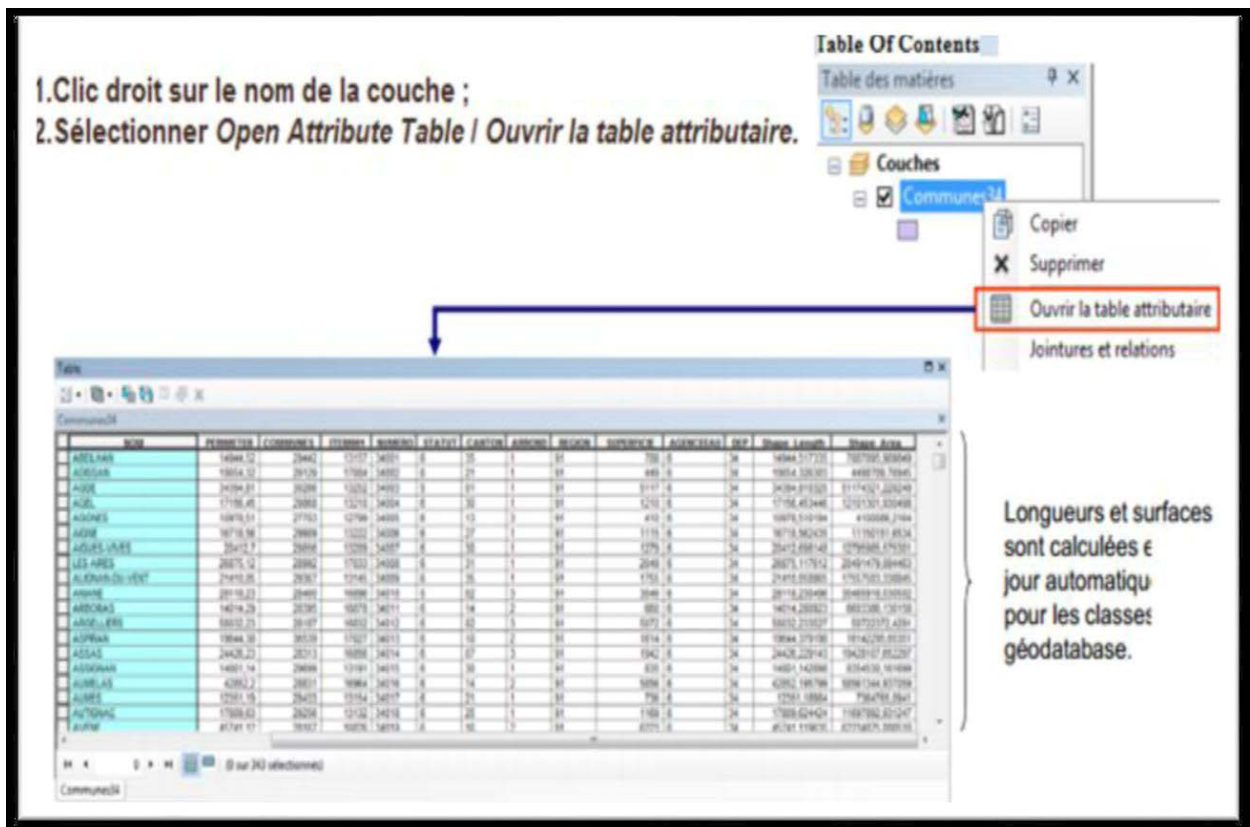
- Accueil - Pech_Maho\Lidar
- Accueil - Pech_Maho\Lidar
- Connexions aux dossiers
 - C:\cours\Cours\20130208_M1_InitiationArcGIS\ArcData
 - C:\cours\Lattes\Pech_Maho
 - C:\data\Lidar
 - C:\Temp
 - Zi_data\Fonds de carte
 - Zi_data\IGN\34 - Hérault
 - Zi_data\IGN\France\SCAN_25_193
 - Zi_data\Lidar
- Boîtes à outils
- Serveurs de bases de données

