

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة جلالي بونعامة
Université Djilali Bounaama - Khemis Miliana
Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre
Département des Sciences Agronomiques



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention de diplôme de **Master** en

Domaine: Sciences de la Nature et de Vie

Filière: Sciences agronomiques

Spécialité: Aménagements Hydro-agricoles

Thème :

Techniques de protection d'un aménagement hydro-agricole implanté dans une zone rurale

(Cas du petit barrage de Mghila-W. Tissemsilt)

Présenté par :

**BOUTAIEB Tahar
HAMDAOUI Hamza**

Encadré par:

Mr RATIAT Abdelkader

Devant le jury :

Mme MATEN.C.N	MAA	Présidente	U. D. B. Khemis Miliana
Mr RATIAT.Abelkader	MCB	Promoteur	U. D. B. Khemis Miliana
Mr IMESSAOUDENE.Y	MAA	Examineur	U. D. B. Khemis Miliana
Mme BOUAICHI.I	MAA	C-Promotrice	U. D. B. Khemis Miliana

Année universitaire : 2021-2022

Remerciements

Au terme de cette modeste étude, nous tenons à remercier notre promoteur Mr. *Abdelkader Ratiat* pour tous ses précieux conseils, pour son écoute active, et sa disponibilité.

Nous tenons également à remercier également tous nos professeurs qui ont contribué à ce travail, en particulier Mme *Maten. C.N* et Mme *Bouaichi.I*, et nous exprimons notre respect aux membres du jury qui nous ont fait l'honneur d'examiner ce travail.

Dédicaces

J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail à :

A ma mère et mon père à qui je dois tout et qui m'ont donné aide et courage et

Foi. Ils peuvent trouver ici toutes mes considérations.

Merci à toute ma famille, mes sœurs et mes frères

Merci à tous mes amis et à ceux qui, en somme, m'ont donné la force de continuer,
en particulier mon frère et ami Tahar Boutaieb.

Hamza Hamdaoui

Dédicaces

J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail à :

A ma mère et à qui je dois tout et qui m'ont donné aide et courage et

Foi. Ils peuvent trouver ici toutes mes considérations.

Merci à toute ma famille, mes sœurs et mes frères

Merci à tous mes amis et à ceux qui, en somme, m'ont donné la force de continuer,
en particulier mon frère et ami hamza Hamlaoui

Tahar Boutaieb

Résumé :

Le problème d'érosion hydrique contribue à l'envasement des barrages, les canaux et les stations ainsi qu'il dégrade les terres agricoles. Le présent travail a pour but d'étudier les techniques de protection d'un aménagement hydro-agricole du petit barrage de Mghila (nord-est de Tissemsilt). Pour cela, nous avons procédé à l'analyse et la modélisation spatiale de la lithologique, du couvert végétal et de la pente en vue de dresser la carte de sensibilité à l'érosion. Les éléments contenus dans les inventaires topographiques, les inventaires géologiques et d'occupation des terres ont été croisés dans un système d'information géographique (SIG). Les résultats de cartographie à l'érosion hydrique des sols du sous bassin de Mghila ont permis de délimiter quatre (04) zones vulnérables et productrices de sédiments réparties en (04) quatre classes de vulnérabilité. Les zones à faible sensibilité à l'érosion couvrent **18.89 %** du secteur d'étude, les zones à une sensibilité moyenne à l'érosion couvèrent **13,08%**, les zones qu'ont assez forte sensibilité à l'érosion couvèrent **65,05 %** et celles à très forte sensibilité **8,38%**. Des aménagements antiérosifs de divers types ont été proposés (pratiques agricoles, reboisements, plantations fruitières, correction torrentielle, drains et exutoires, revégétalisation, etc.) afin de minimiser l'effet de l'érosion.

Mots clés : érosion hydrique, envasement, oued Mghila, bassin versant, aménagement antiérosifs

Abstract :

The problem of water erosion contributes to the siltation of dams, canals and stations as well as degrading agricultural land. This work aims to study the techniques of protection of a hydro-agricultural development of the small dam of Mghila (north-east of Tissemsilt). For this, we proceeded to the analysis and the spatial modeling of the lithology, the vegetation cover and the slope in order to draw the map of sensitivity to erosion. The elements contained in the topographic inventories, the geological and land use inventories were cross-referenced in a geographic information system (GIS). The results of water erosion mapping of soils in the Mghila sub-basin have made it possible to delimit four (04) vulnerable and sediment-producing areas divided into (04) four classes of vulnerability. Areas with low sensitivity to erosion cover 18.89% of the study area, areas with medium sensitivity to erosion cover 13.08%, areas with fairly high sensitivity to erosion cover 65.05 % and those with very high sensitivity 8.38%. Anti-erosion developments of various types have been proposed (agricultural practices, reforestation, fruit plantations, torrential correction, drains and outlets, revegetation, etc.) in order to minimize the effect of erosion.

Key words: water erosion, siltation, oued Mghila, watershed, anti-erosion management

ملخص:

تساهم مشكلة الانجراف المائي في ترسب الطمي في السدود والقنوات والمحطات وكذلك تدهور الأراضي الزراعية. يهدف هذا العمل إلى دراسة تقنيات حماية التنمية المائية والزراعية لسد مغيلة الصغير (شمال شرق تيسمسيلت). لهذا ، انتقلنا إلى

التحليل والنمذجة المكانية للسخور والغطاء النباتي والمنحدر من أجل رسم خريطة الحساسية للتعرية. تمت مقارنة العناصر الواردة في قوائم الجرد الطبوغرافية والمخزونات الجيولوجية واستخدامات الأراضي في نظام المعلومات الجغرافية (GIS). أتاحت نتائج خرائط التعرية المائية للتربة في حوض مغيلة الفرعي تحديد أربع (04) مناطق معرضة للخطر ومنتجة للرواسب مقسمة إلى (04) أربع فئات من الضعف. تغطي المناطق ذات الحساسية المنخفضة للتعرية 18.89% من مساحة الدراسة ، والمناطق ذات الحساسية المتوسطة للتعرية تغطي 13.08% ، والمناطق ذات الحساسية العالية نسبياً للتعرية تغطي 65.05% وتلك ذات الحساسية العالية جداً 8.38%. تم اقتراح تطويرات مضادة للتعرية من أنواع مختلفة (الممارسات الزراعية ، إعادة التحريج ، مزارع الفاكهة ، تصحيح السيول ، المصارف والمنافذ ، إعادة الغطاء النباتي ، إلخ) لتقليل تأثير التآكل.

الكلمات المفتاحية: الانجراف المائي ، الطمي ، وادي مغيلة ، مستجمعات المياه ، تنمية مقاومة الانجراف.

Liste des figures

Fig.I-1 les différents types des barrages	5
Fig.I-2 Les différents types des barrages en béton	6
Fig.I- 3 Coupe du barrage-poids	7
Fig.I- 4 Barrage-poids (BéniHarounMila-Algérie)	7
Fig.I- 5 Coupe du barrage à contreforts 8	8
Fig.I- 6 Barrage à contrefort (Erraguene, Jijel-Algérie)	8
Fig.I-9 Les différents types de barrages en remblais	10
Fig.I-10 : coupe d'un barrage enrochement	10
Fig.I-11 Barrage en enrochement (Deurdeur d'AïnDefla-Algérie)	10
Fig.I-12: Coupe d'un barrage homogène	11
Fig.I-13 : Barrage homogène (Matemale-France)	11
Fig.I-14 : coupe d'un barrage zoné	12
Fig.I-15 : Barrage zoné (Lekhal Bouira–Algérie)	12
Fig I-16 : Lac collinaire de Kamech au nord du Cap Bon en Tunisie (© Albergel).	13
Fig I-17 : Barrage Malpasset avant (a) et après (b) sa rupture.	22
FigI-18 : Rupture de barrage en terre. Le barrage de Teton.	23
Fig I-19 : La rupture du barrage de Bouzey	24
Photo I-20 : « coulée boueuse » en limite de parcelle	25
Fig I-21. : Effet des gouttes de pluies (effet splash)	26
Photo I-22 : réseau de rigoles creusées en hiver	27
Photo I-23 : « coulée boueuse » au sein d'une parcelle	30
Fig. I-24 ruine du barrage de Fergoug (1881)	35
Fig. I-25 ruine du barrage de Fergoug (1927)	35
Fig.II.1 : Localisation géographique de la zone d'étude	38
Photo.II.1. Vue de paysage du barrage de Koudiet-Rosfa	39
Photo.II. 2. Barrage de Mgila	39
Photo.II.3 le périmètre d'irrigation à l'aval du barrage de Mgila	39
Fig.II.2 Variation mensuelle de la température	41
Fig. II.3. Variation mensuelle de vitesses de vents	42
Fig.II.4. Répartition des précipitations interannuelles sur la période (2010-2021)	42
Fig.II.4. Délimitation du sous bassin de Mgila (notre Elaboration)	44
Fig.II.5. Répartition et courbe hypsométriques	46
Fig.II.6. Classification de Schumm (notre élaboration)	48
Fig. III.1 : Etapes de cartographie H.Bohbot, (2014).	55
Fig. III.2:Fenêtre (couches)	56
Fig.III.3:Barre d'outils et de gestion des dossiers	59

Fig.III.4Barre d'ArCatalog	60
Fig.III.5Interfaced'ArcMap et la barre générale d'outils	61
Fig.III.6Barred'ArcToolbox	62
Fig.III.7Interface du système de coordonnées	63
Fig.III.8 : Interface de création d'une couche	64
Fig.III.9:Interface d'un objet graphique	65
Fig.III.10Créationd'unpoint	66
Fig.III.11Interface d'informations sur la géométrie	66
Figure III.12 Carte de réseaux hydrographique de bassin versant de l'Oued Mghila	68
Fig.III.13 la carte d'occupation de sol du sous bassin de mghila	70
Fig.III.14Carte lithologique du sous bassin de l'oued de m'ghila (wilaya de Tissemsilt)	72
Fig.III.15carte des pentes du sous bassin d'oued m'ghila	74
Fig.IV-1Carte fragilité du sous bassin de Mghila	79
PhotosIV-3: Pratiques agricoles : culture intercalaire fèves et plantions fruitière.	84
PhotosIV.4 : Montagne aménagéebenterrasseauMar	85
PhotoIV.6.Murette senpierressèches en Tunisie.	86
Fig.IV.8 les seuils en sec	88
Figure IV.9 les drains	89
PhotosIV.10 Haiesvives.	89
PhotosIV.11.Plantation d'opuntia	90
PhotosIV.12Revégétalisation Atriplexsp.	91
Photo IV.13 des diguettes en pierres.	91
(photo IV-14) : Barrages en pneus	91
(PhotoIV- 15) Barrages végétaux photo IV-16) : Cordons de débris végétaux	91
Fig. IV.17 réhabilitation d'une forêt détruite en Brésil	92
Fig.IV.18. Sous-bassin versant d'Oued Mghila	93

Liste des tableaux

Tableau I-1. Identification de quelques retenues collinaires en Algérie	16
Tableau I.2. Etat d'envasement de quelques barrages d'Algérie. Abdelkader Hadadi (2004).	20
Tableau. II.1. Les ouvrages hydrauliques de la wilaya de Tissemsilt	39
Tableau.II.2. Températures moyennes interannuelles en °C	40
Tableau II.3. : Vitesses des vents (km/h)	41
Tableau II.4. Surfaces partielles du bassin versant par tranche d'altitude	45
Tableau II.5. Caractéristiques hydro-morphométriques du bassin versant	49
Tableau.III.1 Classes de sensibilité du couvert végétal à l'érosion	69
Tableau.III.2 classement des sols en fonction de différentes caractéristiques	71
Tableau.III.3 Classes de pente et indices attribués selon	73
Tableau (IV-1) règles de décision :	78
Tableau(IV.2) de la règle de la décision :	80

Tables des matières

Tables des matières	
Introduction générale	1
Chapitre I:	3
Synthèse bibliographique	3
1-Introduction :	4
2-1 -Les barrages :	4
1-les barrages en béton :	5
1/1-les barrages de poids :	6
1/2-Les barrages contreforts :	7
1/3-Barrage-voûte :	9
2-Les différents types des barrages remblais :	9
2/1-Barrage en enrochement :	10
2/2-les barrages en terre :	10
2 /2- a-barrage homogène :	11
2- les retenues collinaires:	12
3-Historique de réalisation des petits barrages et retenues collinaires au monde :	13
4-historique des petits barrages et retenues collinaires en Algérie :	14
5- Répartition et état des petits barrages en Algérie :	16
6- Les principales caractéristiques des petits barrages et retenues collinaires :	16
6-1-Le volume de l'eau stocké :	16
6-2-La profondeur de la retenue :	17
7-Les principaux objectifs des petits barrages et retenues collinaires:	17
7-1-Les objectifs écologiques :	17
7-2Les Objectifs économiques :	17
8- La gestion des petits barrages et retenues collinaires :	18
9-Les problèmes qui gênent les petits barrages et les retenues collinaires :	18
9/1-L'envasement:	18
9/2-Rupture des barrages et les retenues collinaires	20
9/2-1Causes de rupture	21
9/2-2-Types de ruptures :	21
9/3-érosion hydrique :	24
9/3-1-Définition :	24
9/3-2-Mécanismes de l'érosion hydrique	26
9/3-3-Les différentes formes d'érosion en milieu méditerranéen	27
9/3-4-Facteurs physiques favorables à l'érosion hydrique	28
9/3-5-Les types d'érosion dans les barrages et les retenues collinaires	31
9/4-Fissures longitudinales	33
9/5-Fissures transversales	33
9/6-Glisement du talus du barrage	33
9/7-Liquéfaction	33

9/8-Risque de l'instabilité de la digue	34
10 -Cas de rupture de barrage en Algérie	34
.II.1.Introduction	37
II.2. Présentation de la région d'étude	37
II.2-1-Situation géographique	37
II.2.2. Potentialité hydrique de la wilaya de Tissemsilt	39
II.2.3. Couvert végétal	39
II.3. Caractéristiques hydro climatologiques	40
II.3.1. Climatologie	40
II.3.2. Températures	40
II.4. Géomorphologie, physiographie et hydro morphométrie du milieu étudié	44
II.4.1. Calcul des caractéristiques	44
II.4.2. Morphologie et topographie	49
II.5. Occupation du sol	51
II.6 Conclusion	52
III-1Introduction	54
III-2-Définition d'un système d'information géographique (SIG)	54
III-3-Cartographie	54
III-4-Définition de QGis	55
III-5- Définition Arc GIS	57
III-5-1-Les applications d'ArcGIS	58
5-1-1ArCatalog	58
5-1-2ArcMap	60
5-1-3ArcToolbox	61
III-5-2-Quelques opérations dans l'ArcGIS	62
5-2-1Ajouter des données	62
5-2-2Systèmes de coordonnées	62
5-2-4Création d'une couche	63
5-2-6Créer une entité	65
5-2-7Obtenir des informations sur la géométrie :	66
5-2-8Eléments de mise en page cartographique (Insertion) :	66
III-6-Réseau hydrographique :	67
III-7La carte d'occupation du sol	68
III-8-La carte lithologie :	71
III-9-La carte de pente :	73
III-10-Conclusion :	75
IV.1-Introduction :	77
IV.2-Résultats et discussion	77
IV.2.1 Carte de fragilité des terres	77
IV.2.2 Carte de sensibilité des sols à l'érosion hydrique	80
IV.3. Solutions proposées à travers des aménagements anti érosifs	82
IV.3.1Objectifs	82
IV.3.2 Matériel et méthodes	82

IV.3.2.1 Méthode culturales antiérosives	84
IV.3.2.2 Méthodes et techniques de protection antiérosif	85
1-1Lesterrasses	85
1.2Les banquettes	86
1-3Lesmurettes	86
1-4Lescordonsdepierres	87
1.7Drains	89
2-Plantation d'opuntia:	90
3-Revégétalisation	90
4-Conclusion	94
Conclusion générale	96
Références bibliographiques	98
Les annexes	

Liste des abréviations

°C. : Degré Celsius.

Km. : Kilomètre.

m. : mètre.

T°C. : Température

OFEN. L'Office fédéral de l'énergie

USA United States of America

MES.Matières en suspension

CIGB la Commission Internationale des Grands Barrages

ONID Office National De L'irrigation Et Du Drainage

SIG Système informatique géographique

MNT Modèles Numériques de Terrain

CCIG commission de coordination de l'information géographique

QGIS Quantum Geographic Information System

DDT

L'ENSG école nationale des sciences géographiques de l'IGN

MRE ministère des ressources en eau

Introduction générale

L'érosion cause actuellement de sérieux problèmes à la production agricole, caractérisée par une grande variabilité et un déficit chronique. La gravité de ce phénomène semble dépasser tous les efforts consentis jusque-là pour juguler les divers processus d'érosion. (Morsli et al, 2004). Parmi ces problèmes, la désertification qui est une dégradation rapide et parfois irréversible des milieux arides et semi arides sous l'effet d'une exploitation excessive de leurs ressources naturelles, provoquant l'installation de conditions de plus en plus défavorables aux êtres vivants, comme il en existe dans les véritables déserts (FL Bermúdez, 1996). Les infrastructures à l'aval (barrages, stations de pompage, canaux d'irrigation etc.) sont continuellement menacées et connaissent de perpétuels dépôts de sédiments (Touibia et Achite, 2003).

En 2011, le Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural et de la Pêche (MADRP, ex MADR) a estimé qu'environ 14 millions d'hectares de zones de montagne dans le nord du pays étaient dégradées par l'érosion hydrique (Touahir et al., 2018). Les différents levés bathymétriques, effectués sur la période 1986-2008 par l'Agence Nationale des Barrages et Transferts sur l'ensemble des 59 barrages en exploitation, ont montré que le volume perdu par envasement était de 898 Mm³ soit 13,4 % du volume total des retenues (MRE, 2010).

Compte tenu de la complexité du phénomène de l'érosion hydrique dans le sous-bassin de l'Oued Mghila, située au nord-est de la wilaya de Tissemsilt, liée à une importante hétérogénéité des sols, à un couvert végétal très épars et par endroits inexistant, et à une pluviométrie mal répartie aussi bien dans l'espace que dans le temps, un essai de cartographie de la variable aléatoire "érosion spécifique" est entrepris. L'objectif à atteindre est de déceler les zones productrices de sédiments en vue d'un aménagement anti-érosif pour la préservation du Barrage de Mghila et du périmètre d'irrigation à l'aval et de répondre aux besoins en eau des 1000 ha de superficie agricole.

Pour cela, nous allons traiter ce fléau à travers les chapitres suivants :

Une synthèse bibliographique fait l'objet du premier chapitre tout en discutant la partie théorique de l'érosion, son évolution et son impact sur tous les domaines.

Le deuxième chapitre traitera le contexte général de la zone d'étude, les caractéristiques morphologiques du sous bassin de Mghila.

Introduction générale

La cartographie du phénomène d'érosion à l'aide des logiciels de Système informatique géographiques (SIG) Arcgis et Qgis pour déterminer les zones les plus vulnérable à l'érosion hydrique a fait l'objet du troisième chapitre.

Dans le quatrième chapitre, nous allons proposer des aménagements anti érosifs pour les zones les plus sensibles ou plus vulnérables.

Et enfin, on terminera avec une conclusion.

Chapitre I.
Synthèse Bibliographique

I.1-Introduction :

L'eau se trouve presque partout sur terre et elle est vitale pour tous les organismes vivants connus. Près de 70% de la surface de la terre est recouverte d'eau. Une étendue d'eau peut être un océan, une mer, un lac, une rivière. La circulation de l'eau au sein des différents compartiments terrestres est décrite par son cycle hydrologique, le cycle de l'eau (**Bertrand,2008**). L'objectif principal de ce chapitre est d'évaluer l'importance des barrages et les retenues collinaires et les problèmes qui limitent leurs durées de vie.

Dans la nature, on distingue deux plans d'eau:

1- Les plans d'eaux naturelles ; Les lagunes, les lacs, les étangs, les mares, les marais, Les marécages.

2- Les plans d'eaux artificielles : Les grands et petits barrages; les retenues collinaires

I. 2-1 -Les barrages :

Un barrage est un ouvrage artificiel qui traverse le lit d'un cours d'eau et sert à le réguler, à fournir de l'eau communale ou à l'irrigation agricole, ou à produire de l'énergie (**P. BROY 2014**). Ce sont des ouvrages hydrauliques qui bloquent un tronçon de vallée sur toute sa largeur et créent ainsi un bassin géologique artificiel étanche. (**Schleiss.A et Pougatsch.H 2011**).

-Les barrages sont divisés en deux en deux grandes familles, les barrages en béton et les barrages en remblais (fig.1).

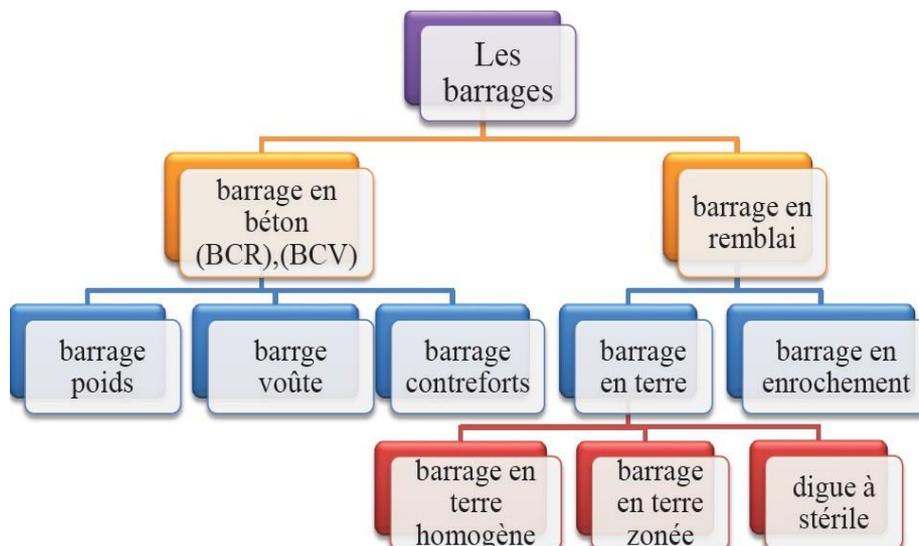


Fig.I-1 les différents types des barrages (Anton et als, 2011)

I.1-les barrages en béton :

Ces barrages subdivisent aussi en plusieurs types (fig.2)

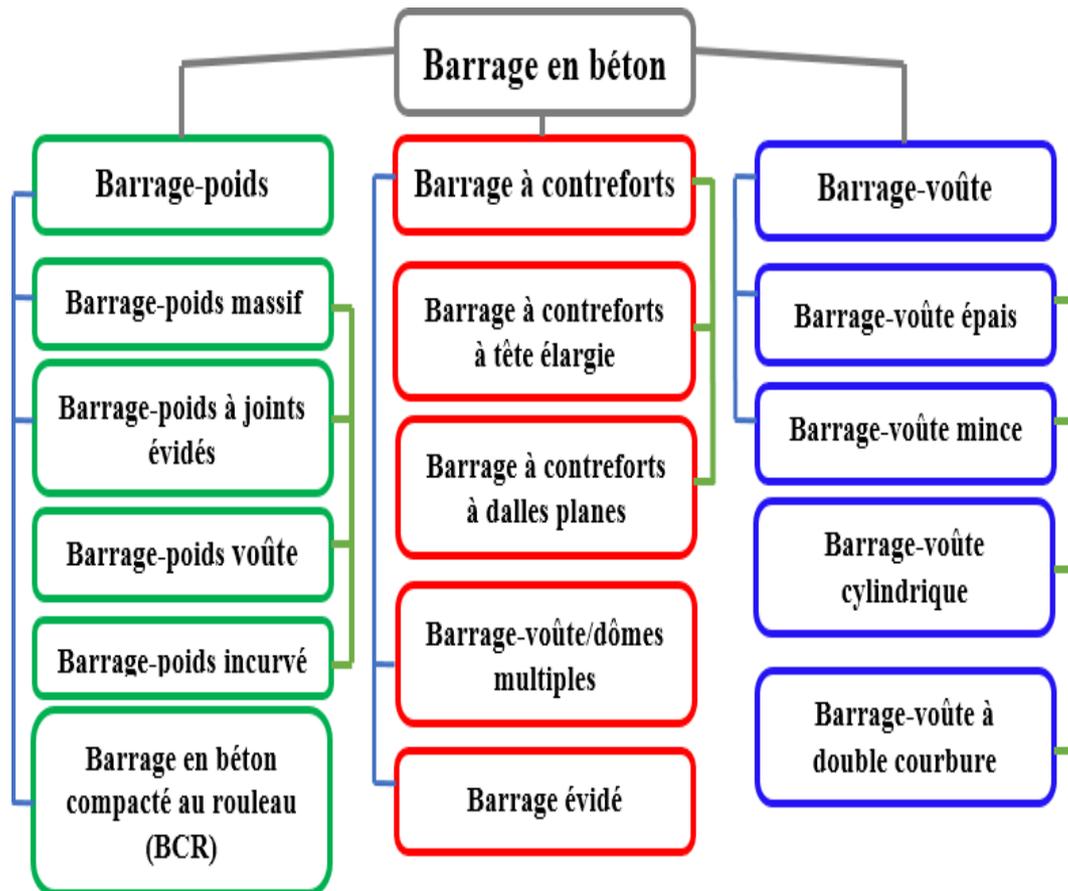


Fig.I-2Les différents types des barrages en béton (Anton et al, 2011)

I.1.1-les barrages de poids :

Le barrage-poids, comme son nom l'indique, résiste à la pression de l'eau par son propre poids (le poids propre s'applique au centre de gravité de l'ouvrage et dépend de la forme de celui-ci et de la densité moyenne des matériaux de construction). Les plots qui composent le barrage-poids sont des pièces pleines qui se juxtaposent. Il est possible de disposer des alvéoles entre les blocs pour conserver le béton. Nous parlons d'un barrage à poids creux dans cet exemple. Une autre option consiste à construire un barrage poids voûte dont la stabilité est assurée en partie par son propre poids et en partie par ses appuis de berge.

Les images suivantes montrent le profil type du barrage poids avec un exemple en Algérie (fig.3 et Fig.4).

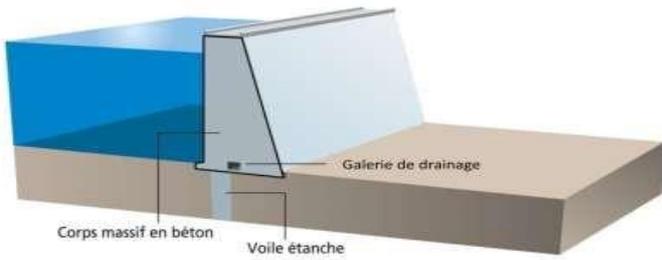


Fig.I-3 Coupe du barrage-poids



Fig.I- 4(*BéniHarounMila-Algérie*)

I.1.2-Les barrages contreforts :

Les barrages à contreforts sont constitués d'une succession de parois parallèles, de forme triangulaire, plus ou moins épaisse et espacées (les contreforts). Il est bien adapté aux vastes vallées à assise rocheuse de bonne qualité, car les contreforts leur transmettent la poussée de l'eau.

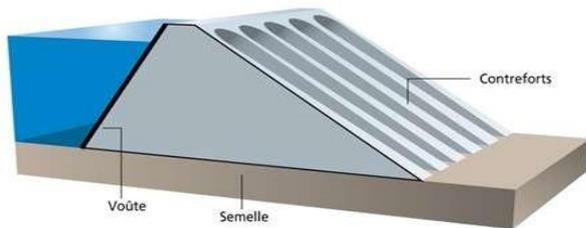


Fig. I-5 Coupe du barrage à contreforts



Fig.I- 6 (*Erraguene, Jijel-Algérie*)

I.1.3-Barrage-voûte :

Le barrage est constitué de murs en béton voûtés. La poussée de l'eau est transférée sur les flancs de la vallée. Les barrages ont parfois une double courbure verticale et horizontale. Cela peut économiser beaucoup de béton lorsque toutes les conditions nécessaires sont remplies.

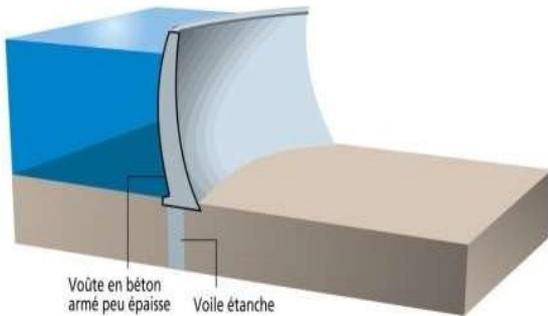


Fig.I-7Coupedubarrage-voûte



Fig.I-8 (TichyHaf Bejaia -Algérie)

I.2-Les différents types des barrages remblais :

Sous charge hydraulique, les barrages en remblai se comportent de manière plus souple. En raison des progrès de la mécanique des sols et de la géotechnique, qui sont couramment utilisés dans leur conception, ces barrages peuvent atteindre des proportions considérables car leurs constructions sont construites en terre ou en enrochement.

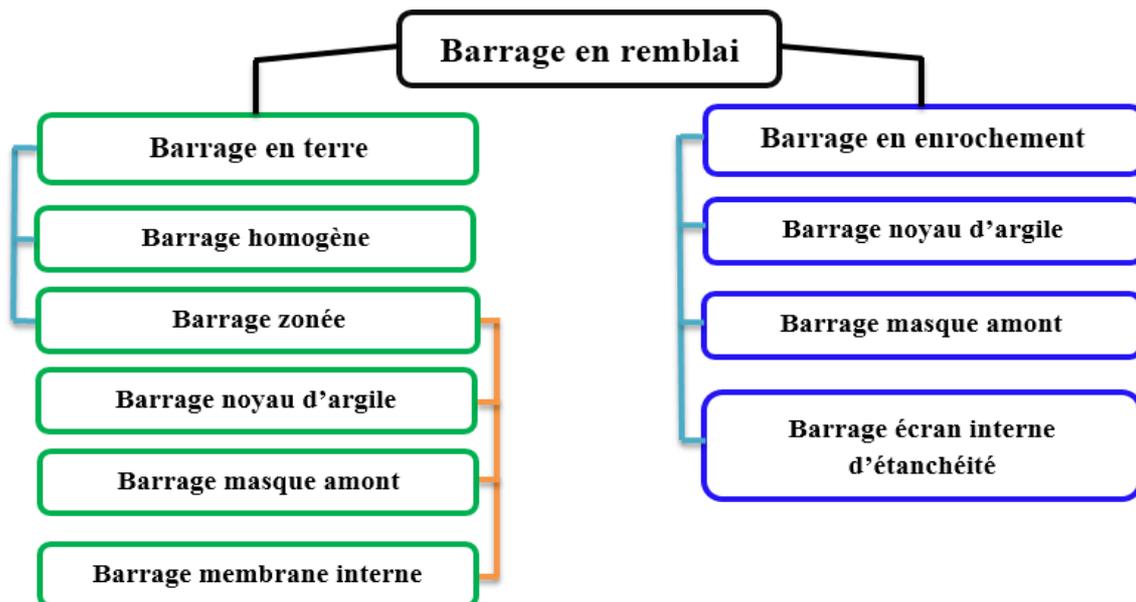


Fig.I-9 Les différents types de barrages en remblais (Anton et als, 2011)

I.2.1-Barrage en enrochement :

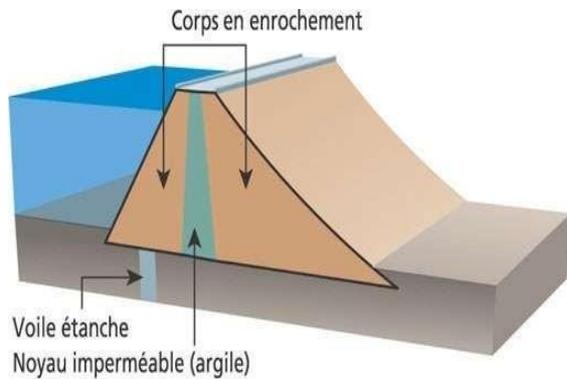


fig. I-10 : coupe d'un barrage enrochement

Fig.I-11 (*Deurdeur d'AinDefla-Algérie*)

I.2.2-les barrages en terre :

Contrairement aux barrages en béton ou aux barrages en pierre, les barrages en terre peuvent être construits à partir de divers matériaux. Il existe deux principaux types de structure de barrage en terre : le barrage homogène et le barrage zoné (**Manojlovicet Herment, 1992**).

I.2.2- a-barrage homogène :

Un barrage en remblai construit avec un matériau suffisamment étanche est dit barrage en terre homogène (argile, limon). Le premier type de barrage en remblai est celui-ci. Bien qu'il s'agisse de la forme de barrage la plus simple à construire, elle nécessite une protection et une zone de transition en amont ainsi qu'un drainage adéquat dans la partie aval de la digue. Un tel barrage nécessiterait une quantité importante de matériau argileux imperméable pour être construit. (**Le Delliou, 2003**).

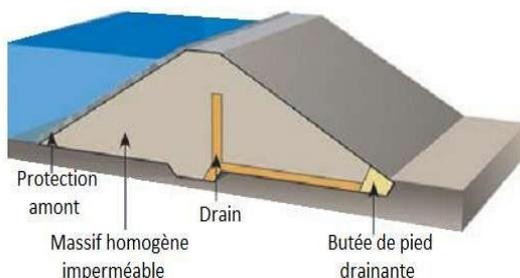


Fig.I-12:Coupe d'un barrage homogène

Fig.I-13 : (*Matemale-France*)

I.2.2-b-barrage zoné :

Les barrages zonés sont des structures de remblai construites avec une variété de matériaux conçus pour répondre individuellement aux besoins d'étanchéité et de stabilité (**Djemili, 2006**).

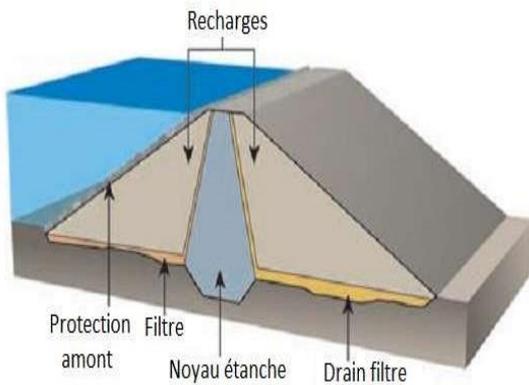


Fig.I.14 : Coupe d'un barrage zoné

Fig.I-15 : (*Lekhal Bouira–Algérie*)

I.2- les retenues collinaires:

Une masse d'eau artificielle créée dans un but précis, tel que l'hydroélectricité, le soutien à l'étiage, l'irrigation ou l'alimentation en eau potable, est appelée retenue collinaire. Ces masses d'eau sont généralement identifiées par une profondeur irrégulière, un niveau fluctuant (marnage) et une masse d'eau homogène générée naturellement ou intentionnellement par un barrage (digue) situé ou non sur un cours d'eau. Il peut présenter des caractéristiques telles que la stratification de la température et la croissance de la végétation qui sont similaires à celles d'un lac ou d'un étang. (**SANDRE, 2005**).



Fig I-16: Lac collinaire de Kamech au nord du Cap Bon en Tunisie (Albergel, 2001).

La Fig I.16 représente la retenue de Kamech située au nord de cap Bon en Tunisie. Elle à une Hauteur du barrage 10m ; volume du réservoir 142 560m³, surface maximale du lac 44500m²

Remarque : les retenues collinaires dépassants les 10 mètres sont considérées comme étant des petits barrages.

I.3-Historique de réalisation des petits barrages et retenues collinaires au monde :

Les premiers barrages sont nés des premières civilisations antiques, notamment dans la vallée du Nil, en Mésopotamie, en Chine et en Asie du Sud. Ce que les archéologues peuvent facilement trouver, ce sont bien sûr des traces de ces anciennes civilisations.

À la fin du XXe siècle, le nombre total de personnes détenues atteignait 45 000 personnes dans plus de 140 pays. C'est à cette époque que la plupart des barrages et réservoirs collinaires sont construits sur Les pays d'Amérique du Nord, d'Asie et d'Europe, tandis que les pays d'Afrique, d'Amérique du Sud et d'Océanie connaissent une croissance linéaire. En Tunisie, la réalisation des retenues collinaires a commencé depuis 1930 (**Venot et Krishnan, 2011 ; Riaux et al., 2014**) et depuis 1940 au Japon et à Taïwan (**Lin, 1978 ; Matsubayashi, 1991**). En Algérie et au la création de cette technique était en 1967 (**Albergel et al., 2001**).

Après les pays du nord de la Méditerranée, les pays d'Afrique du Nord et du Proche-Orient se sont lancés dans une politique de construction de petits barrages. Les objectifs de ces développements sont essentiellement la gestion et la protection de l'eau et des

sols, tout en protégeant les infrastructures en aval, et le développement de petits barrages et réservoirs a suivi des voies et des objectifs différents. Le premier point commun est la volonté politique de développer ce type de développement dans les années à venir. (Alberge et al, 2004).

I.4-historique des petits barrages et retenues collinaires en Algérie :

Les projets de développement impliquant la construction de réservoirs sont depuis longtemps une tradition algérienne. En conséquence, une ingénierie majeure a été réalisée depuis l'Antiquité et le concept moderne de stockage de l'eau a été mis en pratique très tôt. (Bersier, 1965 ; Roux 1965). Les irrégularités temporelles et spatiales des ressources en eau dans les régions arides expliquent en grande partie cette tradition. Le bon développement des ressources locales nécessite la construction de grands barrages, ainsi que la construction de nombreux réservoirs collinaires de petite et moyenne capacité. (Zerrouk et Zsuffa, 1988). Jusqu'à l'indépendance en 1962, l'Algérie n'a connu la priorité absolue des colons que pour les grands projets hydrauliques (14 barrages ont été construits entre 1830 et 1962). La construction de la première retenue d'altitude fut bientôt suivie en 1976 de plusieurs autres dates à Béni-Slimane (Bouira). Les résultats de l'entreprise se sont rapidement révélés décevants : envasement rapide, mauvaise utilisation de l'eau et coûts relativement élevés. (Alioui et al., 2015). Dans les années 60, les premiers réservoirs collinaires ont été construits, par exemple, dans la région montagneuse des forêts El Ksar et Haser, en utilisant des idées similaires. Les résultats concluants ont provoqué une augmentation de l'activité de construction. Ensuite, le Ministère de l'Environnement, des Eaux et Forêts a élaboré un plan de construction d'un certain nombre de réservoirs, prenant en compte des considérations de coût ainsi que la meilleure utilisation possible des réserves. En 1985, un groupe de recherche s'est penché sur De Bouira. Ainsi, les ingénieurs en charge de cette zone ont procédé à des relevés détaillés d'une quarantaine de réservoirs à flanc de coteau et ont préparé un ensemble de manuels qui serviront à la mise en œuvre du reste du programme national. Malgré les caractéristiques climatiques et sacrificielles de l'Algérie. (Zerrouk et Zsuffa, 1988).

Tableau I-1. Identification de quelques retenues collinaires en Algérie

Nom	Wilaya	Hauteur (m)	Volume mort (10 ⁶ M ³)	Capacité au Niveau normal (NNR)	Durée de vie (an)
Lecbour	BBA	17,8	0,25	0,9	20
Hamada	BBA	15	0,2	0,7	20
Boulardjm	Médéa	16	0,22	0,9	20
El Hammam	Médéa	19,5	0,3	1,2	20
SidiHamed	Blida	17	0,25	1,2	20
Amroussa	Blida	15,8	0,13	0,6	20
Merrakchi	Blida	19	0,15	0,6	20
Ben Yacoub	Djelfa	15,5	0,3	1,2	15
Kreireche	Djelfa	16	0,32	0,9	10
Djema	Ain defla	14,5	0,15	0,5	20
Brouziane	Ain defla	16,8	0,25	0,74	20

Source : (Benlaoukli, B., et Touaïbia, B. 2004)

I.5- Répartition et état des petits barrages en Algérie :

Depuis l'Antiquité, l'Algérie a beaucoup investi dans la construction de petits barrages et des réservoirs collinaires (Zerrouk et Zsuffa, 1988 ; Perennes, 1992). Aujourd'hui, l'Algérie compte plus de 445 retenues d'eau de montagne sur l'ensemble du territoire, la plupart d'entre eux se trouvent dans les zones agricoles arides ou semi-arides, en particulier dans le Nord (Mozas et Ghosn, 2013). Parmi celles-ci, Sétif compte 18 retenues de montagne dont 67 sont situées à Annaba, 83 ans à Tizi Ouzou, 21 détenus en province de Jijel (D.H.W., 2017), 313 retenues effectivement exploitées (situation de 2007), distribué dans tout le pays, A des projets de construction de 137 réservoirs Johor Bahru entre 2014 et 2017 sont en fin de construction (Mozas et Ghosn, 2013). Cependant, de nombreux réservoirs collinaires aménagés n'ont pas atteint les résultats escomptés, causer des pertes, des fuites et des contaminations (Bouziid, 2010), ainsi que la négligence d'études avant la construction de tels ouvrages (Zemliche, 2018).

I.6- Les principales caractéristiques des petits barrages et retenues collinaires :

I.6-1- Le volume de l'eau stocké :

Il doit être suffisant pour arroser et/ou Irrigation, en saison sèche.

I.6-2-La profondeur de la retenue :

La profondeur optimale doit être d'environ 5 m, par La hauteur d'eau minimale est de 4 m, ce qui est un bon compromis technique et économique. Plus important Une bonne profondeur améliore la qualité de l'eau et limite le développement des plantes envahisseurs aquatiques.

I.7-Les principaux objectifs des petits barrages et retenues collinaires:

Les retenues des petits barrages sont, selon les besoins, destinés à l'un ou à plusieurs des buts suivants :

I.7-1-Les objectifs écologiques :

- La construction de petits barrages en terre et de réservoirs collinaires a été proposée comme solution pour conserver les ressources en eau et en sol dans les zones rurales **(Bouteffeha, 2014)**.
- Les réservoirs collinaires contribuent à la mobilisation des ressources dans les domaines de l'eau et de la recharge des nappes phréatiques **(Bouwer, 2002; Sukhija et al, 2006)**.
- Les réservoirs collinaires ont également été crédités d'un rôle protecteur; ces infrastructures sont aussi appelées constructions anti-inondations **(Albergel et al, 2004 ; Cudennec et al, 2004)**.
- Les réservoirs collinaires assurent l'utilisation durable et lucrative des ressources en eau par conséquent, comprendre le fonctionnement hydrologique de ces réservoirs est essentiel **(Bouteffeha, 2014)**.
- La lutte contre la pollution.
- La récupération des eaux qui se perdent annuellement dans la mer et les sebkhas

I.7-2Les Objectifs économiques :

- La construction de réservoirs collinaires joue un rôle important dans le développement cultures irriguées (cultures irriguées)
- Le développement de petits périmètres irrigués.
- L'abreuvement du cheptel.
- La production d'énergie électrique locale.
- Le développement du réservoir catalyse même la retransformations des petits éleveurs, où l'eau est un facteur limitant **(Bouteffeha, 2014)**.

I.8- La gestion des petits barrages et retenues collinaires :

L'Algérie est active dans le domaine de la gestion intégrée de l'eau et de la protection des ressources en eau depuis plusieurs années, construisant un grand nombre de buttes pour l'irrigation et établissant des points de pâturage dans tout le pays. La politique nationale de l'eau, qui s'appuie sur les enjeux locaux de gestion des ressources en eau dans les bassins versants, permet de mieux comprendre et expliquer les problèmes liés à la quantité et à la qualité de l'eau. (**Gueddouet Mostefai,2018**). Dans un environnement semi-aride, nous développons les défis spécifiés aujourd'hui en La durabilité nécessite un diagnostic de l'utilisation de l'eau Échelles spatio-temporelles du temps (régions, saisons) (**Malézieux et al, 2001**). Les régions semi-arides de l'Algérie ont été dépassées comme les zones les plus affectées par le changement climatique et compte tenu de la rareté des terrains pour la construction de barrages et les coûts d'investissement ont entraîné la construction des réservoirs de montagne et permettant à la population de la région préoccupée par l'eau à des fins diverses en saison sèche (agricole, pastorale et domestication). La plupart de ces retenues qui ont été construite sans aucune maturité et aucune gestion a été établie.

I.9- Les problèmes qui menacent les petits barrages et les retenues collinaires :

Les petits barrages et retenues collinaires se sont des ouvrages qui se trouvent toujours en face des risques naturels et problèmes techniques qui menacent leurs stabilités. Parmi ces risques on cite.

I.9.1-L'envasement:

L'apport solide transporté par les canaux d'eau qui viennent alimenter les réservoirs par les matières en suspension génère souvent le processus d'envasement. Lorsque la capacité d'un réservoir diminue, il coule de plus en plus vite. Par rapport aux matières solides charriées par le fleuve qui l'alimenté. Les barrages modifient les conditions d'écoulement de l'écoulement solide, qu'ils soient grands ou petits. Pour une utilisation comme benne ou en transit suspendu. Les étapes de la création de l'envasement dans les réservoirs de barrage sont

énuméréesci-dessous.

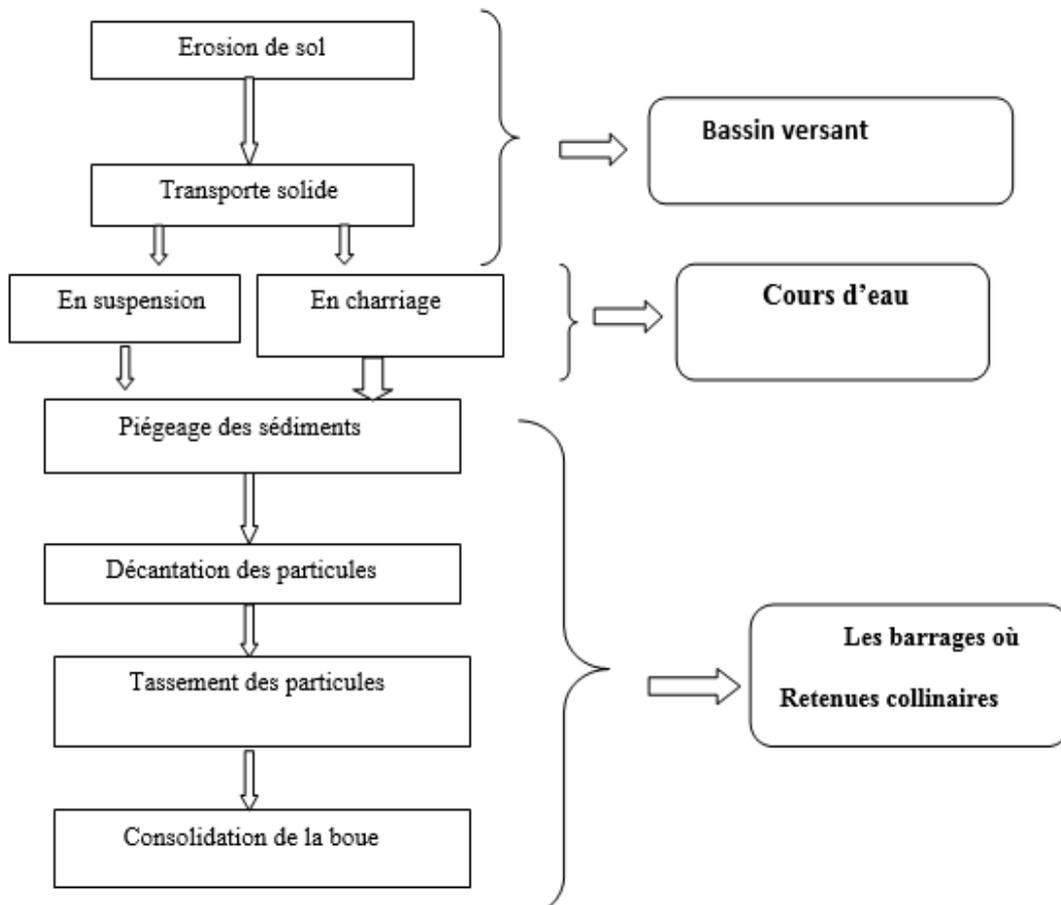


Fig.I.16 Processus d’envasement des barrages (Remini, 1990)

Tableau I.2. Etat d’envasement de quelques barrages d’Algérie. (Abdelkader Hadadi (2004)).

Barrage	Année de la mise en service	Volume initial (Hm3)	Envasement moyen annuel (Hm3)	Perte de volume %
Oued El Fodda	1932	228	2,31	71
Ghrib	1939	280	3,2	72
IghilEmda	1953	155	1,33	42
Boughezoul	1934	55	0,66	81
Derdeur	1984	110	1,05	25
Taksebt	2001	175	0,27	-
Keddara	1986	145,6	0,05	2,2
ELhamiz	1979	21	0,35	26
Bouroumi	1985	188	0,8	3,4
Meurad	1861	1,2	0,005	83,3
Boukourdane	1992	97	0,21	-

I.9.2-Rupture des barrages et les retenues collinaires :

Aujourd'hui, il y a environ 60 000 barrages en production dans le monde Hydroélectricité (CIGB, 2017), Approvisionnement en eau ou régulation des voies navigables. Comme Tout génie civil, les barrages peuvent échouer en toute sécurité, ce qui Des accidents plus ou moins graves peuvent en résulter. Taux de rupture annuel moyen Tous les barrages construits dans le monde sont environ 3, alors que Les événements sont de 2 à 7 fois plus importants selon le type de structure. Donc si on leur donne une durée 100 ans de vie 4 barrages sur 1000 s'effondreront. Capacités de réalisation de structures de génie civil Les rôles et fonctions qui lui sont destinés sont appelés propriétés. Les performances d'un système de génie civil sont amenées à évoluer au cours de son exploitation cycle de vie complet : les éléments initialement prévus pendant la construction peuvent. Modifié volontairement par l'opérateur, même accidentellement suite à des événements Aspect naturel et dommages pouvant détruire sa fonction d'origine (**Rahmani, 2011**).

Trois raisons principales peuvent entraîner une dégradation des performances :

- Le vieillissement de l'infrastructure,
- Les causes humaines s'exerçant par erreur
- Les causes extérieures prévues ou imprévue

I.9.2-1 Causes de rupture :

Le phénomène de rupture de barrage correspond à une rupture partielle ou totale La cause du barrage peut être une variété de conséquences, combinées compliqué. Les différents motifs de rupture sont :

A /Causes techniques :

Ils peuvent conduire à une défaillance structurelle peut vieillir Manque d'entretien des matériaux et de l'installation, panne de vanne Permet l'évacuation de l'eau en bloquant les dispositifs d'évacuation des crues (déversoirs ou vannes) et le manque d'équipements pour surveiller le comportement Travailler. Le type de barrage, les matériaux utilisés, la nature et l'âge de la fondation le travail a également eu un impact sur l'émergence de ces problèmes (**Marche, 2008**).

B /-Causes naturelles :

Tremblements de terre, inondations catastrophiques, glissements de terrain sur appuis de barrage, Effondrement du réservoir ou avalanche due à une montée soudaine du niveau d'eau du réservoir l'eau, qui déborde soudainement vers le haut de la structure (**Paquier, 2002**)

C /-Causes humaines :

L'erreur humaine peut également être la cause d'accidents, comme la recherche Prérequis insuffisants, contrôle exécutif insuffisant, erreurs Exploitation, supervision et maintenance inadéquates ou comportement malveillant (**Marche, 2008**).