2. Créer une connexion à un nouveau répertoire.

3. Type de données reconnues par ArcCatalog



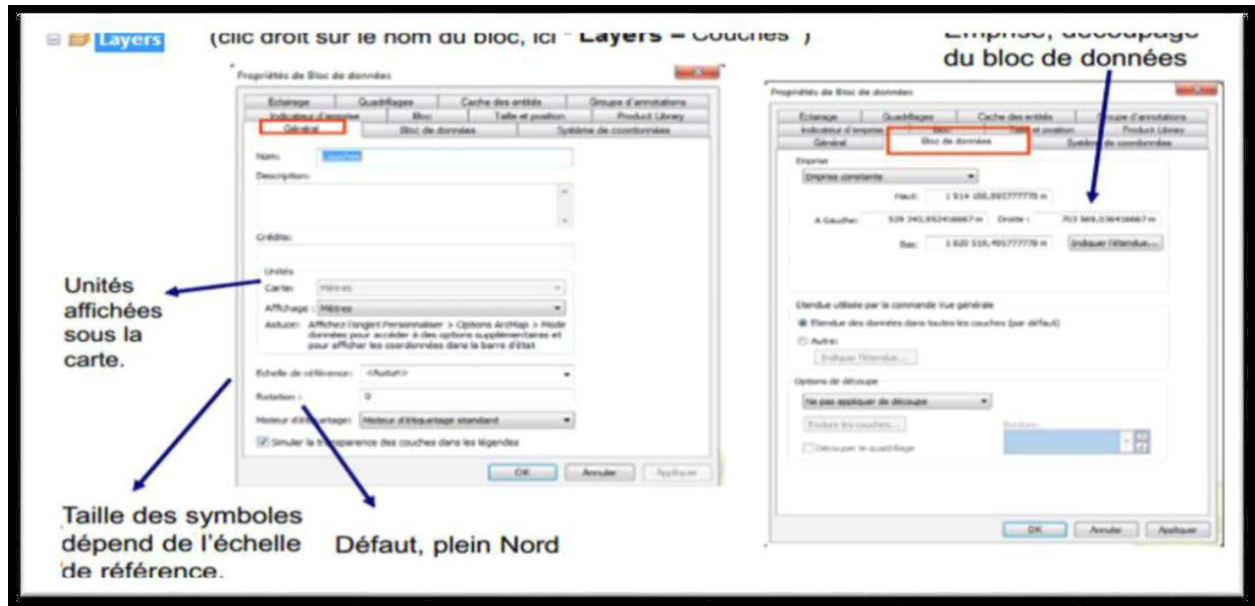
Afficher les données attributaires :



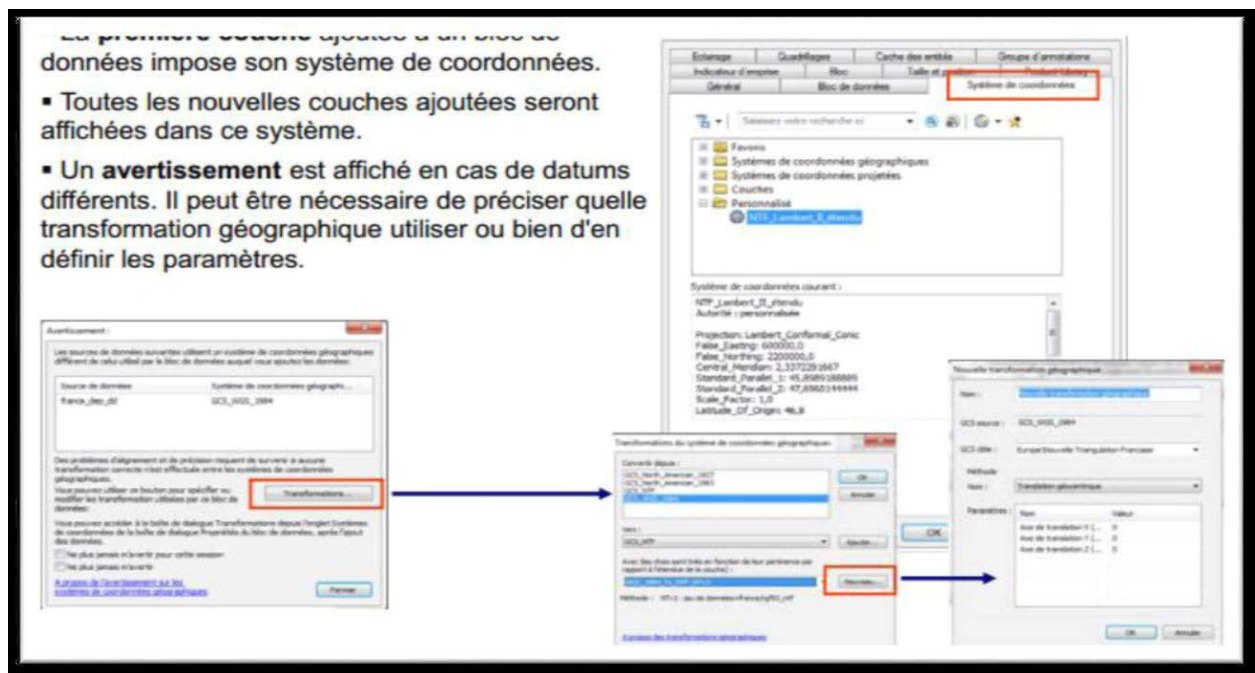
***Propriétés d'un document ArcMap :**
Dans le menu File / Map Document Properties (Fichier / Propriétés de la carte) :