I.9.2-2 Types de ruptures :

Le risque de rupture brutale et accidentelle est considéré comme très faible, voire nul. Ce La rupture semble liée à une évolution plus ou moins rapide de la dégénérescence Structures pouvant être détectées par surveillance et auscultation

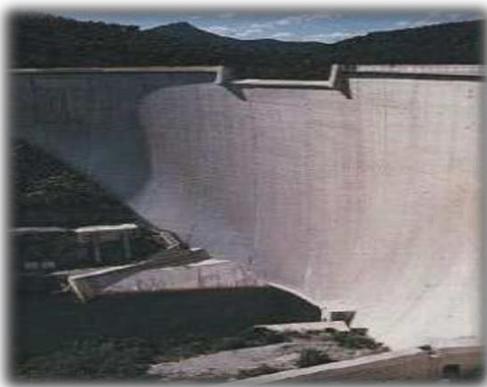
A/-Rupture instantanée ou graduelle :

Les ruptures de petit barrage et les retenues collinaires sont rarement instantanées. Soit pour les barrages en béton ou les remblais, les barrages développent souvent des fissures, Cela augmente progressivement. Ainsi, la libération de l'eau est progressive. Ce Le processus de rupture d'un barrage ou d'une digue a fait l'objet de plusieurs études étudier sa dynamique. Il s'agit encore d'un processus complexe et, en général, nous allons Supposons que le volume d'eau soit libéré instantanément : c'est ce qu'on appelle un effacement de barrage. Cette hypothèse va dans le sens de la sécurité, mais conduit à un risque accru L'hydraulique causée par les vagues de crue, en particulier les digues (qui sont majoritaire) ; pour les digues, on observe que la largeur L de la brèche est généralement située à la fourche où $hb \leq L \leq 3hb$, où hb est la hauteur du barrage. Le temps qu'il faut pour former un défaut varie considérablement (de plusieurs minutes à heures) en fonction du matériau et de la cause de la panne (**Marche, 2008**).

En Suisse, l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) recommande cette scène de rupture (**Bischof et al, 2002b**): (**BELHADDAD, H. (2018)**). p

- Pour les barrages-voûtes et barrage-poids : rupture totale et instantanée de tout le barrage

(a)



(b)



Fig I-17:Barrage Malpasset avant (a) et après (b) sa rupture (Schleiss A.J. et Pougatasch H. 2011).
- Pour les digues : formation d'une brèche de forme trapézoïdale de base égale à deux fois la hauteur d'eau et avec une pente de talus de 1:1 (en veillant que la surface ne soit pas plus grande que la digue elle-même).



(a) Vue sur le barrage de Teton(USA) avant

(b)Rupture du barrage

FigI-18 : Rupture de barrage en terre. Le barrage de Teton (Idaho, États-Unis, 1976), (Schleiss A.J. et Pougatasch H, 2011).

B /-Rupture total :

Dans le cas d'une instabilité universelle du corps de remblai, une rupture massive du barrage pourrait se produire. Lorsque les trois éléments suivants se réunissent lors d'un tremblement de terre, on pense qu'une défaillance massive peut se produire. (Bouaicha, 2013):

- Profil de digue étroit avec pente de talus forte
- Piézométrie élevée dans la digue en absence de drainage
- Faibles caractéristiques mécaniques des matériaux



Fig I-19:La rupture du barrage de Bouzey (Deroo L.2011).

I.9.3-Erosion hydrique :

I.9.3-1-Définition :

L'érosion hydrique est un phénomène complexe qui est influencé par un certain nombre d'éléments, notamment la géographie, le climat, le sol, l'aménagement paysager et les activités culturelles. Il se produit après de fortes pluies sous la forme d'un orage bref et violent.

Observé lors des transitions saisonnières (automne et printemps) ou après une série de fortes pluies qui trempent la terre au fil du temps dans ces deux cas, les mers de Parce que la pluie ne peut plus pénétrer dans le sol, elle s'enfuit en emportant les particules avec elle. Terreux. Le rejet de l'infiltration du sol se produit lorsque la capacité du sol à absorber l'eau est réduite. Est dépassé Le premier type de ruissellement est appelé ruissellement. Hortonian, qui se produit lorsqu'une personne refuse de faire quoi que ce soit.



Photo I-20:«coulée boueuse» en limite de parcelle; (Y.LeBissonnais)

Ces deux types de ruissellement se produisent à des moments différents et sont liés.

Cependant, une combinaison des deux formes de ruissellement peut être observée dans le même bassin versant en raison de facteurs environnementaux.

L'érosion est un processus de déracinement et de déplacement de particules déclenché par le débit d'eau. L'érosion se présente sous diverses formes. L'érosion de l'aquifère, également connue sous le nom d'érosion diffuse (Interrill), l'érosion en rigoles, parfois appelée érosion linéaire (rill), et l'érosion en ravines sont trois types d'érosion (ravins). L'érosion linéaire se traduit par de petites incisions linéaires à la surface des champs ou des parcelles. Elle se produit lorsque le ruissellement laisse des griffes (centimètres) ou des rigoles (quelques décimètres) dans le sol.

L'érosion est un problème qui a un impact important sur l'écosystème méditerranéen. Plusieurs causes contribuent à la détérioration des sols et au transfert de matières solides dans les bassins de cette partie du monde. Nous pouvons faire la différence entre :

-Les facteurs géologiques : les orogènes du tertiaire Qui ont affecté tout le pourtour méditerranéen. Elles ont construit des reliefs importants. La tectonique récente provoque une remontée qui est à l'origine du rééquilibrage des profils longitudinaux des cours d'eau dans les sens de leur approfondissement.

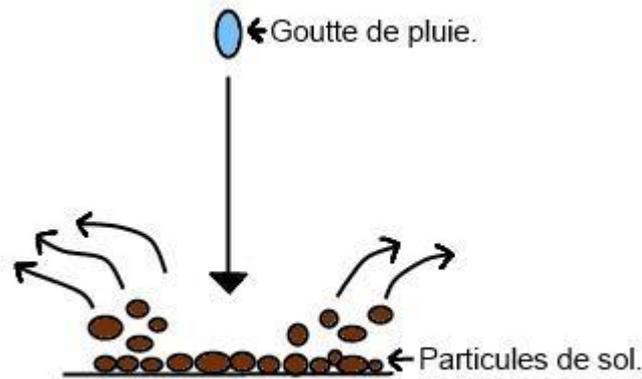
- ✓ Les facteurs pédologiques: les sols qui résultent d'une pédogenèse récente sur un matériel marno-calcaires sont peu consolidés et se désagrègent facilement. Leur pauvreté en matière organique ne leur permet pas de résister à l'agressivité des pluies (sol à faible structure).
- ✓ Les facteurs climatiques: la pluviogenèse régionale en Méditerranée met en œuvre des orages très violents. Ils résultent du refroidissement brutal des masses d'air chaud formées sur la méditerranée et bloquées sur les continents par les reliefs en bordure des côtes
- ✓ Des facteurs anthropiques: le bassin versant méditerranéen a été occupé par des civilisations agricoles les plus anciennes. Le déboisement et les défrichements sont anciens. Elles privent les sols d'une protection contre l'érosion (**Bou Kheir et al; 2001**).

I.9.3-2-Mécanismes de l'érosion hydrique :

Le processus de l'érosion hydrique en milieu agricole se produit suivant les deux formes principales suivantes:

1-L'impact des gouttes de pluie provoque la séparation des particules de sol.

Ils décomposent les agrégats du sol en particules plus petites, entraînant la production d'une croûte superficielle de quelques millimètres, également appelée croûte battue. L'infiltration d'eau dans le sol est considérablement réduite grâce à ce dernier. L'excès d'eau s'accumule à la surface (formant des flaques d'eau) puis s'écoule, entraînant avec elle de la terre et des particules nutritives. (Bissonais et 1998).



FigI-21.:Effet des gouttes de pluies (effet de splash)

2-La force de traction des écoulements est liée au second type de décollement. Les incisions paraissent linéaires, plus ou moins espacées, selon la capacité de transport du ruissellement, et sont appelées rayures, ravines ou ravines, selon leur taille. Elles sont causées par des activités agricoles ou sont inhérentes à des anomalies topographiques.

L'importance du débit de décollement est alors influencée par les caractéristiques de l'écoulement (vitesse, débit de pointe), la résistance à l'arrachage du sol et la concentration en matières en suspension (MES) des eaux de ruissellement.

(Bissonais et al, 1998).



Photo I-22: réseau de rigoles creusées en hiver; **Y.LeBissonnais**

I.9.3-3-Les différentes formes d'érosion en milieu méditerranéen :

Les nombreux types d'érosion sont déterminés par la force, la durée et les propriétés de la pluie, ainsi que les caractéristiques du sol, les activités culturelles et la pente du terrain. De multiples phénomènes surviennent en fonction de la mixité et de la localisation spatiale des deux processus de détachement. Ils sont divisés en plusieurs groupes :

1-L'érosion en nappe est également appelée érosion Interrill ou érosion en nappe. Il s'agit d'un pelage sélectif plus ou moins homogène de la couche superficielle du sol. Elle est souvent imperceptible et affecte surtout les particules fines du sol (argile, limon et matières organiques). ; **(Le Bissonais et al, 1998)**.

2-L'érosion en rigoles (rill) est caractérisée par des rigoles sur la couche superficielle du sol. Ils sont pour la plupart quasi-parallèles, avec une forte densité mais une taille et une profondeur réduites (quelques décimètres). **(Le Bissonais et al, 1998)**.

3-De larges incisions, parfois profondes, très espacées, et systématiquement localisées au niveau des chenaux de la collection ruissellement caractérisent l'érosion ruissellement concentrée.

4-le ravinement: Il est observé à la suite d'un ruissellement concentré. Les facteurs qui influencent le ravinement sont :

- le volume ruisselé (fonction de la surface du bassin, du degré de saturation des sols et leur capacité d'infiltration, de l'intensité et de la hauteur des pluies

- la vitesse du ruissellement (fonction de la pente, de la rugosité des surfaces, les aménagements),

-la résistance du sol au cisaillement (**ROOSE.; 1991**).

5-L'érosion mécanique sèche est une technique méconnue qui ne nécessite pas de pluie. Le décapage des sommets des collines et l'accumulation d'humus noir en pied de versant sont provoqués par un mouvement de masse lent des horizons superficiels sous la pression des instruments de travail du sol. (**ROOSE.; 1991**).

6-Sans tri des matériaux, les mouvements de masse entraînent un décapage des pentes, des glissements de terrain et un transport de masse important. (**ROOSE.; 1991**).

I.9.3-4 Facteurs physiques favorables à l'érosion hydrique :

L'érosion hydrique, qui est un problème dans les sols méditerranéens, est causée par une variété de sources. Ces derniers sont plus ou moins les mêmes partout dans le monde. Les principales caractéristiques sont données ci-dessous, en commençant par la géographie et en passant par l'utilisation des terres, les pratiques culturelles et le climat, selon une analyse bibliographique.

A- La topographie :

La tectonique d'un paysage à la topographie accidentée de l'arrière-pays méditerranéen. Le plongeon alpin s'est traduit par l'émergence de chaînes de montagnes atteignant jusqu'à 3000 ou 4000 mètres d'altitude, fortement plissées et fracturées. et creusées de vallées encaissées fréquemment. De ce fait, le pentagramme est fréquemment utilisé. Fortes. Il est largement reconnu que la pente est l'un des facteurs les plus importants influençant les pertes financières. Sable érosif hydrothermal L'affichage des sous peut être significatif, puisque Le taux d'évaporation est très élevé parmi ceux exposés au sud qui ont une couverture végétale mince élevée (**Posen et al, 1998**). Sur les pentes concaves, l'érosion est la moins intense (**D'Souza et Morgan, 1976; FAÜ, 1976**) et sur les pentes convexes la perte en terre est plus grande que sur les pentes rectilignes. La longueur de la pente est moins importante que son gradient et sa forme (**Roose, 1994 ; FAO, 1983**).

B- La végétation :

Lorsqu'il y a peu de couverture végétale ou de résidus sur le sol, le risque d'érosion augmente. Les résidus et les plantes permettent au sol d'être influencé par les gouttes de pluie et les éclaboussures, et ils ont tendance à empêcher l'écoulement de l'eau de la surface. Permettre une plus grande absorption et réduire le ruissellement

Le type, l'étendue et la densité de la couverture de végétation et de résidus affectent l'efficacité de la couverture de végétation et de résidus à réduire l'érosion. Lorsque la végétation et les déchets recouvrent entièrement le sol, la pluie est interceptée et la perte de sol est réduite (forêt et pâturages permanents). Les résidus partiellement absorbés et leurs racines sont également importants car ils facilitent la pénétration.

C -La lithologie :

La présence de roches et de leurs structures fournit des informations importantes sur l'environnement. Capacité d'infiltration dans les zones occupées par les roches et les sols En conséquence, la quantité de sol susceptible d'être érodée (**Kynine et Judd, 1957; FAO; Demmak, 1982**). La sensibilité à l'érosion est une mesure de la capacité d'un sol à résister à l'érosion en fonction de ses propriétés physiques. Les sables, le loam et certains sols argileux s'érodent plus lentement que les limons, le sable fin et les sols argileux. Parce que les roches affleurantes ont une faible pénétration, un énorme volume de sol peut être importé. Les sols marneux ne sont pas érodables lorsqu'ils sont secs, mais leur sensibilité au détachement et au ruissellement augmente lorsqu'ils atteignent un niveau d'humidité particulier. (**Chebbani et al; 1999**). Les argilites, les marnes, les schistes, les basaltes et les gneiss sont très vulnérables au ravinement (**Roose.; 1994**). En Algérie, **Demmak (1982,1984)** a montré que les transports solides d'un bassin versant dépendaient de sa surface en roches de différents types (argileuses, marneuses, schisteuses, ...ect)

D-Les pratiques culturales :

Les activités humaines qui augmentent ou diminuent les pertes de sol ont un impact substantiel sur l'intensité de l'érosion hydrique des sols méditerranéens. (**Bou kheir et al; 2001**). De plus, les catastrophes naturelles telles que les incendies détruisent les forêts existantes, entraînant une augmentation du ruissellement et de l'érosion.

Parce que le risque d'avoir un sol nu lors de fortes pluies (mauvaise ou pas d'interception des gouttes de pluie) augmente en raison de la culture du sol, le sol devient plus vulnérable à l'érosion. Elle est déterminée par les caractéristiques de la plante cultivée ainsi que par les procédés de culture. Les opérations de culture ont un impact sur le risque d'érosion des sols. Celui-ci contient la profondeur, la direction et le temps de labour, ainsi que le type d'équipement et le nombre de passages.



Photo I-23 : «coulée boueuse » au sein d'une parcelle; (**Y.LeBissonnais**)

E-Les sols :

Voici les principales propriétés du sol qui influent sur le degré de vulnérabilité à l'érosion hydrique : la profondeur, la pierrosité, la granulométrie et la teneur en matière organique sont tous des facteurs à prendre en compte. (**Roose et al; 1993**). La nature minéralogique des argiles (**Auzet, 1987, Y.le Bissonais et al, 1995**) l'infiltrabilité (Papy et al, 1995) et la cohésion (**Mériaux, 1961**).

La région méditerranéenne présente une large gamme de types de sols. On distingue plusieurs catégories, dont les sols à texture grossière moins sensibles à la séparation des pluies, et les horizons sableux dépourvus de matière organique qui se déposent, permettant au ruissellement de devenir aussi intense que celui observé sur les sols argileux. Il y a aussi une distinction à faire entre les sols limoneux et limono-sableux, tous deux sujets à l'érosion hydrique. Les sols à texture fine, en revanche, sont moins sensibles à l'érosion que les sols limoneux car leurs agrégats sont plus stables ; cependant, cela change en fonction du type d'érosion. Dans l'horizon superficiel de plus de 60% des sols méditerranéens, on trouve des particules de roche (**Posen, 1990**). Ces pièces diminuent l'érodabilité en offrant une protection contre l'impact des gouttes de pluie et en réduisant la vitesse du ruissellement, réduisant ainsi la capacité du ruissellement à se détacher et à se déplacer (**Posen et al, 1994**).

F-Le climat :

Le climat méditerranéen est caractérisé par des températures extrêmes. Lors des changements de saisons, les pluies orageuses et les événements violents se produisent rarement (automne et été). L'intensité de ces pluies est élevée (**Obbed et Tourasse, 1994; IGN, 1995**) qui atteignent de 130mm/24h au Liban (Taraya, 1998), 298 mm mm/24h en Grèce (**Groove, 1996**), 400 mm/24h en Italie (**Giordano, 1986**), 790 mm/24h en Espagne (Lopez-Bermudez et Romero Diaz, 1993) et même 400 mm pendant moins de 4h dans la région de Nîmes au sud de la France. De plus, la variabilité des précipitations est très grande d'une année à une autre. Ces averses, tombant sur des sols déjà saturés, sont à l'origine de la formation des ravines, des mouvements de masse et des inondations (**Allée, 1984 ; Gallart et Clot et Perrarnau, 1998 ; Garcia-Ruiz et al, 1994**).

I.9.3-5-Les types d'érosion dans les barrages et les retenues collinaires :**A-Érosion interne :**

L'érosion interne est un processus impliquant la déchirure des particules et son Transport dans un barrage ou sa fondation. Cela peut conduire à une instabilité structurelle. Ce Les fractures d'érosion interne et de recyclage hydraulique représentent un peu plus de la moitié Ruptures de digues entre 1950 et 1986, à l'exclusion faire des réserves. C'est la première source d'accidents d'ouvrages hydrauliques dans mon pays la terre (**CFGB, 1997**).

Le mode de rupture de l'érosion interne affecte la fondation et Remblai, y compris noyau de scellement. Il peut également se propager du remblai à Base. En 1986, 65 % de l'érosion interne s'est produite dans Remblai, 30 % dans la fondation, 5 % du barrage à la fondation (**Foster et Fell, 2000**).

Les processus d'érosion interne sont identifiés et sont :

- Érosion rétrograde : détachement des particules de sol, causé par l'érosion rétrograde cathéter
- Érosion inverse : perte de particules de sol causée par l'érosion inverse cathéter
- Suffusion: érosion sélective de particules fines depuis une matrice de particules grossières.
- Érosion de contact : érosion sélective de particules fines au niveau du contact avec une couche plus grossière.

B-Érosion externe :

Il est produit par le cycle de l'eau, même le petit cycle de l'eau au sommet de la montagne endiguer. Le mécanisme d'érosion commence au bord aval de la crête et continue à se développer jusqu'à ce que la brèche soit ouverte. Ce phénomène peut durer de quelques minutes à plusieurs heures dépendent de la taille des matériaux, de leur cohésion, du revêtement et de la hauteur des arêtes eau qui coule dans un barrage (**Mériaux et al, 2004**).

Érosion à l'extérieur de la rivière, les remblais peuvent être endommagés l'influence du débit d'eau peut entraîner l'érosion de son fond. Résultat affaiblissement et renforcement des propriétés mécaniques du corps principal du remblai la pente du talus. Cela provoque le tassement du matériau des perturbations hydrauliques sont créées sous forme de tourbillons et d'érosion. En raison de la rupture continue du remblai, des fissures peuvent se former et entraîner une rupture complète du remblai levage. La cause principale qui aboutit à la rupture par érosion externe est le tassement entraînant la submersion de l'ouvrage (**Fry, 2004**).

Les facteurs qui peuvent contribuer à l'apparition de ce phénomène sont au nombre de trois (**Mériaux et al, 2004**) :

. Vitesse moyenne de l'eau. Par conséquent, les digues et ceux qui se trouvent dans la partie étroite du lit principal sont particulièrement vulnérables

- Les perturbations hydrauliques locales
- La nature et la protection du talus côté fleuve.

I.9.4-Fissures longitudinales :

Les fissures longitudinales se produisent principalement dans la zone supérieure. La formation de grandes fissures longitudinales peut être due à la contrainte de traction qui en résulte à la surface. La déformation de cisaillement du glissement provoque également une telle rupture. Une autre cause de fissures longitudinales est le tassement irrégulier du noyau ou fondation, ce qui est plus susceptible de se produire lorsqu'il n'y a pas de fondation sédiments fluviaux meubles uniformes ou non fouillés (**Siyahi et Arslan, 2008**).

I.9.5-Fissures transversales :

Les fissures transversales se composent de quatre types (**Siyahi et Arslan, 2008**) :

. Des fissures se forment près des deux extrémités du remblai en raison de la différence Caractéristiques de vibration dans le remblai

- Les fissures formées en raison de la consolidation différentielle dans le barrage
- Des fissures dues à un tassement différentiel de la fondation

I.9.6-Glisement du talus du barrage :

Le glissement est un type important de dommage qui peut survenir dans les barrages en terre affectés par le mouvement du sol dû aux tremblements de terre. Recherche la stabilité des pentes amont et aval est une partie importante de la conception des barrages en terre. Différentes situations doivent être étudiées en tenant compte de l'état de la pression interstitielle À l'intérieur du remblai. En fait, nous allons calculer le facteur de sécurité le long du cercle En supposant un glissement :

Pendant la construction et peu après la construction

Lorsque le barrage vient d'être rempli (avec percolation permanente)

Lors d'une vidange rapide

La stabilité de la pente des barrages en terre est généralement évaluée par la formule suivante

Résistance au cisaillement des sols et critère de Mohr-Coulomb. Les raisons de la rupture

Le glissement dans les tremblements de terre est une perte de stabilité due à l'augmentation de la pression manométrique (**Fry, 2004**).

I.9.7-Liquéfaction :

Le phénomène de liquéfaction est appelé liquéfaction statique ou Lorsque la charge à l'origine de ce phénomène est monotone ou Circulaire. La liquéfaction statique se caractérise par des pertes massives et soudaines Résistance au cisaillement du sol. Il s'agit d'un phénomène typiquement instable Les matériaux granulaires, tels que le sable, meuble et saturé, ont tendance à Se rétracte sous le cisaillement du drainage. Dans des conditions non drainées, cette tendance peut conduire à une augmentation de la pression interstitielle entraîne une diminution de la contrainte Efficace. La véritable liquéfaction cyclique caractérise les sables lâches et très lâches prestataire. Il s'agit d'un mécanisme similaire à celui observé sous un chargement monotone, et Défini comme l'augmentation progressive de la pression interstitielle au cours du cycle Chargement-déchargement (sismique) sans augmentation significative de la déformation. Lorsque la pression interstitielle est égale à la contrainte moyenne effective initiale, une chute soudaine de la résistance au cisaillement accompagne le développement de déformation rapide et importante (**Bousaid, 2004**).

I.9.8-Risque de l'instabilité de la digue :

Ce risque est étudié dans les documents géotechniques caractérise les différents sols et D'un point de vue mécanique, forment la base du remblayage. Les calculs de stabilité sont effectués dans plusieurs configurations, y compris La configuration de la fuite a entraîné une saturation

inattendue du sol de la digue. Le suivi géotechnique du projet permettra de vérifier la conformité du matériau de remblai (**Samir, B.2017a**).

I.10 -Cas de rupture de barrage en Algérie :

Le barrage de Fergoug est une structure de maçonnerie de 35 pieds de haut. Réalisé en 1871 et conçu pour une lame réversible de 1,60 m (500 m³ /s) (**Deroo et Jimenez, 2011**).

En Algérie, deux barrages ont cédé selon Recensement réalisé par la Commission Internationale des Grands Barrages (CIGB). Ceux-ci sont deux accidents au barrage de Fergoug à Mascara, survenus à l'époque coloniale 1881 et 1927.

Il subit successivement deux crues importantes :

Le premier (1872, 700 mètres cubes/s) L'utilisation d'une lame de 2 m peut causer de graves dommages et cassures une partie du déversoir Deuxième (1881, 850 mètres cubes/s) Charger la rive droite de l'ouvrage avec des pales de 2,25 m. 250 personnes se sont noyées et des ponts et des maisons ont été emportés par des vagues agitées. La reconstruction du barrage a duré deux ans, de 1883 à 1885 (**Bouhali, 2006**). Une nouvelle inondation en 1927 a confirmé la destruction ultime du barrage. Cette rupture s'est produite lors d'une crue, avec le réservoir initial quasiment vide et un niveau d'eau maximal de 3,85 m au-dessus de l'évacuateur de crues, niveau maximal jamais atteint à aucun autre moment. La brèche a commencé au déversoir (rive gauche) et s'est propagée sur le reste de la rivière. Puis la maçonnerie s'est étendue sur la rive droite.

Trois quarts d'heure après l'annonce de la rupture du barrage, des eaux torrentielles se déversent sur Mohammedia, entraînant avec elles le pont métallique, les locomotives et les wagons de la voie ferrée. Les routes ont été coupées et les vergers ont été déracinés. Les récoltes ont été détruites Une cinquantaine de maisons n'ont pas résisté à la pression et se sont effondrées. L'eau boueuse atteint une hauteur de deux mètres dans les rues. Pendant la conversation téléphonique Il n'y avait aucune mention de l'ingénieur du barrage, mais il y avait mention du fait que l'accident s'est produit pendant la journée. A Mohammedia, il n'y a pas eu de victimes. Cependant, quelques personnes se sont noyées dans les plaines (**Deroo et**



Jimenez, 2011).

Fig I-24 ruine du barrage de Fergoug (1881) **Fig. I-25** ruine du barrage de Fergoug (1927)

I.11 Conclusion

Le phénomène d'érosion hydrique ne cesse pas à menacer la sécurité des barrages et retenues collinaires dont le taux d'envasement est très inquiétant ces derniers temps surtout avec la sécheresse. Il dégrade aussi les terres agricoles et les bassins versants, chose qui exige de penser sérieusement au moyen de lutte contre ce fléau.

Chapitre II.

Présentation de la zone d'étude

II.1.Introduction

Ce chapitre sera consacré à la présentation de la zone d'étude dans laquelle nous allons décrire sa localisation géographique, sa potentialité hydrique et ces caractéristiques hydro climatologiques ainsi que la géomorphologie, physiographie et hydro morphométrie du milieu étudié.

La wilaya de Tissemsilt s'étend sur une superficie de 315 137 Ha, elle est répartie en trois zones bien distinctes :

- Zone des plaines au sud : représente un quart (1/4) de la superficie du territoire ;
- Zone de piémont de transition au centre d'un tiers (1/3) du territoire a une pente modérée ;
- Zone de montagne : au nord qui relève les monts de l'Ouarsenis occupe 44% de territoire de la Wilaya, soit 140 000 Ha.

II.2. Présentation de la région d'étude**II.2-1-Situation géographique**

La wilaya est située sur les hauts plateaux ouest. Elle est limitée par :

- Au Nord, par les wilayas d'Ain Defla et Chlef.
- A l'Est, par la Wilaya de Médéa.
- A l'Ouest, par la wilaya de Relizane.
- Au Sud-ouest, par la Wilaya de Tiaret.

Le chef-lieu de la wilaya est située à 220 km à l'Ouest de la capitale, Alger

Le territoire de la wilaya est constitué des zones montagneuses qui représentent 65% de sa surface globale, le reste est occupé par les hauts plateaux et dans une moindre mesure les steppes.

Le barrage de Mghila est situé dans la commune de El alune, au nord-est de la wilaya de Tissemsilt comme le montre la figure.II.1

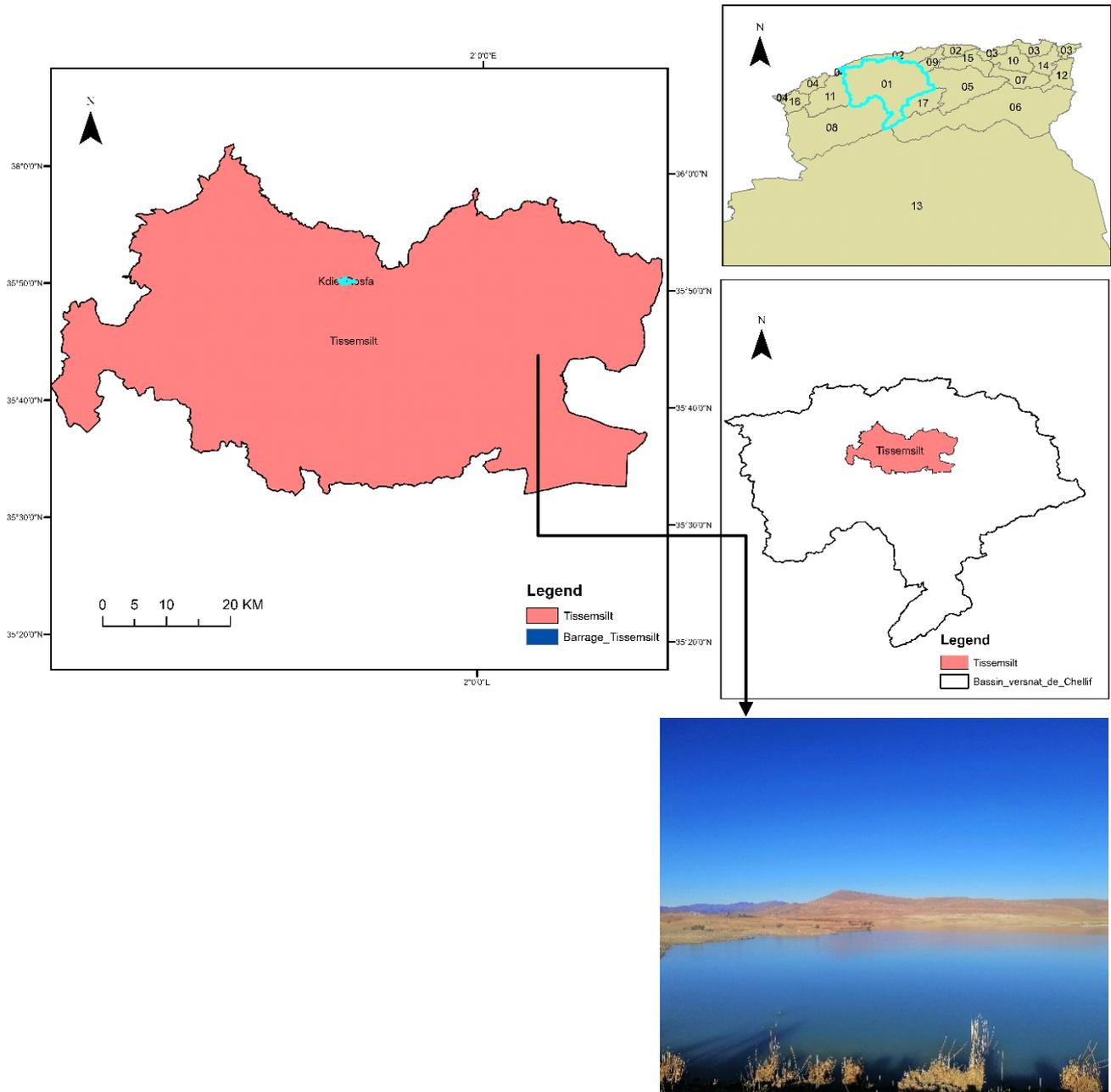


Fig. localisation de la zone d'étude (Latitude/longitude.35 45' 0'' E/1 45' 0'')

II.2.2 Géologie du milieu étudié

II.2.2.1 Découpage litho stratigraphique

- **Ensemble basal (Cénomaniens)**. Cet ensemble est caractérisé par une prédominance marneuse surtout à la base. Au sommet, il s'enrichit en quelques intercalations de niveaux calcaires marneux. Quelques bancs contiennent des nodules de silex. Cet ensemble s'étend sur une dizaine à une centaine de mètres d'épaisseurs. Le tout est affecté par des plissements synsédimentaires.
- **Niveau siliceux intermédiaire (Cénomaniens sup.)**. Les niveaux de calcaire à lits siliceux sont généralement moins développés avec des épaisseurs variant de 0,20 à 0,50m environ. Les niveaux siliceux se présentent en huit niveaux de couleur bleuâtre légèrement grisâtre, avec des interbeds de marnes continus et ondulés. Cette alternance admet un niveau d'argilite d'ordre centimétrique (10 à 15cm environ) de couleur violacé à la patine et grisâtre à violacé à la cassure. Ce niveau a livré des restes de poissons. Le pendage de ces niveaux est horizontal ou subhorizontal à la base devenant subverti cal ou vertical au sommet. Ce niveau est marqué par des slumps soulignant l'effet des mouvements tectonique synsédimentaires.
- **Ensemble sommital (Turonien)**. Les 2/3 de la base est composé d'une alternance régulière de calcaire blanchâtre et de marnes feuilletés. Généralement, les calcaires ont une épaisseur centimétrique (0,20-0,30m). Leur couleur est blanchâtre légèrement violacée à la patine est grisâtre légèrement violacé à la cassure. Ces calcaires prennent un aspect feuilleté surtout au sommet. Les niveaux marneux sont épais généralement de 0,05 à 0,10m environ, et leur couleur est blanchâtre. Le dernier tiers, épais de 10m, est constitué de marnes verdâtres, friables à aspect cendreuse de couleur vert à jaunâtre. Ces marnes sont marquées par des passées d'ordre centimétriques de calcaire de couleur gris légèrement violacé à la patine et blanchâtre à la cassure.

II.2.3.Potentialité hydrique de la wilaya de Tissemsilt :

La wilaya de Tissemsilt dispose des ressources souterraines ainsi que superficielles. Les ouvrages hydrauliques sont illustrés dans tableau suivant :

Tableau. II.1. Les ouvrages hydrauliques de la wilaya de Tissemsilt

Ouvrage	Capacité (Hm ³)	Destination
KoudietRosfa	75	AEP
Bougara	13	Irrigation
Mgila	4.5	irrigation
Bouzegza	3	irrigation /protection contre les crues
Step Tissemsilt	12000M3/j	protection du barrage de Bougara



Photo.II.1. Vue de paysage du barrage de Koudiet-Rosfa **photo.II.2.** Barrage de Mgila



Photo.II.3le périmètre d'irrigation à l'aval du barrage de Mgila

II.2.4.Couvert végétal

Le milieu floristique de la zone d'étude est constitué d'une variété de formes forestières dont la plus dominante est le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) qui couvre 7185,5 ha. Sur les versants aux conditions d'ensoleillement et d'humidité favorables.

Dans les zones moins propices, la forêt se transforme en un maquis clair (5975 485 hectares), qui est constitué d'une strate buissonnante et herbacée composée de formations mixtes ou individuelles comme le romarin (*Rosmarinus officinalis*), l'artémisia herba alba (*Artemisia herba alba*) et Diss (*Dissia*) (*Ampelodesmamauritanica*).(**Azzoune, H, 2017**).

II.3. Caractéristiques hydro climatologiques

II.3.1. Climatologie

La région de Tissemsilt appartient à l'étage bioclimatique semi-aride qui se caractérise par un hiver froid et humide et un été chaud et sec, avec des températures comprises entre 0° et 6° C en hiver et 32° C à 36° C en L'été. La pluviométrie annuelle moyenne varie entre 300 et 600 mm, avec un pic de 800 mm signalé dans les monts Ouarsenis, qui reçoivent également des chutes de neige.

II.3.2. Températures

Les températures moyennes mensuelles sont inférieures à la moyenne annuelle de novembre à avril et supérieures à la moyenne annuelle de mai à octobre, divisant l'année en deux saisons : une froide et une chaude.

Pendant la saison froide, les moyennes les plus basses se trouvent aux mois de décembre, janvier et février, avec un minimum en janvier. Pendant la saison chaude, les moyennes les plus élevées sont enregistrées, le pic le plus élevé se produisant en juillet. Les températures moyennes interannuelles enregistrées sur une période de 11ans (2010-2021) sont illustrées dans la tableau II.2.

Tableau.II.2. Températures moyennes interannuelles en °C

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mer.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Aou.
Tmin	17.4	13	8.7	6.8	5.4	6	7.2	9.3	12	17.2	21.2	20.2
Tmoy	21.7	16.7	11.9	9.2	8.3	9	10.8	13	16	22	26.3	25.1
Tmax	27.7	21.7	16	12.8	12	12.8	15.3	17.7	21	27.5	32.2	31.1

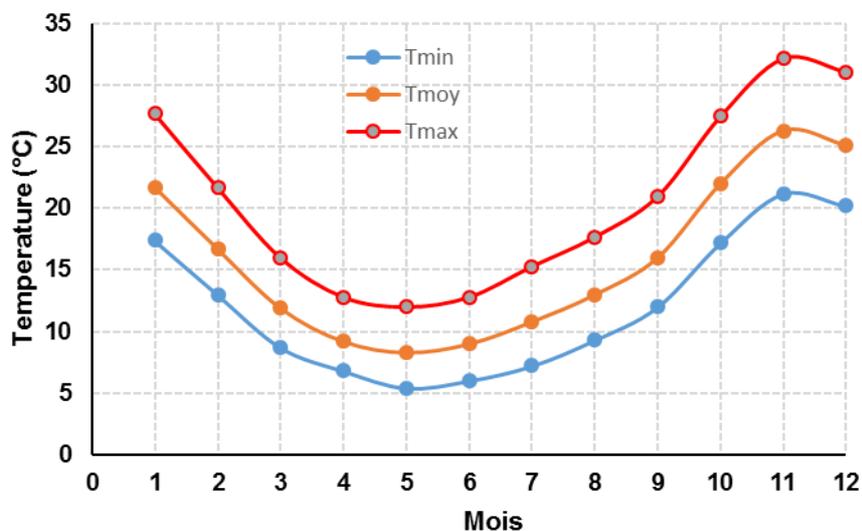


Fig.II.2 Variation mensuelle de la température

II.3.2.1 Interprétation

La figure.II.2 montre que, les températures de Novembre à Avril sont inférieures à la moyenne annuelle, mettant en évidence deux périodes :

- Une période relativement froide caractérisée par des températures basses, le reste de l'année.
- Une période chaude de Mai à octobre ;

II.3.2.2 Vitesses des vents

Les enregistrements des vents dans le tableau II.2, donnent les vitesses moyennes mensuelles de ces derniers sans préciser quelles sont les directions dominantes et leur occurrence

Tableau II.3 : Vitesses des vents (km/h)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
vents	2.46	2.49	3.3	2.91	3.22	3.43	3.15	2.85	2.59	2.47	2.47	2.45

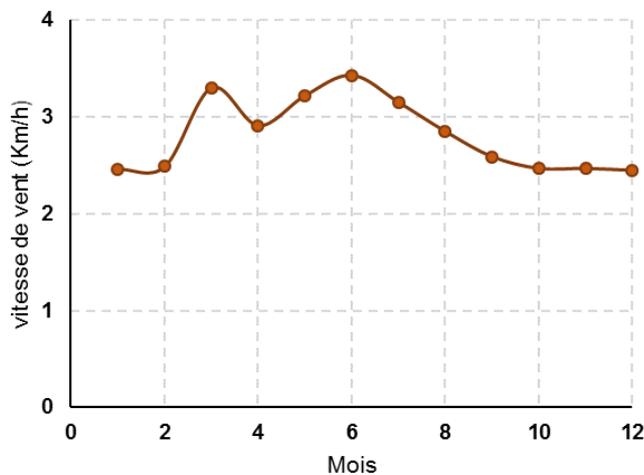


Fig. II.3. Variation mensuelle de vitesses de vents

II.3.2.3 Interprétation

Au vu du tableau II.3 et la figure II.3, les vents soufflent à plus ou moins la même vitesse toute l'année.

II.3.3.Pluviométrie

La pluviométrie moyenne annuelle du milieu étudié est de 547.36 mm. Ce dernier reçoit plus de 98% de ses pluies entre septembre et mai. En automne et en hiver, le milieu reçoit une quantité égale de pluie. Néanmoins, la répartition saisonnière est assez irrégulière (il pleut moitié moins

au printemps qu'en hiver. Et beaucoup moins en été, à peine 6% de la précipitation totale moyenne annuelle.

La figure suivante montre la répartition mensuelle des précipitations sur la période de 2010 jusqu'à 2021

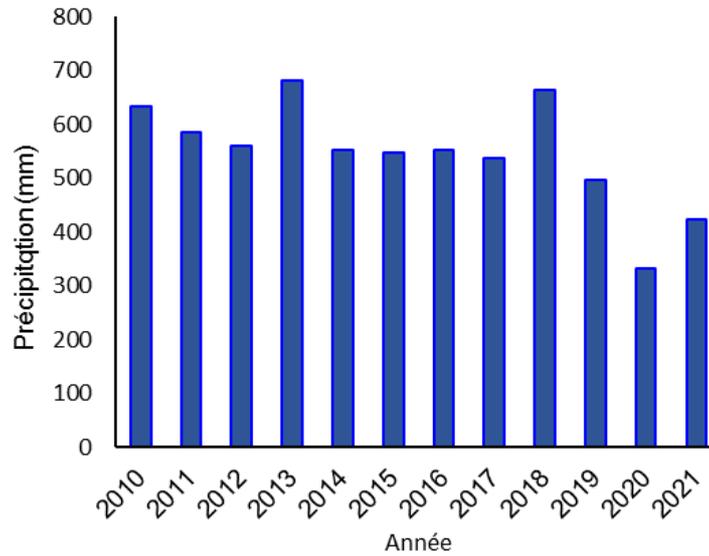


Fig.II.4.Répartition des précipitations interannuelles sur la période (2010-2021) (ONID)
II.4. Géomorphologie, physiographie et hydro morphométrie du milieu étudié

La délimitation du sous bassin de Mgila a été faite par le logiciel du système informatique géographique (Sig) Qgis à partir des (MNT).

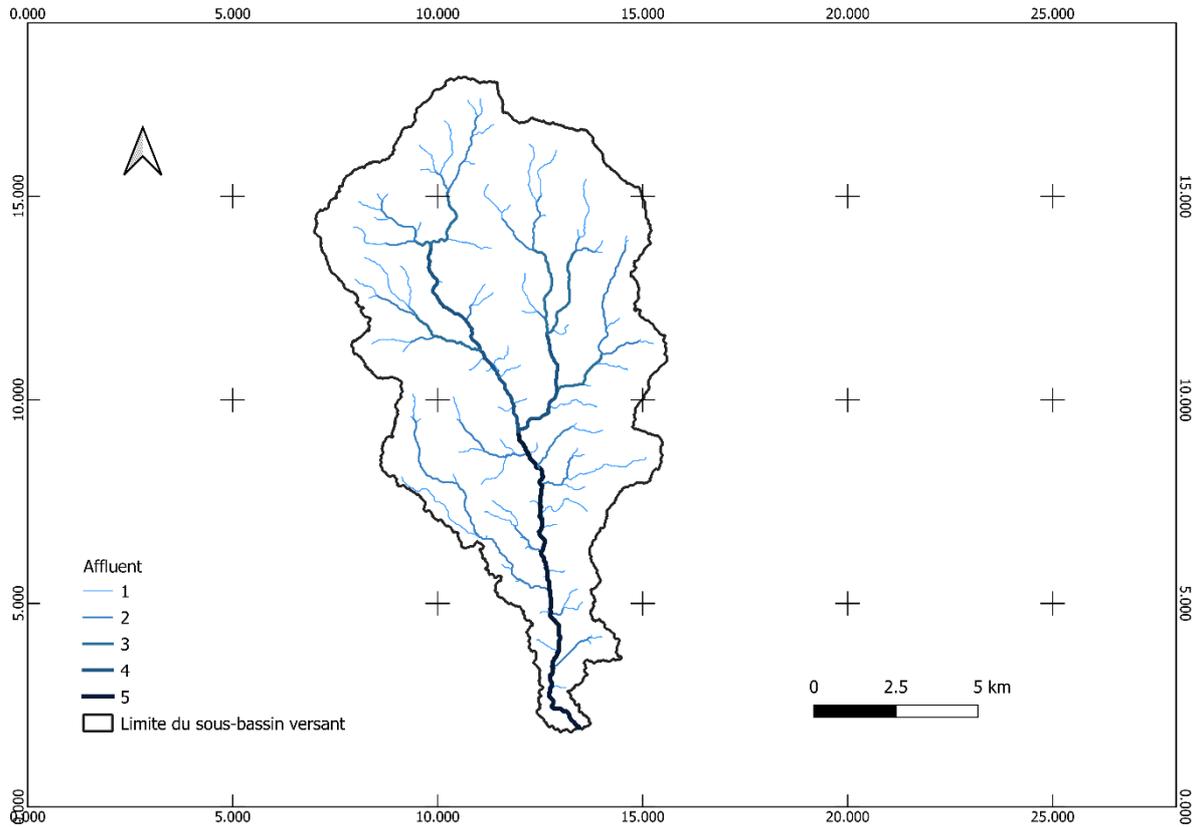


Fig.II.4. Délimitation du sous bassin de Mghila (notre Elaboration)

II.4.1. Calcul des caractéristiques

Une fois le bassin versant délimité et à l'échelle de la carte, les caractéristiques sont calculées. Seules, les plus importantes sont définies.

- Surface du bassin versant " S " en Km² ou Ha ; La surface du bassin versant est planimétrie S=118.65 km²
- Périmètre du bassin versant " P " en Km ou en m ;

Le périmètre du bassin versant représente la longueur de la ligne de partage des eaux délimitant le bassin.

P=84.55 km

- **Indice de compacité de Gravelius " Kc " ;**

Appelé aussi indice de forme, cet indice caractérisant la forme du bassin versant est donnée par la formule

$$k_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}} \dots\dots\dots (II.1)$$

$k_c = 2.17$

• Rectangle équivalent

C'est une transformation purement géométrique du bassin versant en un rectangle de dimensions L et l Ce dernier permet de comparer les bassins versants entre eux du point de vue de l'écoulement.

La longueur "L" et la largeur "l " sont données par les expressions 2.2 et 2.3.

. Longueur "L"

$$L = Kc \frac{\sqrt{S}}{1.128} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{Kc}\right)^2} \right) \dots\dots\dots (II.2)$$

$$L = 34.12 \text{ km}$$

. Largeur "l "

$$l = Kc \frac{\sqrt{S}}{1.128} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{Kc}\right)^2} \right) \dots\dots\dots (II.3)$$

$$l = 3.12 \text{ km}$$

• Répartition et courbe hypsométriques

Elle est d'une grande importance dans l'étude du relief d'un bassin versant. Les surfaces partielles par tranche d'altitude sont données dans le tableau et la répartition et la courbe hypsométriques sont données en Figure II.14

Tableau II.4. Surfaces partielles du bassin versant par tranche d'altitude

Altitude (m)	Surface cumulée (%)	Surface partielle (%)
1731-1681	5.07	5.07
1681-1631	15.29	10.22
1631-1581	27.74	12.45
1581-1531	37.75	10.01
1531-1481	49.17	11.43
1481-1431	64.01	14.84
1431-1381	78.28	14.27
1381-1331	86.28	8.00
1331-1281	91.12	4.84
1281-1231	94.64	3.53
1231-1181	96.78	2.14
1181-1131	98.28	1.50
1131-1081	99.25	0.98
1081-1031	99.70	0.45
1031-981	99.94	0.23
981-931	100.00	0.06
	Somme	100

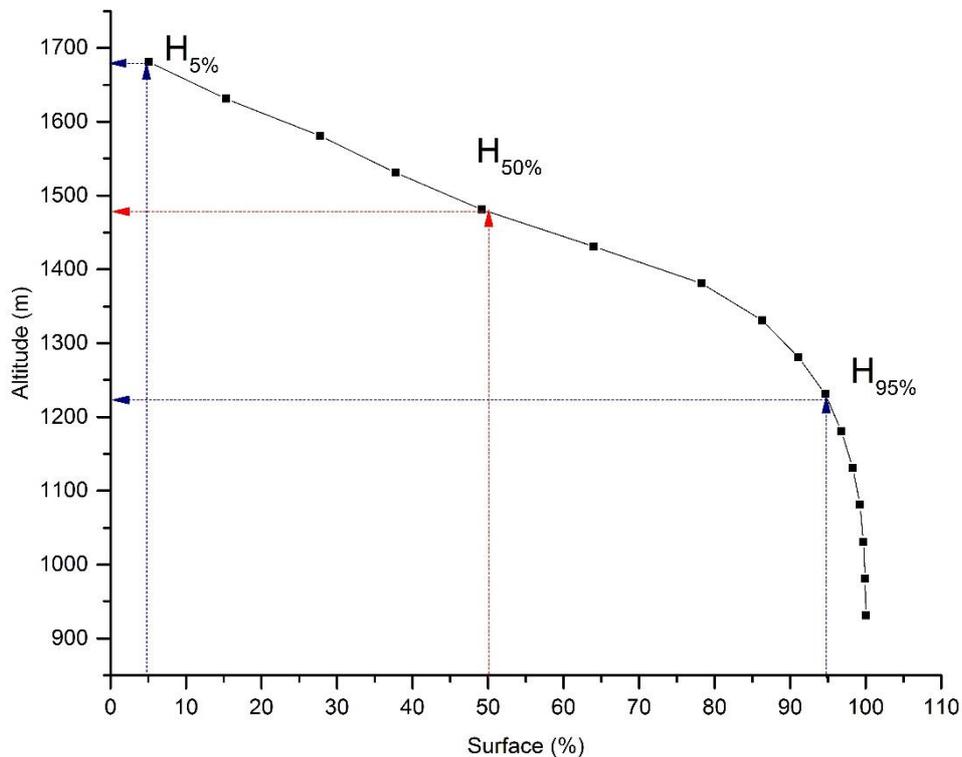


Fig.II.5. Répartition et courbe hypsométriques

Sur la courbe hypsométrique, l'altitude médiane $H_{50\%}$ est déterminée, et l'altitude moyenne est calculée par la formule (2.4)

$$H_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i H_i}{S} \text{ avec } \bar{H}_i = \frac{H_{n-1} + H_n}{2} \dots \dots \dots (II.4)$$

$H_{moy} = 1477.65 \text{ m}$

Avec :

- Hi : Altitude moyenne entre 2 courbes de niveaux consécutives n-1 et n en m ;
- Si : Surface partielle comprise entre 2 courbes de niveau consécutives n-1 et n en Km² ;
- S : Surface totale du bassin versant en Km²

• **Indice de pente globale " Ig "**

Il est défini comme étant le rapport entre l'altitude comprise entre 5% et 95% de la surface du bassin et L la longueur du rectangle équivalent. Il est donné par la formule (2.5)

$$I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} \quad I_g = 84.99 \dots \dots \dots (II.5)$$

• **Pente moyenne du bassin versant "Im"**

Elle est donnée par la formule (2.6)

$$I_m = \frac{\Delta H(0.5l_1 + l_2 + l_2 \dots + 0.5l_n)}{S} \dots \dots \dots (II.6)$$

$I_m = 4.24\%$

Avec :

- ΔH : Dénivelée (m)
- l_i : Longueur de la courbe de niveau d'ordre 1, 2, ... n en m
- S : Surface du bassin versant (Km²)

• **Classification de Schumm**

Cette classification permet de classer les cours d'eau.

D'après Schumm « Est d'ordre x+1, tout tronçon de cours de rivière formé par la réunion de 2 cours d'eau d'ordre x »

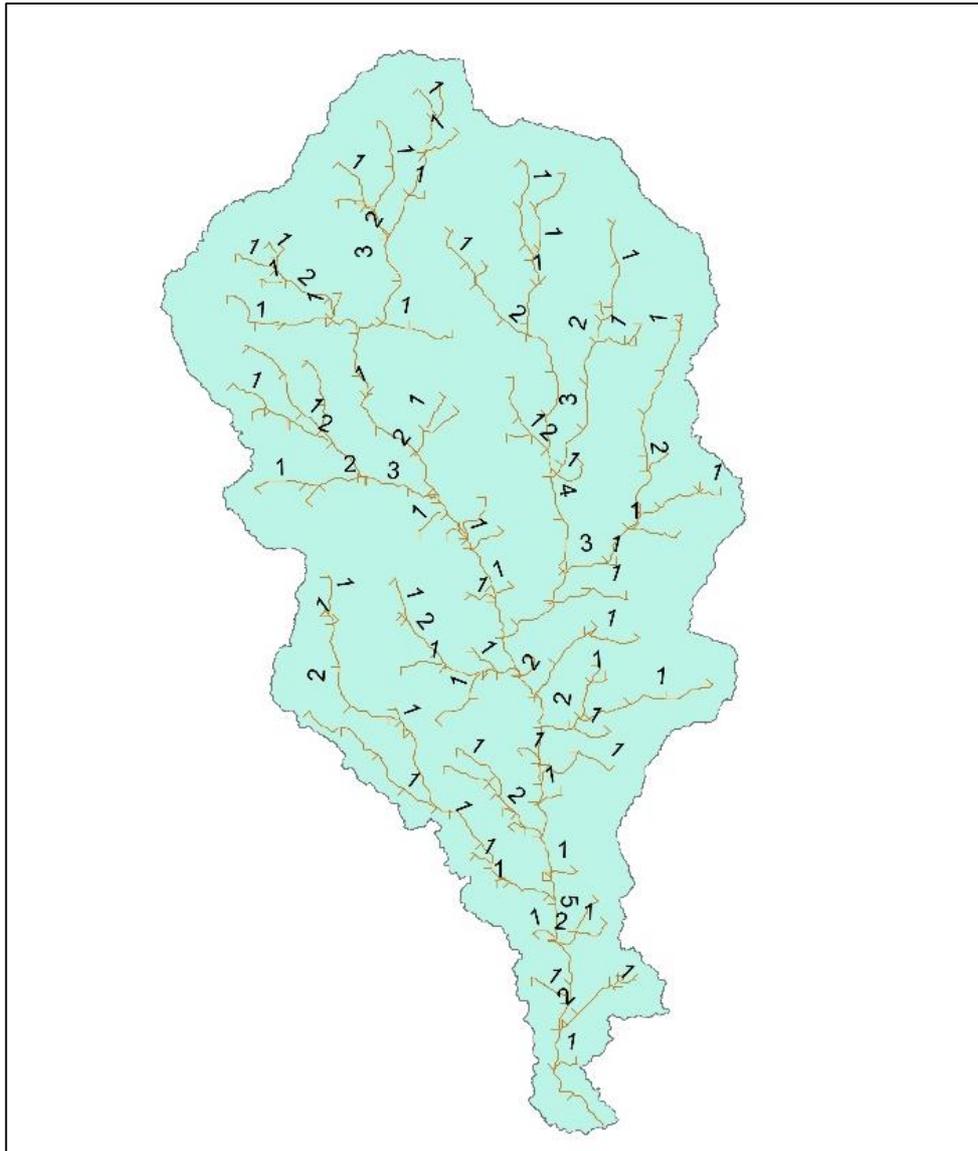


Fig.II.6.Classification de Schumm (**notre élaboration**)

Selon cette classification, le cours d'eau principal est d'ordre 5.