***Propriétés des blocs de données :**

1-Unités, emprises

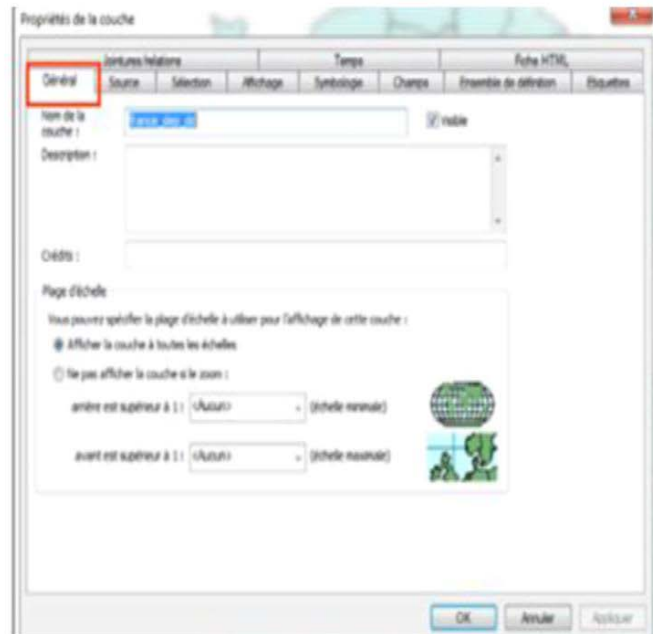


2- Systèmes de coordonnées



· Général

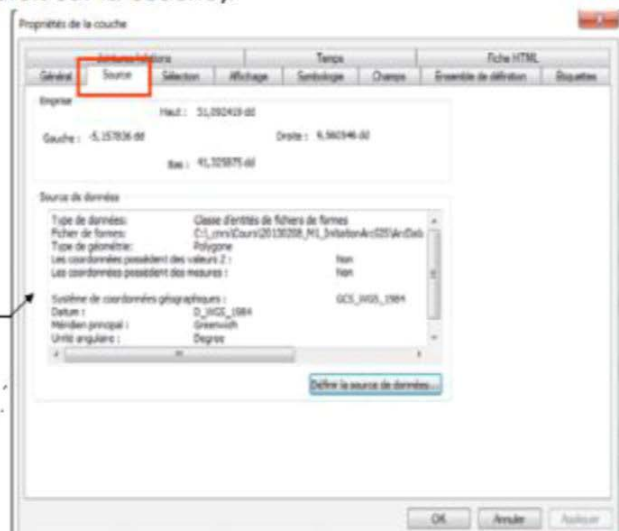
- Nom de la couche.
- Couche visible ou non.
- Plage d'échelle de visibilité :
 - Ne pas afficher si zoom **arrière** supérieur à (échelle minimale).
 - Ne pas afficher si zoom **avant** supérieur à ... (échelle maximale).
 - Afficher à toutes les échelles.



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 (symbolologie, 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:

تم اختيار حوض الحضنة كمجال تطبيق لعملنا بسبب مساحته الكبيرة (25856 كم²)، وبالتالي الحد الأقصى لعدد أحواض الصب الفرعية (08 أحواض فرعية) وبالتالي تنوع كبير في الخصائص الفيزيائية التي تؤثر على تدفق المياه. 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" 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 بناء نموذج التضاريس الرقمية (MNT)، ثم تحديد قاعدة بيانات هيدرولوجية (BD)، تبعها إنشاء نماذج لقاعدة البيانات الجغرافية (MBDG) للحوض المصب وأخيراً تقييم وتقدير المياه الجوفية والمياه السطحية في حوض الحضنة.

الكلمات المفتاحية: الهيدرولوجيا، حوض مصب الحضنة، نظم المعلومات الجغرافية، قاعدة البيانات.

Résumé

Le bassin du Hodna a été choisi comme une zone d'application de notre travail en raison de sa vaste superficie (25856 km²) par conséquent un nombre maximal des sous-bassins versants (08 sous-bassins) et ainsi de suite une grande variabilité des caractéristiques physiques qui influent sur l'écoulement des eaux.

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 « ArcGis » 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 construction du modèle numérique du terrain (MNT), ensuite la détermination d'une base de données pour l'hydrologie (BD), suivie par la création des modèles d'une Base de Données Géographique (MBDG) pour le bassin versant et enfin l'évaluation et l'estimation des eaux souterraines et superficielles dans le bassin du Hodna.

Mots clés : Hydrologie, Bassin versant du Hodna, SIG, Base de donnée.

Summary

The Hodna Basin was chosen as an area of application of our work because of its large area (25856 km²), therefore a maximum number of sub-watersheds (08 sub-basins) and so a great variability of physical characteristics that affect the flow of water.

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" software by using the database data available at the organization level (DRW-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 Hodna Basin.

Key words: Hydrology, Hodna watershed, GIS, Database.