Dans les calculs qui suivent, le cours d'eau principal, représenté par les ordres 1, 2, 3, 4 et 5 est pris en considération.

Cette classification permet d'identifier les confluences quand la morphologie des cours d'eau se ressemble, particulièrement pour les cours d'eau temporaires.

• Densité de drainage "Dd"

Elle est définie comme étant la longueur totale de tous les talwegs d'ordre i à n " L_i ", du bassin versant, rapportée à la surface totale " S " du bassin. Elle est donnée par l'expression et est exprimée en Km/Km^2

$$Dd = \frac{\sum_{i=1}^n Li}{s} \dots\dots\dots (II.7)$$

Dd= 1.16 km/km²

• **Profil en long du cours d'eau principal " Ic"**

$$Icc = \frac{\Delta H}{\Delta L} \dots\dots\dots (II.8)$$

=0.25351 Icc=25.35%

Avec :

ΔH : Dénivelée entre 2 points (A et B) suffisamment distants (m)

ΔL : Distance entre ces 2 points (Km)

• **Coefficient de sinuosité "Ks"**

C'est la distance à vol d'oiseau L_d du cours d'eau entre sa source et son exutoire rapportée à sa longueur réelle L_{ce}. Il donne une très bonne information sur la sinuosité du cours d'eau (ex : présence ou pas de méandre). Il est donné par l'expression 2.9.

$$Ks = \frac{Ld}{Lce} \dots\dots\dots (II.9)$$

Kc =0,93

• **Temps de concentration du bassin versant " tc"**

C'est le temps que met la particule d'eau la plus éloignée pour arriver à l'exutoire. Il existe dans la littérature plusieurs formules. Il peut être notamment calculé par l'ancienne formule de Giandotti (1937), qui tient compte de la longueur du cours d'eau principal, et des altitudes moyenne et minimale (expression 2.10), soit

$$tc = \frac{4\sqrt{S} + 1.5Lcp}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \dots\dots\dots (II.10)$$

tc =4.06 heur

Avec:

S: surface du bassin versant en Km² ;

L_{cp} : longueur du cours d'eau principal en Km ;

tc : temps de concentration en heure ;

H_{moy}: altitude moyenne en m ;

H_{min}: altitude minimale en m.

Les résultats sont récapitulés dans le tableau II.5

Tableau II.5. Caractéristiques hydro-morphométriques du bassin versant

Caractéristiques		Unité	Valeur
Coordonnées géographiques	X	Km	420.67
	y	Km	3965.25
Surface		Km ²	118.65
Périmètre		Km	84.55
	Maximale : H _{max}		1681
	Moyenne : H _{moy}		1477.65
	Médiane : H50%		1481
	Minimale : H _{min}		931
	H5%	m	1675
Altitude	H95%		1225
Indice de compacité		/	2.17
Longueur du rectangle équivalent		Km	34.12
Largeur du rectangle équivalent		Km	3.12
Indice de pente globale		m/Km	84.99
Pente moyenne du bassin		%	4.24
Longueur du cours d'eau principal		Km	21.63
Densité de drainage		Km/Km ²	1.16
Pente moyenne du cours d'eau		%	25.35
Coefficient de sinuosité		/	0.93
Temps de concentration		H	4.06

II.4.2. Morphologie et topographie

a) -Topographie

La zone est accidentée et fortement disséquée, cette description traduit le caractère varié du relief et son individualisation dont les traits principaux expriment bien la haute montagne et la prédisposent au phénomène de l'érosion. L'exposition du terrain de la zone nous donne un enseignement précieux sur les régions sous l'effet direct du vent.

La carte des expositions ne montre aucune dominance d'une classe par rapport aux autres, néanmoins on remarque que les expositions Ouest, Nord- Ouest, Sud-ouest et Sud qui sont sous l'influence directe des vents dominant représente 54.9% de la superficie totale de la zone d'étude, ce fait représente un très haut potentiel érosif surtout lorsqu'il est combiné aux pentes fortes.

b)- Description du sous bassin versant de Mghila

Le sous bassin de Mghila, se situe au nord-est de la wilaya de Tissemsilt, il a une superficie de 118.65 km². Il a une forme relativement allongée et il a une pente moyenne de 4.24%.

II.5. Occupation du sol :

Le milieu étudié représentait une superficie totale de bassins versants estimée à 118,65 kilomètres carrés, où la superficie de l'agriculture urbaine et des cultures arables dans les zones sèches est de 39,07%. Les forêts occupent plus de 77% de la superficie totale.

Alors que les autres domaines sont les suivants :

Zone de déplacement 0,77 %.

Masse d'eau 0,70%

Réseaux hydrographiques 0,026%

Route secondaire 0,050 %

Route principale 0,033%

Oléiculture 0,42%

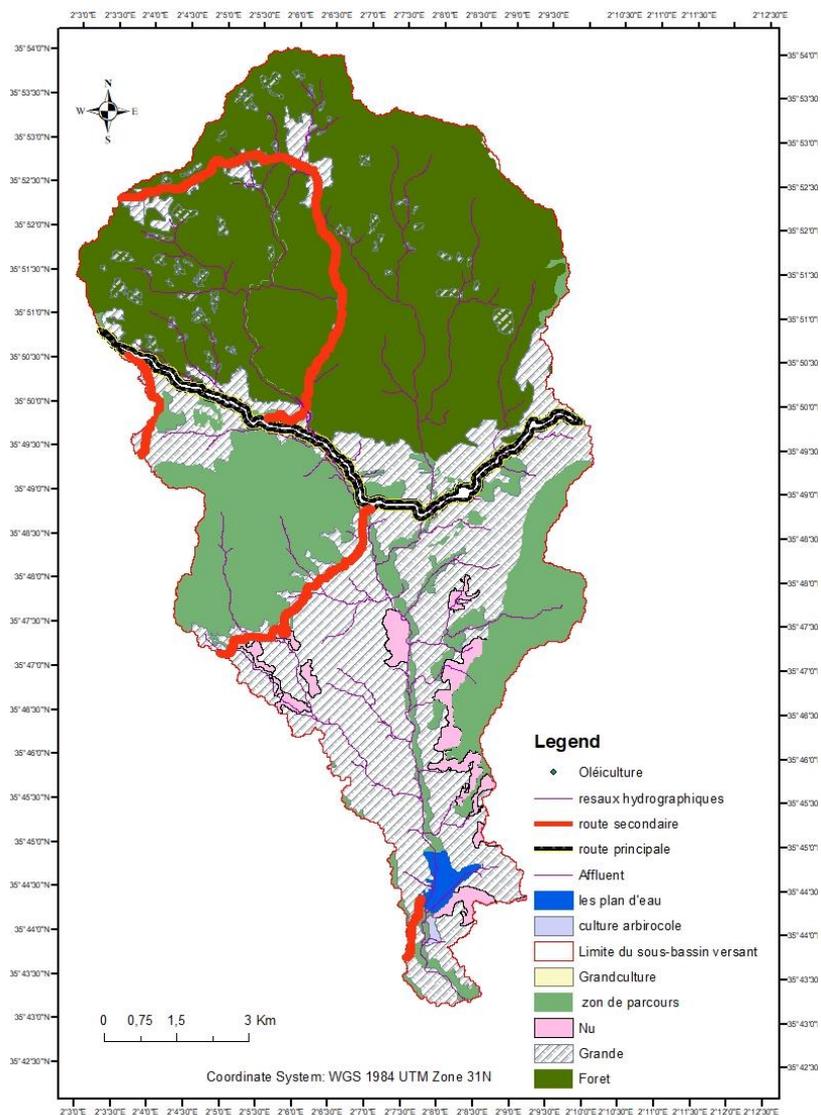


Fig.II.7 Carte d'occupation du sol du sous bassin de Mghila

II.6 Conclusion

La description détaillée de toutes les données liées au sous bassins étudié et la connaissance de l'occupation des sols permet de mieux cerner et comprendre la génération des ruissellements et leur transfert à l'exutoire et donc mieux comprendre le phénomène de l'érosion.

Chapitre III.

Cartographie de la sensibilité à l'érosion
hydrique des sols du sous bassin de Mghila

Chapitre III Cartographie de la sensibilité à l'érosion hydrique des sols du sous bassin de Mghila

III-1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons traiter la cartographie de la sensibilité à l'érosion hydrique des sols du sous bassin de Mghila dans le but de délimiter les zones productrices des sédiments et proposer des solutions.

Présentation de logiciels du système d'informations géographiques (GIS) Q Gis et

Arc gis :

Les méthodes traditionnelles de gestion des données environnementales deviennent de plus en plus inadaptées en raison des rythmes d'évolution des indicateurs (occupation des sols, précipitations, etc.). Elles sont lourdes à mettre en œuvre et ne peuvent suivre la gestion intégrée des bassins versants, d'où leur relative inefficacité.

Afin de combler cette lacune, il est nécessaire d'utiliser de nouveaux outils d'investigation tels que la télédétection, la cartographie numérique et les technologies SIG. Cette dernière est particulièrement adaptée aux problématiques de gestion intégrée des bassins versants et de cartographie des champs d'inondation et d'érosion. Compte tenu de la complexité de la modélisation des données nécessaires à la gestion du monde réel, il est important de stratifier ce monde pour assurer l'efficacité de sa gestion.

Dans cette optique, nous étudierons la perte de sol à l'aide du Système d'Information Géographique (SIG)

III-2-Définition d'un système d'information géographique (SIG) :

Un système d'information géographique est un système informatique composé de matériel, de logiciels et de processus conçu pour permettre la collecte, la gestion, le traitement et la présentation de données spatialement référencées afin de résoudre des problèmes de planification et de gestion. Les données spatiales de référence sont toutes les données qui peuvent être localisées directement (école, route, etc.) ou indirectement (adresse, propriétaire, etc.) sur la surface de la Terre.

Pour convertir un objet réel en données spatiales de référence, la zone est divisée en couches thématiques (terrain, routes, bâtiments, etc.) (CFCIACNB 2002)

III-3-Cartographie :

Ensemble de processus de conception, de développement, de dessin et d'édition de cartes et de plans en sciences (fondements mathématiques), en art (qualités esthétiques et didactiques) et en technologie (acquisition, traitement et édition de données). Les différentes étapes de cartographie présentée dans la Figure suivante :

Chapitre III Cartographie de la sensibilité à l'érosion hydrique des sols du sous bassin de Mghila

Démarche méthodologique

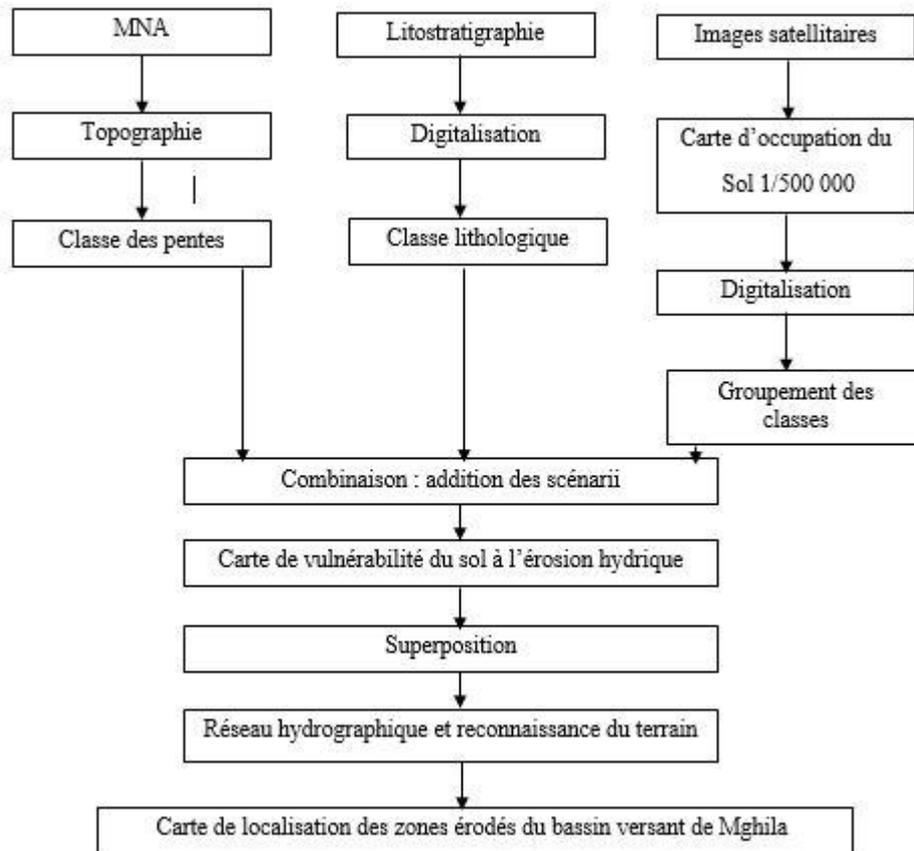


Fig. III.1 : Etapes de cartographie

Il existe plusieurs logiciels de cartographie comme le Mapinfo, Arc Gis et QGIS, etc...

III-4-Définition de QGIS :

QGIS, est un logiciel « open source », élaboré par une communauté de développeurs et destiné au traitement des données géographiques. La CCIG (commission de coordination de l'information géographique) du 25 mai 2011 a décidé de faire figurer QGIS parmi les outils proposés par les ministères à leurs services et aux DDT en complément des outils web et de recommander son usage. La présente formation, qui fait partie du plan d'accompagnement mis en place par les ministères, a été élaborée en partenariat avec l'ENSG (école nationale des sciences géographiques de l'IGN) et est diffusable sous les termes de la licence ouverte ETALAB

Interface QGIS :

a-Barre des menus, barres outils et barre d'état :

L'interface de QGIS affiche de manière standard :

Chapitre III Cartographie de la sensibilité à l'érosion hydrique des sols du sous bassin de Mghila

- ✓ La barre des menus située en haut de l'écran
- ✓ Les barres d'outils contenant des outils regroupés par famille de fonctionnalités, chaque barre d'outils peut être déplacée selon vos besoins
- ✓ Les différentes fenêtres, cartes, aperçu, parcourir et le gestionnaire de couches
- ✓ Une barre d'état située en bas de l'écran, donnant un certain nombre d'informations relatives à l'affichage de la carte et au projet en cours : coordonnées du curseur, système de coordonnées, échelle, etc.

B. Fenêtre "couches" :

-La fenêtre "couches" liste les couches présentes dans la carte. On peut ainsi :

- Définir la visibilité ou non de chaque couche (cocher ou décocher la case située devant le nom)
- Modifier l'ordre d'empilement des couches (cliquer déplacer le nom de la couche)
- Permettre l'accès aux propriétés de la couche (double-cliquer sur le nom de la couche ou clic droit -> propriétés)
- Télécharger une couche

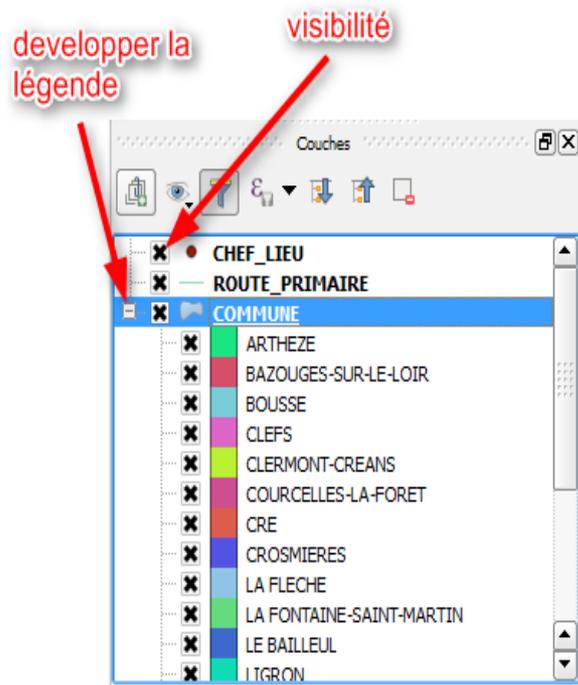


Fig. III.2:Fenêtre (couches)

Chapitre III Cartographie de la sensibilité à l'érosion hydrique des sols du sous bassin de Mghila

c-Fenêtre "carte" :

Cette fenêtre sert à :

- ✓ Afficher les couches listées dans la fenêtre « couches », le contenu peut être de type raster ou vecteur
- ✓ Effectuer des zooms + / - pour modifier l'emprise de la carte
- ✓ Déplacer la carte pour porter le focus sur une zone
- ✓ Effectuer des opérations sur les objets comme les sélections, les mesures, l'affichage d'information, etc....

En plaçant le curseur sur la carte:

- ✓ On peut zoomer sur la carte avec la molette de la souris
- ✓ On peut se déplacer sur la carte avec les flèches du clavier ou en gardant la touche espace appuyée et en bougeant la souris

D. Fenêtre "données attributaires" :

La Fenêtre « couches », chaque ligne correspond à une entité avec ses attributs distribués en colonnes

Cette fenêtre, qui est affichée par la commande « Ouvrir la table d'attributs » examinée plus loin, sert à :

- Visualiser sous forme de tableau les données attributaires de la couche vectorielle
- Sélectionner des enregistrements dans la table
- Effectuer des opérations sur la sélection, afficher, zoomer, supprimer,
- Effectuer des opérations sur la table, gestion des colonnes, ...
- Modifier les valeurs des données attributaires

III-5- Définition Arc GIS :

Arc GIS est l'un des systèmes d'information géographique (SIG) les plus utilisés. Les logiciels SIG permettent d'obtenir, de stocker, de mettre à jour et de manipuler des données géographiques. De plus, il permet une cartographie précise et une analyse spatiale à l'échelle requise. Petit détail : Arc GIS est en fait une suite, qui se décline en trois versions (Arc View, Arc Editor et Arc Info). La différence entre ces versions est le nombre d'options supplémentaires

Chapitre III Cartographie de la sensibilité à l'érosion hydrique des sols du sous bassin de Mghila

disponibles, ArcView en ayant le moins. Ceci est indépendant des extensions (analyseur spatial, analyseur 3d...

Le principe directeur du SIG est le suivant : nous avons des données géométriques d'un côté et des données tabulaires de l'autre. Ces données sont stockées au format numérique et organisées par couches (également appelées "fichiers de forme" dans Arc GIS) **(F.Guerreiro)**

Différentes couches d'informations spatiales peuvent être manipulées offrant la possibilité d'analyser une ou plusieurs couches sous le contrôle des autres. Le seul lien entre ceux-ci est différent

Les couches sont la corrélation spatiale, c'est-à-dire qu'elles appartiennent au même espace géographique et ont le même système de coordonnées.

Les différentes couches d'informations décrivent une zone géographique spécifique. Peut correspondre à des documents cartographiques représentant des objets thématiques géographiquement définis (carte de type IGN, photographies aériennes, images satellitaires, etc.) ou issus d'analyses et de procédures d'attribution (carte d'enrichissement en eau du sol, carte topographique, carte de hauteur d'arbre en forêt, etc.) **K.Soudani (2006-2007)**

III-5-1-Les applications d'ArcGIS

Le logiciel Arc GIS comprend quatre applications principales:

5-1-1ArCatalog :

C'est un explorateur de données tabulaires et cartographiques qui propose des outils de gestion et d'organisation similaires à ceux fournis par les systèmes d'exploitation tels que WINDOWS ou DOS (copier, renommer, supprimer, créer des icônes, etc.). Il est fortement recommandé d'utiliser ArCatalog pour supprimer des fichiers car ces fichiers sont accompagnés d'autres fichiers que l'Explorateur Windows, s'il est utilisé, ne permettra pas de supprimer automatiquement. ArCatalog vous permet également de visualiser les attributs et les couches géographiques ainsi que d'explorer les différents sujets qui les composent.

ArCatalog facilite l'organisation et la gestion de toutes vos données SIG. Il comprend des outils pour parcourir et rechercher des informations géographiques, enregistrer et afficher des métadonnées, afficher rapidement n'importe quel ensemble de données et des outils pour définir la structure des couches de données géographiques. **K.Soudani (2006-2007)**

Chapitre III Cartographie de la sensibilité à l'érosion hydrique des sols du sous bassin de Mghila

ArcCatalog vous permet également d'examiner, de distribuer et de modifier les attributs de données géographiques. L'interface permet l'utilisation de méthodes graphiques ou textuelles pour examiner, contrôler ou modifier l'ensemble de données.

C'est idéalement dans cette interface que l'on exécutera les actions les plus courantes listées ci-dessous :

- créer de nouvelles données (couches ou Shapefiles, géodatabase, etc.) ou supprimer une couche (c'est-à-dire tous les fichiers correspondant au Shapefile),
- définir un système de coordonnées lorsque le programme ne le reconnaît pas, ou qu'il n'est pas renseigné,
- Obtenez un aperçu géographique ou une feuille de calcul pour une couche particulière.

Désormais, l'interface ArcCatalog est disponible via ArcMap, ce qui facilite grandement la gestion des fichiers

Cet onglet se charge soit depuis l'icône du ruban standard d'ArcMap, soit depuis l'onglet Catalogue à droite de la fenêtre.

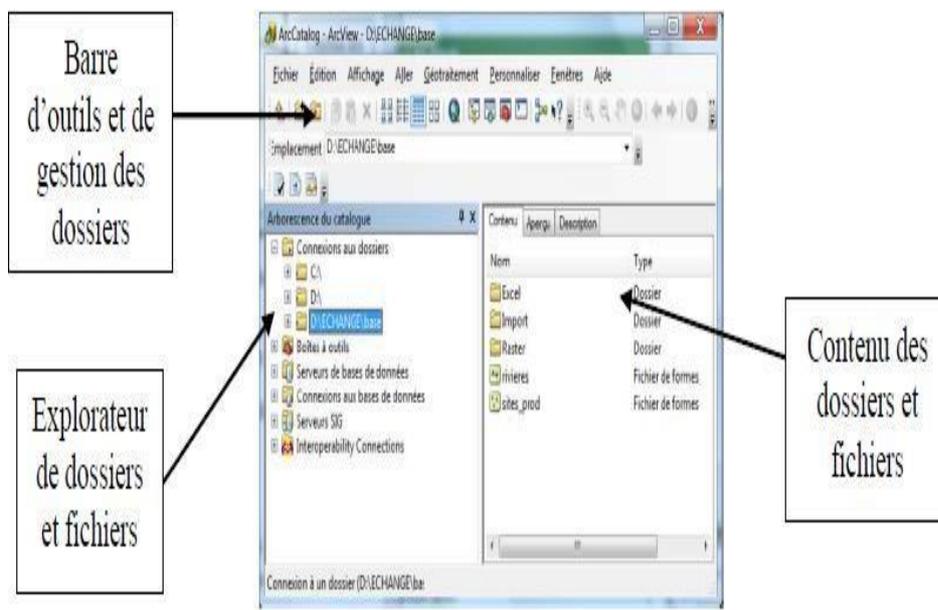


Fig.III.3: Barre d'outils et de gestion des dossiers

Chapitre III Cartographie de la sensibilité à l'érosion hydrique des sols du sous bassin de Mghila

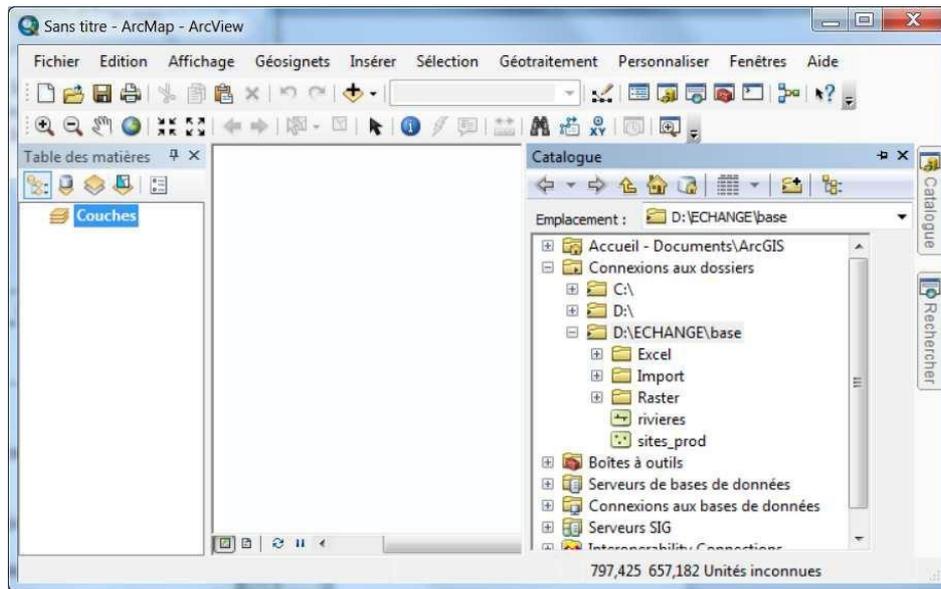


Fig.III.4Barre d'ArCatalog

-Les formats de données visibles dans ArCatalog :

Tables d'attributs dans des tableurs Excel pour les versions 9.2, +, dBase (*.dbf)  : Il s'agit généralement de fichiers issus du fichier Excel intégré à l'étude cartographique. Ces données ne sont pas géoréférencées.

Bases de données: Géodatabase (*.mdb), fichier Access  (.).

Fichiers de formes (*.shp) polygones , lignes , points: Ce sont les entités graphiques qui sont géoréférencées. Un fichier de formes est associé à une table (*.dbf) qui peut contenir un nombre indéfini de données par entité.

Fichiers couches (*.lyr)  : Ce sont les représentations graphiques issues des fichiers de formes.

Fichiers raster  sont les fichiers images auxquels chaque couleur est rattachée une valeur numérique.

TIN  (réseaux de triangles utilisés en représentation 3D), etc.

5-1-2 ArcMap :

ArcMap est l'application principale d'Arc GIS. Il contient une boîte à outils, organisée sous forme de modules indépendants (accessoires), qui permet de gérer, traiter, analyser et éditer

Chapitre III Cartographie de la sensibilité à l'érosion hydrique des sols du sous bassin de Mghila

différentes couches d'informations dans la base de données. C'est l'équivalent de l'ancienne version d'ArcView.

ArcMap affiche, interroge, modifie, crée ou analyse des données sous forme de tables ou de cartes. ArcMap facilite l'organisation des cartes lors de la planification de l'impression, de l'incorporation dans d'autres documents et de la modification de documents électroniques. L'interface du programme est illustrée à la Fig.

La barre d'outils contient des outils pour naviguer dans les données graphiques des couches, ainsi que des outils pour afficher rapidement les données sémantiques (attributs) associées aux entités graphiques (Fig.

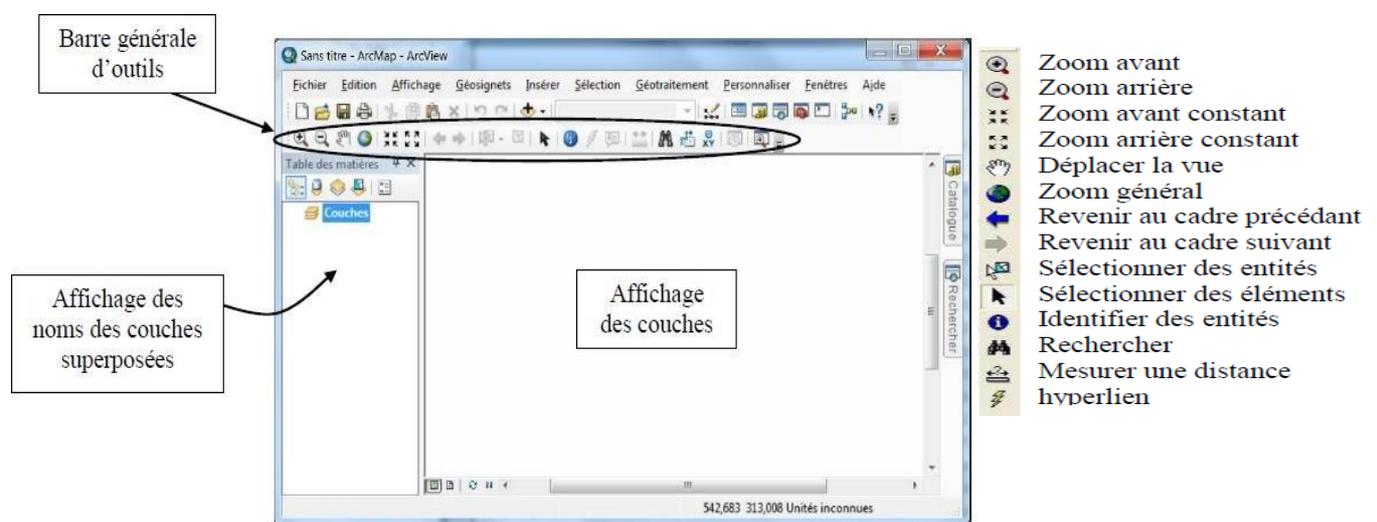


Fig.III.5 Interface d'ArcMap et la barre générale d'outils

5-1-3 ArcToolbox :

ArcToolbox est une boîte à outils pour effectuer des conversions et des transferts de format. C'est le module d'Arc Gis 10.1 qui donne accès à toutes les puissantes fonctionnalités de traitement et d'analyse

Il existe deux versions d'ArcToolbox : la version complète d'ArcToolbox qui accompagne Arc Info et une version allégée qui accompagne les applications ArcView et Arc Editor.

ArcToolbox est équipé d'un ensemble complet d'outils (plus de 150) pour le géo traitement, la gestion des feuilles de carte, l'analyse de superposition, la projection de carte et la transformation et la manipulation de données en toute simplicité. Il convertit également les formats de données pour l'importation ou l'exportation de fichiers, ainsi que les modifications de projection.

Chapitre III Cartographie de la sensibilité à l'érosion hydrique des sols du sous bassin de Mghila

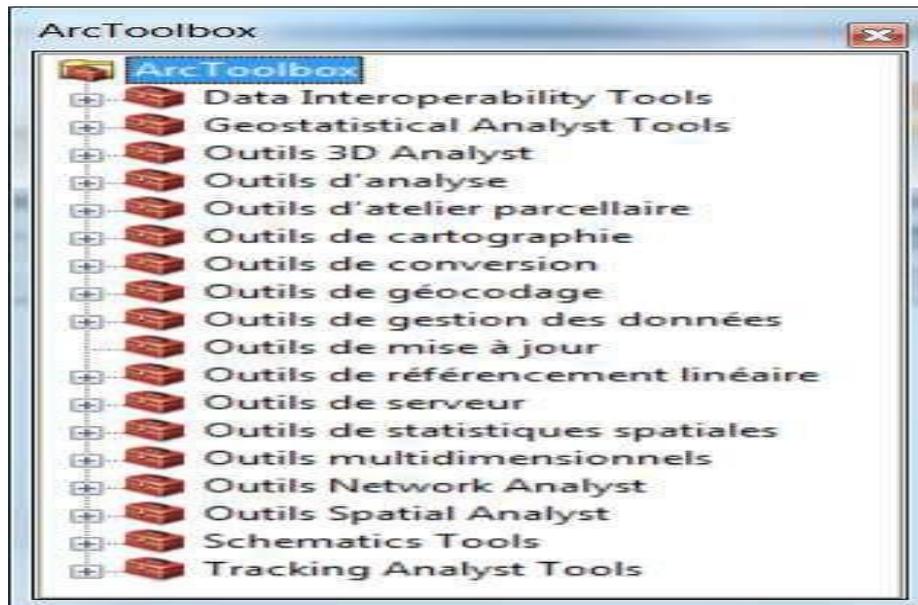


Fig.III.6Barred'ArcToolbox

Tous les outils de chaque boîte à outils ne sont pas nécessairement accessibles. Certains nécessitent l'achat d'accessoires supplémentaires. En général, en cliquant sur un outil, une fenêtre correspondant à l'outil s'ouvre, permettant de le configurer. Il est possible de créer ses propres scripts, soit via Python (livré avec le programme) soit en convertissant le Model Builder.

III-5-2-Quelques opérations dans l'ArcGIS :

5-2-1Ajouter des données :

Cliquez simplement sur ajouter des données. Dans la fenêtre qui s'ouvre, parcourez vos dossiers pour trouver le fichier que vous  souhaitez ouvrir.

Par défaut ,ArcMap n'affiche que les fichier qu'i les tcapabledelire

Connecter un dossier : Pour accéder plus rapidement à un sous-répertoire, cliquez sur le  bouton de la fenêtre pour ouvrir un fichier.

5-2-2Systèmes de coordonnée :

Ouvrir ArcMap:

Fait double clic sur layer; Choisissez le système de format par exemple : WGS 84 (degré décimal) ; oui.

Les données imposent leur propre système de coordonnées, et toutes les nouvelles couches ajoutées dans ce système seront affichées.

Chapitre III Cartographie de la sensibilité à l'érosion hydrique des sols du sous bassin de Mghila

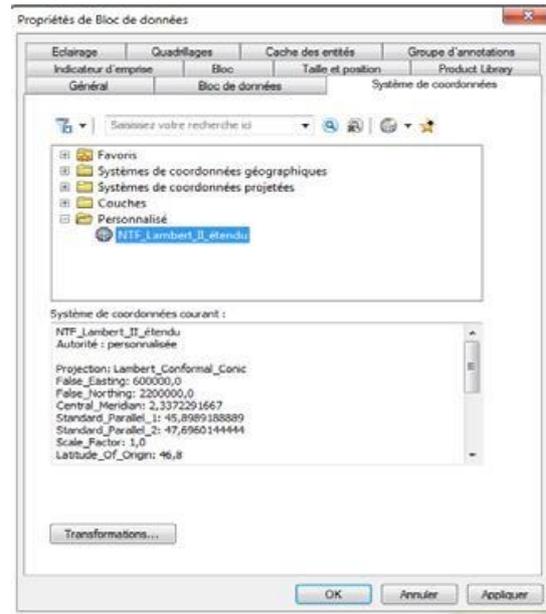


Fig.III.7 Interface du système de coordonnées

Un avertissement s'affiche si des données différentes sont présentes. Il peut être nécessaire de spécifier quelle géo transformation utiliser ou de spécifier ses paramètres.

5-2-3 Géoréférencement d'un raster :

Image à géoréférencées;

Cliquez avec le bouton droit sur une barre d'outils pour afficher la barre d'outils Géoréférencement ;

"Fermer" l'image aux autres canapés du bloc de données ;

Degré de transformation polynomiale : le premier degré est préféré ; Prendre des points de temps

Cliquer sur image à référencer puis:

- Faites un clic droit et entrez les coordonnées x et y ou cliquez sur le point lisse d'une image déjà géolocalisée.

Gérer la liste des points de calage et de leur erreur quadratique moyenne ;

Créer un fichier de référence avec ou sans distorsion d'image.

Il est nécessaire de faire correspondre des points de coordonnées connus aux points de l'image à géoréférencées pour déterminer une transformation mathématique applicable à tous les points de l'image. **(Renard, K.G. et J.R. Freimund)**

Chapitre III Cartographie de la sensibilité à l'érosion hydrique des sols du sous bassin de Mghila

5-2-4Création d'une couche

La création de la couche doit être précédée d'une étape de réflexion sur la modélisation du phénomène à intégrer dans le SIG. C'est un aspect essentiel qui permettra une utilisation rationnelle et aisée du SIG. Une étape à ne pas négliger.

Un tableau d'objets de même type sémantique correspond à une classe (un Shapefiles sous ArcGIS). Tous les objets d'une même couche doivent être du même type géographique (point, ligne ou polygone).

Chaque objet géographique stocké dans une couche contient un certain nombre d'attributs (ou champs), qui sont définis ultérieurement, lors de la modification de la structure de la couche.

- Ouvrez ArcCatalog. Accédez au dossier (dossier cible) dans lequel vous souhaitez créer le nouveau fichier de forme (calque d'informations).

- Une fois que vous faites un clic droit sur le dossier, allez dans Nouveau >Shapefile (ou autre type de fichier), selon le niveau de regroupement requis.

Nommez votre fichier et renseignez le type d'entités que vous souhaitez créer. N'oubliez pas de changer le système de coordonnées du Shapefiles. Si vous travaillez en cours, importez le système à partir d'une couche que vous utilisez. Cliquez sur OK. **(F.Guerreiro)**

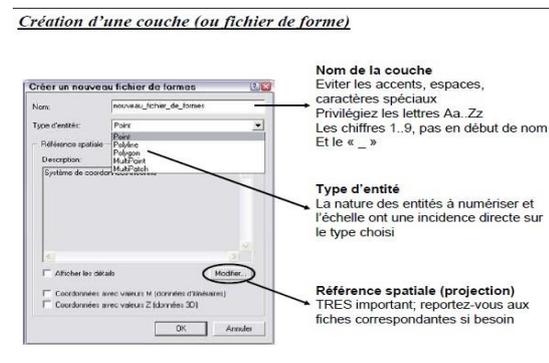
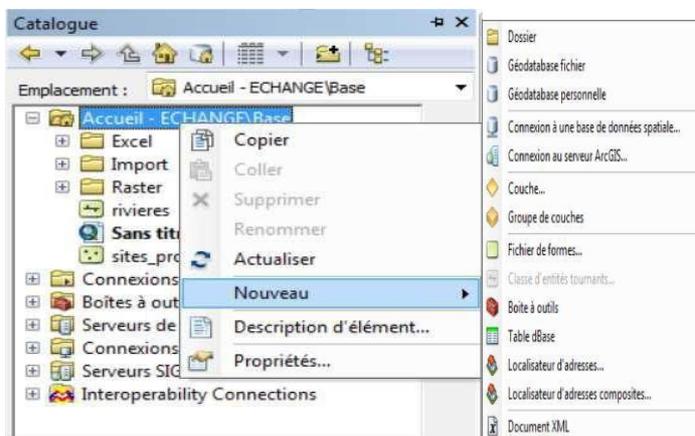


Fig.III.8 : Interface de création d'une couche

Une fois la couche créée, elle ne comporte ni enregistrement graphique ni champ attributaire, hormis les champs FID (l'identifiant géographique du programme) et SHAPE (indiquant l'architecture des entités de la couche).

5-2-5Créationd'objets graphiques

Chapitre III Cartographie de la sensibilité à l'érosion hydrique des sols du sous bassin de Mghila

Ouvrez l'éditeur de mise à jour et ajoutez le fichier de formes au bloc de données. Ajoutez la barre d'édition à partir du menu Personnaliser > Barres d'outils.

Dans la barre d'édition, ouvrez une session d'édition. Suivez les instructions de la boîte de dialogue et sélectionnez le calque (sur l'écran) à modifier, puis cliquez sur OK. Votre calque peut alors être modifié. Un panneau latéral apparaît avec des informations sur l'édition des calques et les outils de construction disponibles pour votre calque. **(F.Guerreiro)**

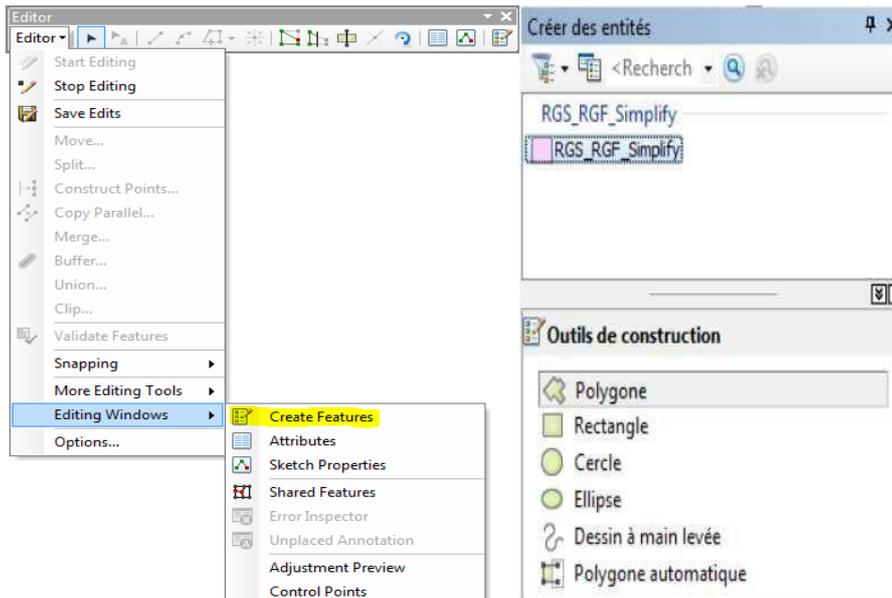
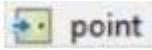


Fig.III.9:Interface d'un objet graphique

5-2-6 Créer une entité :

Cliquez sur un des outils de dessin reproduits et dessinez les entités.

Exemple d'une création de points:

- Sélectionnez-le  dans le panneau latéral qui vous permet de créer des objets dans la boîte à outils de cet éditeur. La barre d'édition s'adapte et propose des options liées aux points.
- - Cliquez dans la fenêtre à l'endroit souhaité (attention à chaque clic avec l'outil activé crée un nouveau point, même si vous ne le voyez pas à l'écran).

Chapitre III Cartographie de la sensibilité à l'érosion hydrique des sols du sous bassin de Mghila

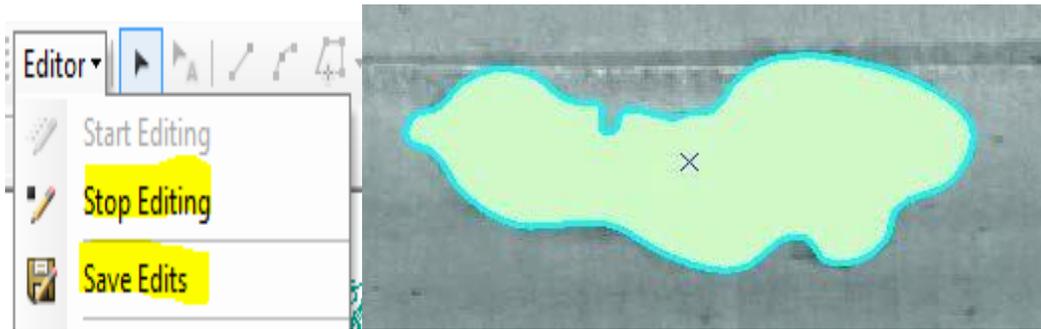


Fig.III.10Création d'un point

Lorsque vous avez terminé, cliquez sur Quitter la session d'édition et enregistrez le travail.

5-2-7Obtenir des informations sur la géométrie :

Sélectionner ou créer un champ appelé par exemple info

Clic droit sur l'en-tête de sa colonne, et avec l'option Calculer la géométrie

Choisissez:

Type d'information géométrique (centre, circonférence ou longueur, aire) ;si les résultats seront dans le système d'unités du bloc de données ou dans celui des données ; solitude.

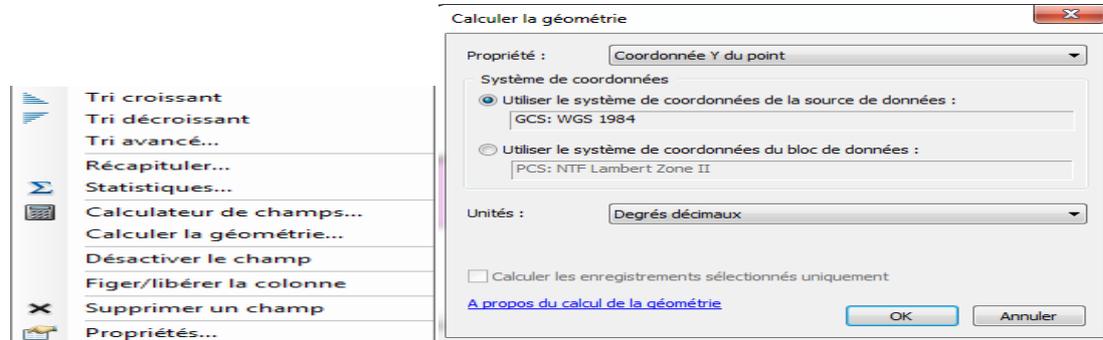


Fig.III.11Interface d'informations sur la géométrie

5-2-8Eléments de mise en page cartographique (Insertion) :

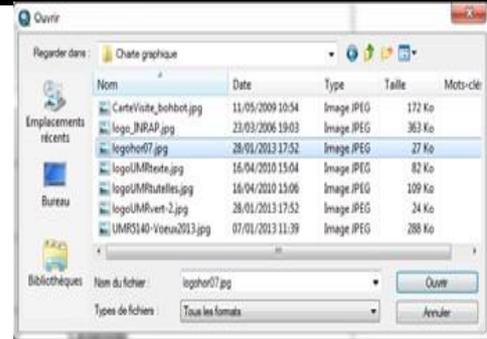
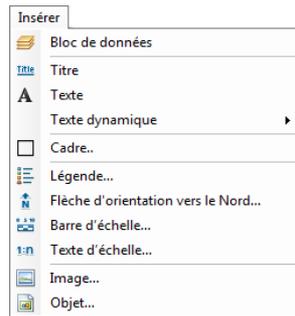
En mode Mise en page:

Menu "Insérer", choisissez l'élément de la carte et laissez-vous guider par l'assistant ; Il est possible de modifier sa position et ses propriétés (clic droit sur l'élément) ;

La légende est liée dynamiquement à la table des matières du bloc de données ;

L'échelle indiquée est liée à l'échelle du bloc de données actif et est mise à jour dynamiquement.

Chapitre III Cartographie de la sensibilité à l'érosion hydrique des sols du sous bassin de Mghila



Les quadrillages (graticules et carroyages) sont définis dans les propriétés du bloc de données :

Peuvent être superposés sur la même carte

Mis à jour dynamiquement ;

Insertion d'éléments externes :

Images (BMP, TIF, JPG, etc.) ;

Méthodologie de la cartographie:

La méthode de cartographie du risque « érosion » repose sur une évaluation pondérée de chaque facteur avant son implantation. La pondération des différents paramètres est la principale différence entre tous les modèles qualitatifs utilisant la technologie SIG. Les items et leurs poids ont été sélectionnés à partir de différentes expériences menées dans la zone d'étude, ce qui a permis de créer une technique commune.

III-6-Réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique de notre bassin est d'une longueur totale de 21 ,63Km, il est considéré comme un réseau lâche d'après sa densité de drainage, $Dd= 1,16 \text{ Km/km}^2$ (densité moyen $\leq 1 \text{ Km/Km}^2$), le réseau est représenté par la figure

Chapitre III Cartographie de la sensibilité à l'érosion hydrique des sols du sous bassin de Mghila

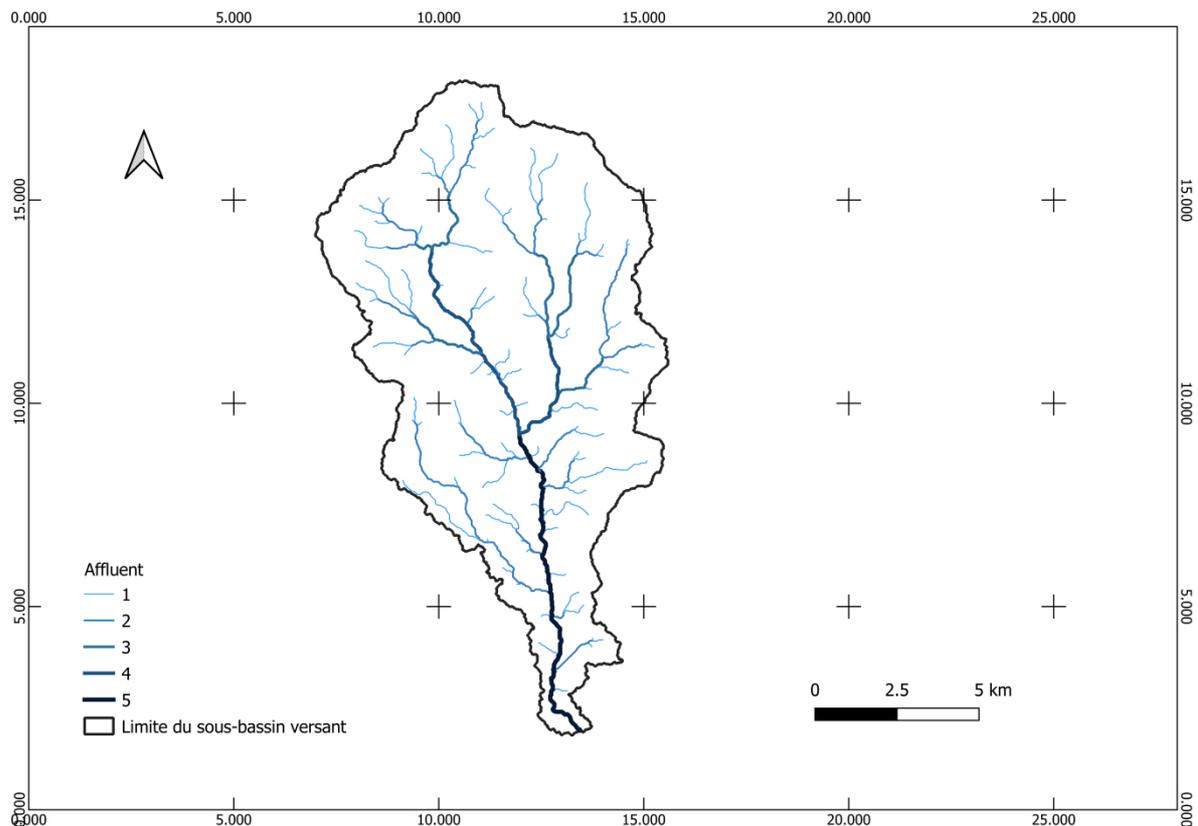


Fig III.12 Carte de réseaux hydrographique de bassin versant de l'Oued Mghila

III-7 La carte d'occupation du sol :

La couverture végétale du sous-bassin versant de la vallée de Mghila a été cartographiée à une échelle de 1:50 000 à partir d'images satellites et de données obtenues auprès des organisations de conservation de l'agriculture et des forêts de la province de la wilaya de Tissemsilt.

Plusieurs types d'occupation du sol sont représentés.

Une capacité de défense contre l'érosion hydrique a été attribuée à chaque classe (**ROOSE, 1977**)

Classe 1 : non protecteur. Correspond aux sols entièrement dénudés et non cultivés

Classe 2 : peu protecteur. Comprend aux parcours

Classe 3 : moyennement protecteur. Comprend et les cultures annuelles (céréales, agriculture extensive)

Classe 4 : fortement protecteur forêts, reboisement, l'arboriculture et la viticulture

La classification de (Roose1977) nous a servis pour dégager une classification appropriée :

Cette classification a permis de dégager trois groupes :

Chapitre III Cartographie de la sensibilité à l'érosion hydrique des sols du sous bassin de Mghila

- Couvert végétal permanent : Couvert forestier, reboisements forestiers, arboriculture et plantation viticole
- Couvert végétal temporaire : Céréales, agriculture extensive et semi intensive terres labourables
- Couvert végétal incomplet : pâturage dégradé et sols nus

Il a été possible d'obtenir une carte d'occupation du sol grâce à la classification pilotée par la technologie du maximum de probabilité, basée sur l'observation directe des types d'occupation du sol. Les terres cultivées, les terres arides, la végétation très dense, la végétation clairsemée ou moyennement dense et le milieu urbain sont les quatre classifications présentées.

Chaque classe est assignée à une valeur entre 1 et 4, 4 étant affecté à la classe la moins vulnérable et 1 à la classe la plus vulnérable (**Roose, 1977**).

Tableau.III.1 Classes de sensibilité du couvert végétal à l'érosion

La valeur ou coute	Degré	Classement
1	Résistant	foret
2	Moyen résistant	Culture arboricole + grande culture en sec
3	Faible résistant	Oléiculture
4	Très faible résistant	Plans d'eau + zone de parcoure +zone sol nu +réseau hydrographique

Chapitre III Cartographie de la sensibilité à l'érosion hydrique des sols du sous bassin de Mghila

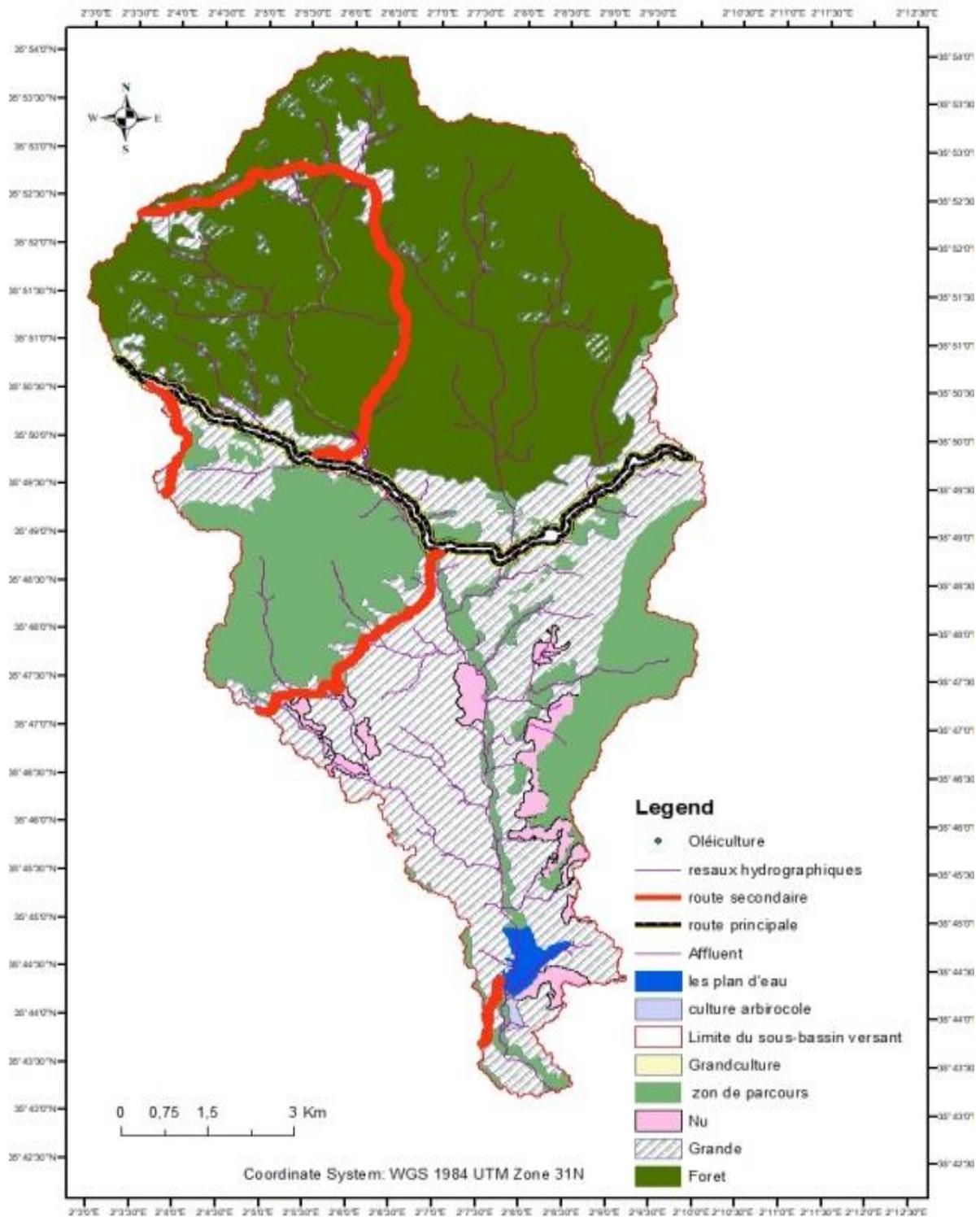


Fig.III.13 la carte d'occupation de sol du sous bassin de Mghila

Chapitre III Cartographie de la sensibilité à l'érosion hydrique des sols du sous bassin de Mghila

III-8-La carte lithologie :

La carte lithologique du sous-bassin versant de l'oued Mghila révèle une large gamme de formations superficielles, dominées par les sols argileux issus des formations marneuses.

Les caractéristiques des sols, ainsi que leur sensibilité au martèlement et à la fissuration, sont utilisées pour attribuer des degrés de sensibilité du sol à chaque type de sol (Tableau).

La catégorisation de susceptibilité comprend quatre classes avec des pourcentages de surfaces de bassin en ordre décroissant.

- 1 : Résistance élevée
- 2 : Moyenne résistance
- 3 : Faible résistance
- 4 : Très faible résistance

Tableau.III.2 classement des sols en fonction de différentes caractéristiques

Type de sol	La résistance	Classe sensibilité
Jurassique inférieure + paléocène	Moyenne résistance	2
Oligocène	Faible résistance	3
Miocène inférieure + Quaternaire + Miocène supérieure	Très faible résistance	4
Crétacé inférieure + Crétacé supérieure	Resistance élevée	1

Cette lithologie tendre et fragile génère sûrement une activité dynamique érosive, comme le montre la carte lithologique, qui démontre que la classe des sols très hautement et hautement sensibles représente pour cent de toute la surface.

Chapitre III Cartographie de la sensibilité à l'érosion hydrique des sols du sous bassin de Mghila

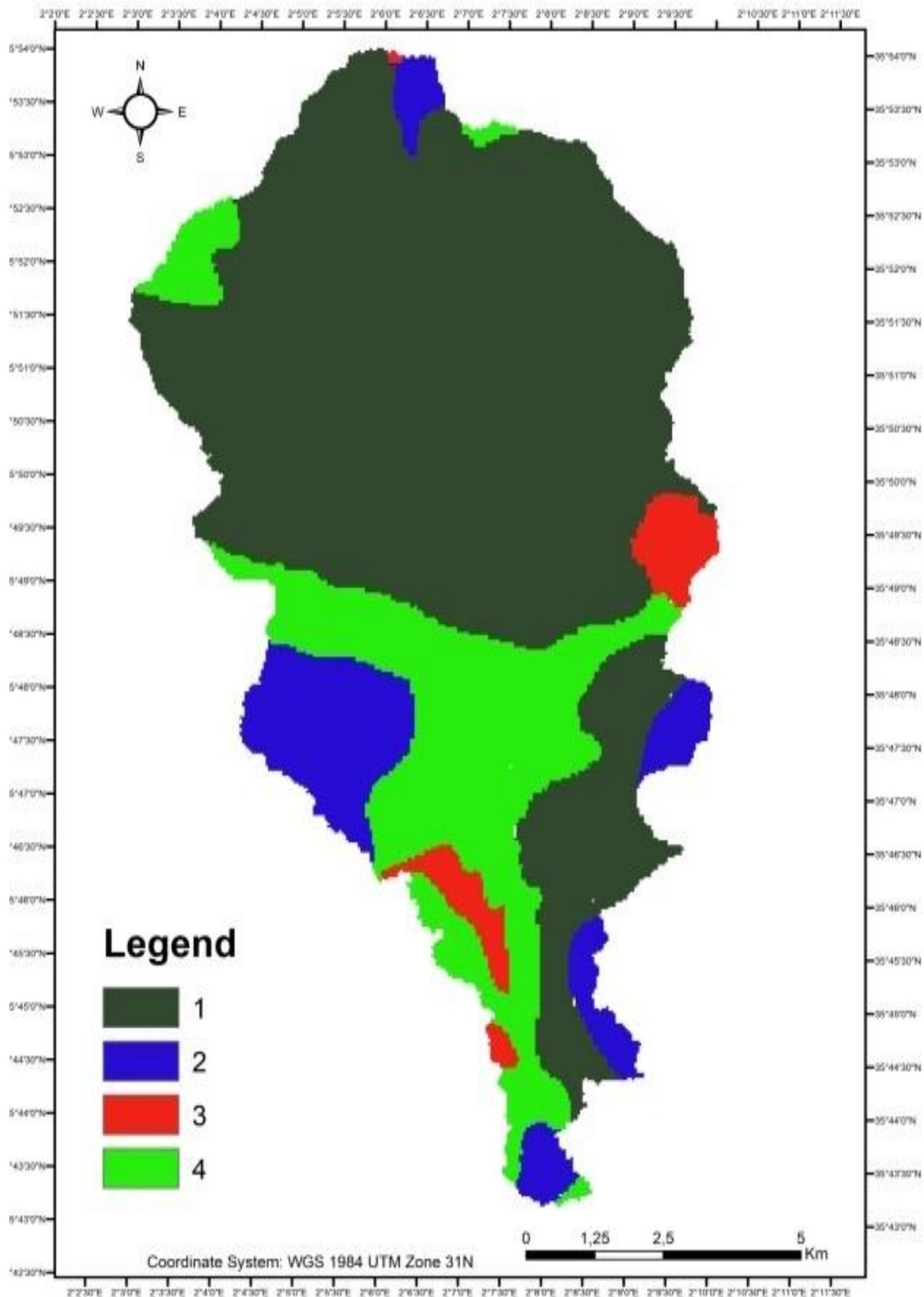


Fig.III.14 Carte lithologique du sous bassin de l'oued de Mghila (wilaya de Tissemsilt)

Chapitre III Cartographie de la sensibilité à l'érosion hydrique des sols du sous bassin de Mghila

III-9-La carte de pente :

La carte des pentes générée à partir du modèle numérique d'altitude (MNA), pour chaque classe de pente est assigné un indice variant entre 1 et 4

Première classe de 40/ 60 : 4,33% correspond à un relief de plaines, aux terrasses alluviales et aux replats structuraux que l'on trouve dans la zone montagneuse

Deuxième classe de 20/40 : 9% représente la zone de piémont, relief de glacis, collines.

Troisième classe de 10/20 : 39,41% correspond à une zone mixte qui regroupe le haut de piémont et les montagnes.

Quatrième classe de 0/10 : 46,91% représente un relief moyennement accidenté à accidenté et les escarpements rocheux.

Tableau.III.3 Classes de pente et indices attribués

La pente %	indice
0-10 %	4
10-20 %	3
20-40 %	2
40-60 %	1

Les terres à pente faible représentent 46,91% de surface, le reste, qui est de 4,33 % est réservé aux pentes fortes; notons que ces dernières occupent surtout le sous bassin du barrage Mghila.

Chapitre III Cartographie de la sensibilité à l'érosion hydrique des sols du sous bassin de Mghila

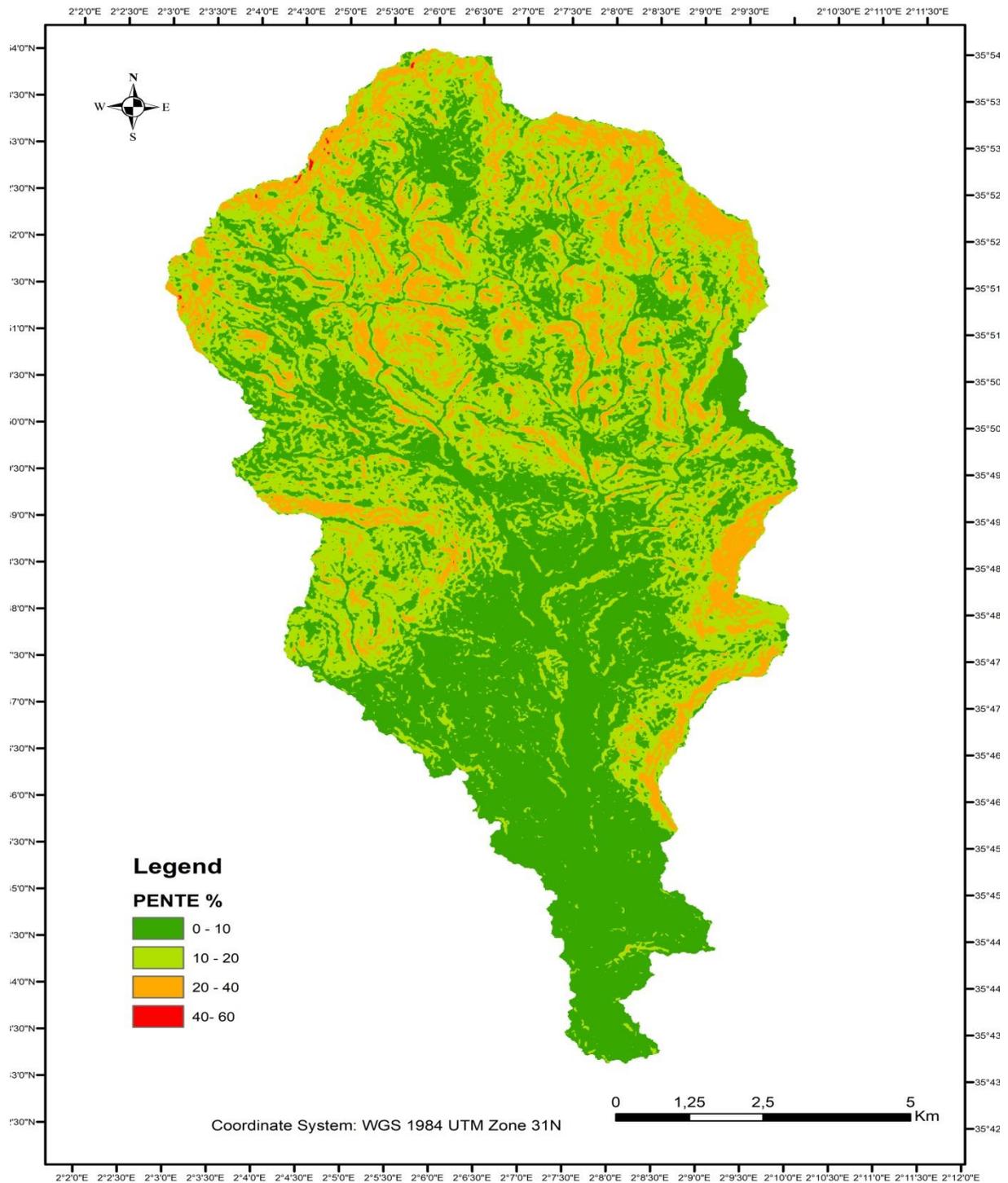


Fig.III.15carte des pentes du sous bassin d'oued Mghila

Chapitre III Cartographie de la sensibilité à l'érosion hydrique des sols du sous bassin de Mghila

III-10-Conclusion :

Un système d'information géographique est un ensemble organisé d'ordinateurs, de logiciels, de données géographiques et de personnel capable de les saisir, de les stocker, de les mettre à jour et de les traiter. Dans ce chapitre, nous avons essayé de donner un aperçu de l'analyse ArcGIS et des différentes étapes nécessaires pour l'utiliser et effectuer la cartographie.

A partir des images satellitaires et données recueillies auprès différents services, une carte d'occupation du couvert végétal a été élaboré au 1/50 000 pour le sous bassin d'oued Mghila.

A travers ce chapitre nous avons pu déterminer les classes de sensibilités du couvert végétal, la carte de lithologie et la carte des pentes du sous bassin versant de Mghila.

Chapitre IV.

Résultats et discussions avec solutions
proposées

IV.1-Introduction :

Il est essentiel d'identifier et de clarifier les étapes qui doivent être mises en œuvre, quoique dans des proportions variées, afin de lutter adéquatement contre la perte de terres agricoles. La conception d'installations et d'ouvrages antiérosifs est l'objectif principal.

Les nombreuses solutions techniques choisies sont celles qui ont été jugées bénéfiques, essentielles et irremplaçables.

Les aménagements sont conçus pour prévenir le ruissellement en favorisant l'infiltration de l'eau dans le sol et son drainage, valoriser les caractéristiques physico-chimiques et biologiques du sol pour augmenter sa productivité, garantir une végétation permanente, valoriser l'esthétique du paysage avec une plus grande variété de cultures, et respecter l'environnement. L'augmentation des revenus des résidents ruraux est l'objectif global de la fixation des populations rurales. Les interventions peuvent être divisées en deux catégories en général. Les techniques agricoles sont au centre de la première catégorie, et les installations antiérosives sont incluses dans le second groupe. **(Benchetrit M., 1972).**

Les conditions climatiques des éléments ont un effet significatif sur la perte de sol dans les zones semi-arides ou même désertiques avec des précipitations faibles et irrégulières. Les fragments de sol séparés sont ensuite emportés par le ruissellement. Sans systèmes anti-érosif, ces particules finiront par se déposer dans les réservoirs sur une longue période, diminuant la capacité des terres agricoles à stocker l'eau et à l'irriguer et entraînant la perte de sols riches et de leur productivité. **(Seltzer P., 1946).**

IV.2-Résultats et discussion :

Les résultats de la cartographie du sous bassin d'oued Mghila sont présentés selon les étapes suivantes :

IV.2.1 Carte de fragilité des terres :

La carte d'occupation du sol a été croisée avec la carte lithologique pour l'élaboration de la carte de fragilité des terres. Le croisement s'est fait sur la base d'une matrice appropriée.

Le résultat du croisement met en évidence quatre classes de fragilité des terres :

1. Terres très fragiles représentent **24,16%** de la superficie totale.
2. Terres assez fragiles représentent **56,21%** de la superficie totale.
3. Terres moyenne fragiles représentent **1,33%** de la superficie totale.
4. Terres peu fragiles représentent **18,25%** de la superficie totale.

Les terres très fragiles et fragiles représentent plus de 80.37 % de la superficie du sous bassin versant.

La méthodologie développée dans cette étude utilise des règles qualité, évaluations et priorisation des paramètres interférer avec l'érosion hydrique et l'occupation des terres (Fig.III.12), degré de pente (Fig.III.14) et lithologie (Fig.III.13).

Toutes ces données ont été intégrées dans le système d'information géographique de meilleure gestion des informations. Ces cartes sont combinées, selon la règle de décision mentionnée dans le tableau (IV.1) a permis de produire une carte appelée la carte de fragilité des terres (Fig.IV.1).

Tableau (IV-1) règles de décision :

		1. Fragilité des terres			
		Lithologie			
		1	2	3	4
Couvert végétal	1	1	1	1	2
	2	1	2	2	3
	3	2	2	3	4
	4	3	4	4	4

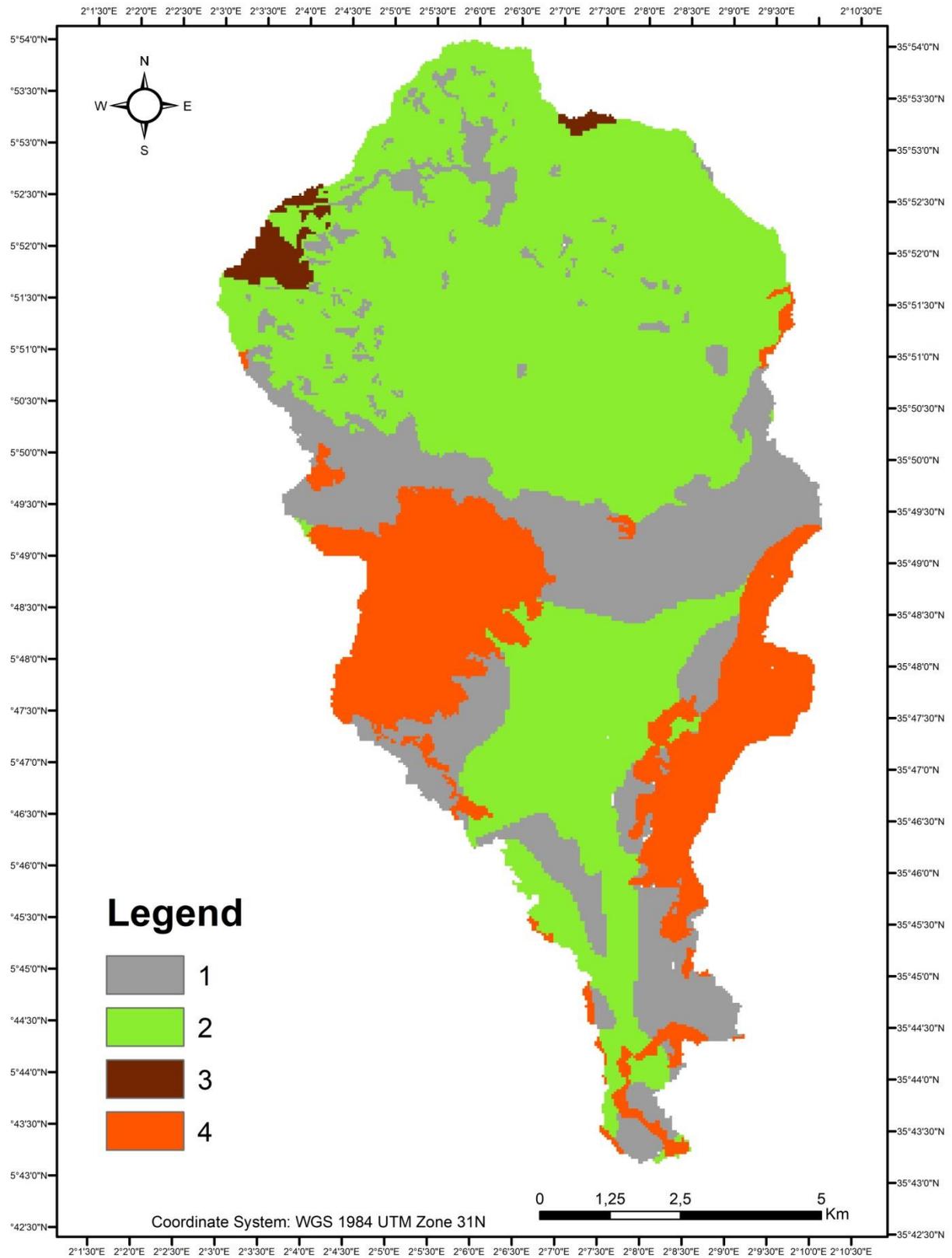


Fig.IV-1 Carte fragilité du sous bassin de Mghila

IV.2.2 Carte de sensibilité des sols à l'érosion hydrique :

La méthodologie développée dans cette étude utilise des règles qualitatives, des évaluations et une hiérarchisation des paramètres intervenant dans l'érosion hydrique : occupation des terres (Fig.III.12), degré de pente (Fig.III.14) et lithologie.

L'ensemble de ces données est intégré dans un SIG pour une meilleure gestion de l'information. La combinaison de la carte de fragilité des terres et la carte des pentes, suivant la règle de décision mentionnée dans le tableau (IV.2), a permis de produire une carte thématique appelée carte de sensibilité d'érosion.

Tableau(IV.2) de la règle de la décision :

		2. Sensibilité à l'érosion			
		Fragilité des terres			
		1	2	3	4
Pente	1	1	1	1	2
	2	1	2	2	3
	3	2	2	3	4
	4	3	4	4	4

La carte de sensibilité des sols à l'érosion hydrique est réalisée par intersection de la carte de fragilité de la Terre et de la carte des pentes.

Quatre classes apparaissent (FigIV. 2) :

Classe 1 : très forte sensibilité à l'érosion représente **8,38%** de la superficie totale.

Classe 2 : assez forte sensibilité à l'érosion représente **65,05 %** de la superficie totale

Classe 3 sensibilités moyennes à l'érosion représentent **13,08%** de la superficie totale.

Classe 4 : faible sensibilité à l'érosion représente **12,89%** de la superficie totale

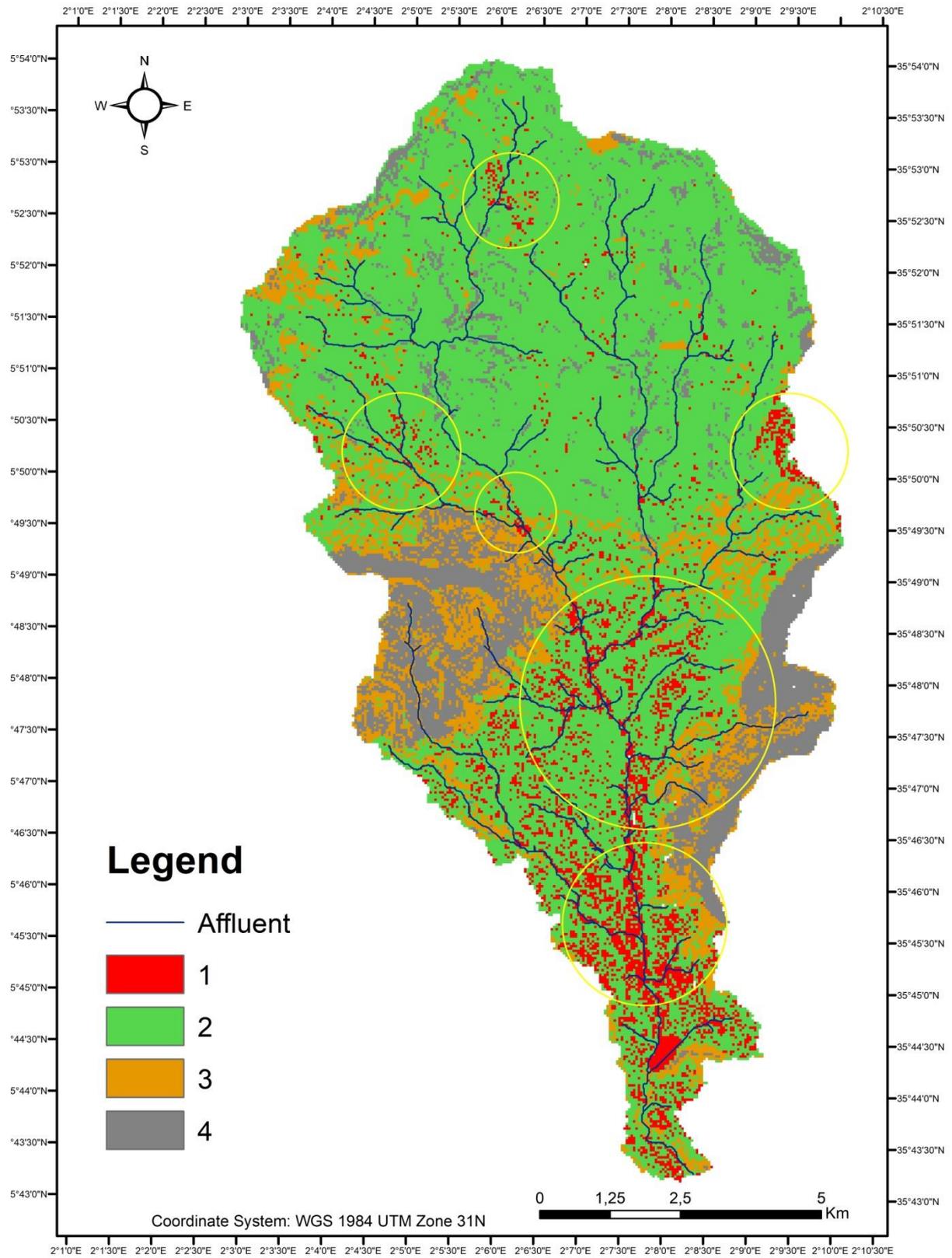


Fig.IV.2: Carte sensibilité de l'érosion hydrique de bassin versant Mghila

Après une description générale de l'environnement physique de notre aquarium, Nous avons remarqué que la partie sud-est de notre sous-bassin versant est très favorable au phénomène d'érosion contrairement à la partie nord. Cette partie est haute ou on fait face à de fortes pentes (>40°) La végétation est quasi absente.

D'autres parties où la pente est comprise entre 5 et 15 ont un double moyen. Zones de faible vulnérabilité (pente <10°)

IV.3. Solutions proposées à travers des aménagements anti érosifs

IV.3.1 Objectifs :

Ces travaux ont influencé l'instrumentation des programmes d'action visant à aborder le problème de l'érosion d'un point de vue environnemental et socio-économique. Les agriculteurs qui acceptent de construire des ouvrages de conservation des sols et des eaux susceptibles de créer une valeur environnementale et hydrologique supplémentaire seront rémunérés. Toutes ces innovations ont de nombreux objectifs ; en particulier, ils concernent :

- Réduire l'érosion des sols
- Maintenir les sources, les débits de base et la qualité des eaux
- Contenir les risques de crue et inondation
- Préserver la capacité de recharge des aquifères

Cela tout en maintenant la population sur place et en lui proposant du travail

IV.3.2 Matériel et méthodes :

L'exemple suivant présente les différents ouvrages ainsi que les actions réalisées pour minimiser le risque d'érosion au Durango situé au nord-ouest de centre de Mexique.

Le PSAH (Programa de Services Ambientales Hidrológicos, ou Programme de Services Environnementaux en Hydrologie) est porté par le service des forêts, le ministère de l'environnement et l'Etat de Durango. Les ouvrages et actions qu'il finance sont :

- La constitution de bourrelets de déchets végétaux sur les versants et suivant les courbes de niveaux

- Pour freiner le ruissellement et l'érosion et augmenter l'infiltration et l'humidité du sol ;
- La construction de seuils ou petits barrages en matériaux divers (pierres, résidus végétaux, pneus usagés, sacs de terre ou de sable) sur les têtes de ravines et les ruisseaux afin de piéger les sédiments ;
- La préservation de secteurs boisés ou arbustifs pour limiter l'érosion et favoriser l'infiltration de l'eau et la recharge de l'aquifère.

Le gouvernement fédéral du Mexique et l'État de Durango ont décidé en 2005 de lancer le programme de services environnementaux hydrologiques (PSAH), dans le but de restaurer l'environnement naturel grâce à la construction d'ouvrages de conservation éprouvés. Retenir avec succès le sol, l'humidité, et ainsi faciliter le renouvellement de la végétation, maintenir la qualité et la quantité des eaux de ruissellement et redresser la reconstitution des eaux souterraines.

La Commission Nationale des Forêts (CONAFOR, équivalent de l'ONF), le Ministère de l'Environnement (Secretara de medio ambiente y recursosnaturales, SEMARNAT), le Service chargé de la protection de l'environnement (Procuradura de protection al ambiente, PROFEPA) et le Ministère de la Nature, Ressources et environnement de l'État de Durango (Secretara de Recursosnaturales y Medio AmbiLa CONAFOR, coordinatrice du programme, a élaboré un manuel des "travaux et pratiques" qui les détaille. Sur le terrain, un responsable du Bureau d'Etudes Prestataire suit les étapes du programme.

En 2005, le gouvernement de l'État mexicain et l'État de Durango ont mis en œuvre le programme de services environnementaux (PSAH) restaurant l'environnement naturel grâce à la mise en place de travaux de conservation écologique des eaux souterraines.

Le programme PSAH comprend la participation de la Commission nationale des forêts (CONAFOR, équivalent de l'ONF), du ministère de l'Environnement (Secretaría de medio ambiente y recursosnaturales, SEMARNAT), du Service chargé de la protection de la nature (Procuraduría de protection al ambiente, PROFEPA), le ministère des Ressources naturelles et de l'Environnement de l'État de Durango (Secretaría de Recursosnaturales y Medio AmbientedelGobierno de Durango, SRNYMA), les municipalités concernées par les zones traitées par le programme (Unidades de aprovechamiento forestal de las comunidades forestales) c'est-à-dire ceux qui souhaitent participer et soumettre au programme la demande de leurs secteurs municipaux appropriés pour réaliser les travaux proposés. Celles-ci sont décrites dans le guide « Business and Practice » proposé par la CONAFOR, Coordinatrice du Programme. Les

phases du programme sont suivies sur le terrain par un responsable du bureau d'études du prestataire. Les ouvrages et actions suivants ont été réalisés :

IV.3.2.1 Méthode culturales antiérosives :

a-pratiques agricoles :

Les principes fondamentaux de bonnes techniques agricoles devraient être de réduire la quantité de sol nu, de gérer la végétation de manière évolutive et d'encourager la structure et la porosité du sol. Il est crucial de souligner que ces méthodes doivent être modifiées en fonction des conditions locales, car une pratique intrigante pour un endroit peut ne pas être appropriée pour un autre. Le choix d'un système de lutte contre l'érosion et des pratiques culturales correspondantes est influencé par divers facteurs, notamment la profondeur du sol, le type de culture, la pluviométrie, le relief des parcelles, les méthodes de production de l'agriculteur, la disponibilité de la main-d'œuvre, et les relations entre l'agriculture et l'élevage.

(Dupriez et de Leener, 1990).



PhotosIV-3: Pratiques agricoles: culture enter claire fèves et plantions fruitière.

b- les bandes alternées :

Lorsqu'une bande de cultures est dénudée, les deux bandes voisines sont recouvertes de végétation car les bandes de cultures sont ainsi disposées parallèlement aux courbes de niveau.

L'idée similaire sous-tend l'établissement des bandes d'absorption permanentes. Ils sont recouverts en permanence d'une végétation herbacée ou buissonnante et alternent avec des parcelles cultivées. La réduction des terres agricoles utilisables est un inconvénient de ces bandes. (GrecoJ., 1978).

c-La double dérayure:

Une double rayure, par exemple, est la duplication d'une rayure par une seconde située à un mètre de distance de la première, est un terme couramment utilisé pour décrire le sillon, même recreusé, qui divise un champ en deux moitiés.

Le double stripping est installé perpendiculairement à la ligne de plus grande pente sur les parcelles ayant une pente inférieure à 20 %, avec une légère pente régulière de 0,5 à 1 % dans leur longueur. Ces bandes doubles sont installées environ tous les 35 planimètres pour les pentes inférieures à 10 % et tous les 20 mètres pour les pentes comprises entre 10 % et 20 %.(Greco J., 1978).

IV.3.2.2 Méthodes et techniques de protection antiérosif

a. Méthodes et techniques mécaniques

1-1Lesterrasses

Les hommes ont créé des champs dans les montagnes quand on a pensé que les pentes étaient trop raides pour la culture directe ou quand c'était le seul moyen de conserver une terre cultivable à flanc de montagne avec un sol peu profond.

Séparés des murets de pierres sèches par des talus de terre, ils sont à peu près horizontaux et perpendiculaires à la ligne de plus grande pente (Greco J., 1978).



Photo:ANONYME,2007.

PhotosIV.4 : Montagne aménagée en terrasse au Mar

1.2 Les banquettes

Sur une pente où l'eau s'écoule, il faut, de loin en loin, couper la pente par des obstacles longitudinaux plus ou moins horizontaux, tels que différents types de fosses ou de levées de terre placées à une distance telle que l'écoulement l'eau n'arrive pas à avoir assez d'énergie pour se concentrer et commencer le processus d'érosion dans le ravin, le seul qui soit vraiment dangereux. (GrecoJ., 1978).



Photo.IV.5 Les banquettes

1-3 Les murettes

C'est une méthode utilisée sur des pentes raides (12,5 à 25 pour cent) en pierre sèche de forme linéaire, avec des dimensions de 50 cm de hauteur et 60 cm de largeur. Cette approche est suggérée pour les régions présentant une érosion importante et des sols faibles et squelettiques. (Soltner, 1999 in Rerboudj, 2005).



PhotoIV.6. Murettes en pierres sèches en Tunisie.

1-4 Les cordons de pierres

Seuls les sols légèrement inclinés peuvent être utilisés pour la technique des cordons pierreux. Des murs bas doivent être utilisés lorsque la pente est forte (>12 %). Pour le transport et la mise en place des cordons, un personnel conséquent est également nécessaire, ainsi que l'aide des habitants. (Dahmani, 1984).

Le placement des pierres doit être perpendiculaire à la direction la plus raide de la pente. Pour éviter, par exemple, que des eaux lentes sur le versant principal du terrain ne se précipitent en direction d'un autre versant, la topographie oblige parfois à les situer différemment. La densité et la pente des billes sont inversement proportionnelles.



Photo IV.7 Cordons de pierres sèches.

C. Correction torrentielle:

Le ruissellement est la cause principale qui provoque le phénomène d'érosion. A cet effet, la correction torrentielle est primordiale pour atténuer la vitesse de ruissellement et réduire l'érosion du sol. Parmi les techniques proposées, nous avons ce suit :

1.1 Les gabions

La vitesse de ruissellement est diminuée par les déversoirs. Ils sont conseillés à la fois pour la correction torrentielle et la réduction de l'érosion des ravines. Dans les endroits à fortes pentes, ce sont de petits bâtiments construits perpendiculairement à la direction de l'écoulement de l'eau. (Sheng T.C., 1993).

Ils peuvent être faits en gabions ou en pierres sèches, en grillage métallique, en pneus usés, ou en sacs de sable.

1-2Le seuil en gabion peut s'installer dans des situations allant de sous-verticales à des pentes douces. Pour des raisons structurelles et financières, la hauteur des structures en gabions au centre ne peut être supérieure à 3 m. Les gabions ne sont pas recommandés pour une utilisation dans les torrents où il y a des phénomènes de transport solide trop violents ou fréquents car ils nécessitent un entretien constant. Dans certaines circonstances, des contreforts construits en aval de l'ouvrage peuvent être utilisés pour renforcer les gabions (ShengT.C., 1993).

1-3Le seuil en pierre sèche, dont les caractéristiques sont proches du seuil en gabion, est largement utilisé en Algérie. Leur efficacité dépend avant tout de la qualité et de la taille des pierres.

1-4Le seuil en grillage métallique est souple et résiste bien aux poussées de l'atterrissage. Son installation sur le terrain est parfois complexe, notamment dans les endroits difficiles d'accès. Ce type de seuil est particulièrement recommandé dans les régions dépourvues de pierres de qualité.

1-5Le seuil en pneus usés Il manque généralement de solidité en raison de sa faible densité. Si des ligatures sont appliquées, il devient résistant. Cependant, trouver des pneus de la même taille peut être difficile et il n'est pas toujours simple d'ajuster la structure à la forme parfois irrégulière du ravin.

1-6Le seuil en sacs de plastique:

Est fragile et a une durée de vie courte car le polyéthylène des sacs de la rangée supérieure résiste moins bien aux rayons UV du soleil. Ce type de travail est productif, adaptable et simple à mettre en place. Il est crucial d'utiliser du plastique noir, plus résistant au soleil, pour augmenter son endurance.

Une étude d'impact environnemental peut être exigée dans certaines circonstances.



Fig.IV.8 les seuils en sec

1.7Drains:

Le drainage est une pratique qui désigne toutes les activités destinées à éliminer rapidement et intensivement l'eau saturée du sol. Les drains (ou fossés) sont utilisés pour canaliser l'excès d'eau loin de la terre. À leur tour, les exutoires se déversent dans les cours d'eau. **(Dahmani, 1984)**



Figure IV.9 les drains

b. Méthodes et techniques biologiques:**1.Haies vives ou Brise-vent :**

Les haies servent à diverses fins, notamment la réduction de l'érosion du sol en diffusant l'énergie cinétique du ruissellement. Les haies vives des régions semi-arides protègent les cultures des impacts de l'érosion éolienne (brise-vent) en bloquant le flux du vent et en instaurant un microclimat propice à la croissance des cultures. **(Dahmani, 1984)**



PhotosIV.10 Haiesvives.

2-Plantation d'opuntia:

Ou figuier de barbarie, est un cactus indigène des régions sèches et semi-arides du Mexique. Cette espèce est excellente pour préserver et améliorer les sols dégradés. L'opuntia peut être planté en grandes densités et a des besoins minimes en engrais, ce qui lui permet de ralentir efficacement le ruissellement de surface. De plus, l'opuntia produit des fruits qui sont valorisés sur le marché, offrant aux agriculteurs une source de revenus.



PhotosIV.11. Plantation d'opuntia

3-Revégétalisation :

Sur terrain nu, la végétalisation (ou « reverdissement ») consiste à créer un couvert herbacé, herbeux, arbustif ou arboré. Généralement, cette procédure est utilisée pour prévenir l'érosion du sol causée par l'eau et stabiliser les pentes.

Le terme revégétalisation désignera ici exclusivement l'utilisation de plantes herbacées et graminéennes.



Photos IV.12 Revégétalisation *Atriplex* sp.

Quelques solutions mécaniques

Les photos suivantes représentent quelques solutions mécaniques pratiques et efficaces pour minimiser l'effet d'érosion hydrique sur les terres agricoles.



Photo IV.13 des diguettes en pierres



(photo IV-14) : Barrages en pneus



(PhotoIV- 15) Barrages végétaux



photo IV-16) : Cordons de débris

végétaux

Les solutions appliquées précédemment ont données des résultats très satisfaisants.

Le photographe Sebastiao Selgado avec son épouse Lélia ont passé 20 ans dans le reboisement de plus deux (2Millions d'arbres) pour la réhabilitation d'une forêt détruite à Emoriss en Brésil (Salgado et Bokova, 2013) comme le montre la figure (Fig.IV.17).



Fig. IV.17 réhabilitation d'une forêt détruite en Brésil (source : <https://www.boredpanda.com>)

Après détermination des zones sensibles à l'érosion au niveau du bassin de Mghila, la solution de reboisement rentre en urgence et en priorité afin de protéger l'ouvrage contre l'envasement et la dégradation des terres agricole.

Cette action doit être suivie par des techniques de lutte contre l'érosion comme les solutions mécaniques et biologiques au niveau du bassin.



Fig.IV.18. Sous-bassin versant d'Oued Mghila

4-Conclusion :

La cartographie des zones à l'érosion hydrique du sous bassin versant de l'oued de Mghila a permis de distinguer quatre classes de vulnérabilité multifactorielle à l'érosion hydrique. Les zones à faible sensibilité à l'érosion couvrent 18.89 % du secteur d'étude, les zones à une sensibilité moyenne à l'érosion couvèrent **13,08%**, les zones qu'ont assez forte sensibilité à l'érosion couvèrent **65,05 %** et celles à très forte sensibilité **8,38%**.

La carte de vulnérabilité multifactorielle à l'érosion hydrique obtenue à l'issue de ce travail, ébauche qu'il conviendra d'améliorer, pourrait constituer un premier document d'orientation en vue d'une utilisation rationnelle des sols de la région. Des méthodes et techniques de protection anti érosifs tels que les techniques mécaniques et biologiques sont solutions très pratiques pour réduire le risque d'érosion des sols sur le barrage de Mghila.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

La cartographie est une approche utilisée pour traiter l'aléa « érosion ». Elle s'appuie sur la pondération de chaque facteur avant d'effectuer leur superposition.

L'occupation du sol et sa nature, la lithologie et la pente sont les facteurs jugés influençant la dégradation de l'état du sol. L'analyse de ces facteurs sous SIG, nous a permis de ressortir la carte globale de vulnérabilité de la zone à l'érosion. Les sites sensibles ont été classés en 04 catégories, de la plus à la moins sensible. Les zones les plus sensibles sont les plus proches du lac du barrage de Mghila.

En premier lieu, la combinaison de la carte de lithologie et la carte de l'occupation du sol a permis de produire la carte de fragilité.

Le résultat du croisement met en évidence quatre classes de fragilité des terres :

1. Terres très fragiles représentent **24,16%** de la superficie totale.
2. Terres assez fragiles représentent **56,21%** de la superficie totale.
3. Terres moyenne fragiles représentent **1,33%** de la superficie totale.
4. Terres peu fragiles représentent **18,25%** de la superficie totale.

Second eux, la combinaison de la carte de fragilité et la carte des pentes a permis de produire la carte de sensibilité où vulnérabilité.

Les zones à faible sensibilité à l'érosion couvrent **18,89 %** du secteur d'étude, les zones à une sensibilité moyenne à l'érosion couvèrent **13,08%**, les zones qu'ont assez forte sensibilité à l'érosion couvèrent **65,05 %** et celles à très forte sensibilité **8,38%**

La carte de vulnérabilité multifactorielle à l'érosion hydrique obtenue à l'issue de ce travail, ébauche qu'il conviendra d'améliorer, pourrait constituer un premier document d'orientation en vue d'une utilisation rationnelle des sols de la région. Des méthodes et techniques de protection anti érosifs tels que les techniques mécaniques et biologiques de divers types (pratiques agricoles, reboisements, plantations fruitières, correction torrentielle, drains et exutoires, revégétalisation, etc.) sont des solutions très pratiques pour réduire le risque d'érosion des sols sur l'envasement du barrage de Mghila.

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

Albergel, J., Nasri, S., Boufaroua, M., Droubi, A et Merzouk, A.A. (2004). Petits barrages et lacs collinaires, aménagements originaux de conservation des eaux et de protection des infrastructures aval : Exemples des petits barrages en Afrique du Nord et au Proche-Orient *Secheresse*15(1):78-8.

Albergel, J., Selmi, S., Balieu, Ü. (2001). Les petits barrages dans la zone semi-aride méditerranéenne. *Hydrologie des régions méditerranéennes*. Montpellier : Unesco (IRD),167-176.

Alioui, A., Rebai,B., Rebahi, G. (2015).La recherche des cyanobactéries dans les retenues collinaires de la Wilaya de Guelma. Mémoire master 2 Microbiologie-Ecologie spécialité Santé, Eau et Environnement/ Microbiologie de l'environnement, université 8 mai 1945 Guelma, 55p.

Auzet A-V 1987-l'érosion des sols par l'eau dans les régions e grande culture: aspects agronomiques. Min Envi Agr. CERG-URA 95, CNRS Strasbourg, 60 p

Allée P. 1984. La dynamique des versants dans le Haut -Vallespir : processus héritages, action anthropiques. Thèse Université Paris 1.

Agence de l'eau Rhône, Méditerranée et Corse, (2005). Fiche synthétique de l'étude de référence de coûts pour la construction des retenues collinaires, Lyon : 2 pages.

Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2000. Dossier de présentation des projets de retenue et bassin pour irrigation-Notice-. Agence de l'eau Loire-Bretagne, Orléans: 11 pages

Application aux systèmes hydrauliques}} ; thèse de Doctorat de technologie de troyes- 2014.

BELHADDAD, H. (2018). *Modélisation des écoulements à travers la digue du barrage Ain Zada* (Doctoral dissertation, Université de M'sila).

Bertrand, G. (2008). Utiliser l'eau de pluie, Editions Eyrolles.130p

Bersier, J. (1965). Application de calcul des probabilités aux problèmes d'exploitation des réservoirs. *Introduction aux processus de Mark off*. Houille Blanche1 1965 /3 : 431-433.

Bouزيد, T. (2010). Les barrages et la politique hydraulique en Algérie : état, diagnostic et perspectives d'un aménagement durable. Doctorat d'Etat en Aménagement du Territoire, Université Mentouri-Constantine, 384p.

Boufaroua et al; 2000- Lacs collinaires et conflits de gestion des ressources en eau, Université de Tunisie. Tunisie. 7 p.

(**Benlaoukli, B., et Touaïbia, B. (2004)** Tableau (Agence de l'eau RM&C, 2005b).

Bouteffeha, M. (2014). Échanges hydrologiques surface souterraines induit par une retenue collinaire en milieu méditerranéen : quantification et analyse, thèse de doctorat Sciences et Techniques de l'Ingénieur de l'environnement spécialité Génie Hydraulique, Centre International d'Etudes Supérieures en Sciences Agronomiques, Montpellier Sup Agro-tunis p135.

Bouwer, H. (2002).Artificial recharge of groundwater: *hydrogeology and engineering hydrogeology Journal* 10:121-142.

Bousaïd Z.F. (2004). Contribution à l'étude du comportement non drainé des sables lâches sur consolidés et anisotropes. Thèse de doctorat à l'institut national des sciences appliquée de Lyon. 13-15 pp.

Bouhlali M. (2006). Les risques associant du barrage. Mémoire de Magistère. Université Abou Baker Belkaide, Tlemcen, 174 p

Bou Kheir et al2001.L'érosion hydrique dans les milieux méditerranéens: une revue bibliographique Etude de gestion des sols, Volume 8,4, 2001 pages 231-245

Bousaïd Z.F. (2004). Contribution à l'étude du comportement non drainé des sables lâches sur consolidés et anisotropes. Thèse de doctorat à l'institut national des sciences appliquée de Lyon. 13-15 pp.

Cudennec, C., Sarraza, M et Nasri, S. (2004).Modelisation robuste de l'impact agrégé retenues collinaires sur l'hydrologie

Deroo L et Jimenez B. (2011). Notes sur l'accidentologie des barrages-poids Colloque CFBR-AFEID: Études de dangers, 18 p.

D'Souza V-P-C, 1976. A laboratory study of the effect of slope steepness and curvature on soil erosion. *Journal agric. Engineering Research* 21: 21-30.

Deroo L et Jimenez B. (2011). Notes sur l'accidentologie des barrages-poids Colloque CFBR-AFEID: Études de dangers, 18 p

Demmak A., 1984 - Recherche d'une relation empirique entre les apports solides spécifiques et les paramètres physico-climatiques des bassins: cas Algérien.In AISH Public 144: 403-414

Foster M. et Fell R. (2000). Use of event trees to estimate the probability of failure of embankment dams by internal erosion and piping, In 20th Congress on Large Dams, Beijing, China.

Fry J.J. (2004). Évaluation de la stabilité sismique des digues. EDF CIH, 95-110.

FAO 1983- Garder la terre en vie: l'érosion des sols, ses causes et ses remèdes. Bulletin pédologique 50-62p

Anonyme, 2007- Synthèse : retenues collinaires. Position de FRAPNA. La documentation française 310 M. Rhône. 5 p.

Foster M. et Fell R. (2000). Use of event trees to estimate the probability of failure of embankment dams by internal erosion and piping, In 20th Congress on Large Dams, Beijing, China

Genin B., Chauvin C. et Menaud F., 2003- Cours d'eau et indices biologiques, méthodes IBGN. Edition Educagri, Dijon. 221 p

Groove A.T., 1996. Physical, biological and human aspects of environmental change. Medalus II Report, 39-64

Kyrnine D., Judd W., 1957. Principe les of engineering geology and geotechnics Mc Graw Hill book compagny Inc. 730p.

Le Bissonnais, Jacques THORETTE, Cécile BARDET, Joel DAROUSSIN, L'érosion hydrique des sols en France. INRA, IFEN, Novembre 2002.

Mozas, M., Ghosn, A. (2013). État des lieux du secteur de l'eau en Algérie, I.P.E.M.E.D., 45p.

Mériaux P, Royet P et Folton C. (2004). Surveillance, entretien et diagnostic des digues de protection contre les inondations 58-61 pp.

Matsubayashi, M. (1991). Sediment disaster control in Japan. Publication of Sankaido, 1:65

Mulhauser et Monier ., 1995- Eaux calmes, eaux douces stagnantes. Edition SYRIBT. Paris. 22 p.

Mériaux S., 1961. Action du chaulage sur les composantes de la structure et sur l'état de saturation du sol. Compte rendu à l'académie d'agriculture 322-325

Obbed c., Tourasse P., 1994. Unertainty in flood forecasting: a french case study. In **Rossi G., Harmancioglu N., Yevjevich V. editors.** Coping with floods. Italy , 3-15 November. Dorrecht, KlumerAcademic 473-502

P. BROY : {{évaluation de la sureté de systèmes dynamiques hybrides complexes.

Perennes, J.J. (1992). Un aspect de la question hydraulique au Maghreb : la politique des barrages, Égypte/Monde arabe « Partage de l'eau dans le monde arabe », C.E.D.E.J. ISSN : 2090-7273.

Posen J.W., Torri D. Bunte K., 1994. Effects of rock raguements on soil erosion by water at different spatial scale: areview. Catena 23 : 141-166. Refsgaard J, 1997 Paramétrisation, calbation and validation of distributed hydrological models. Journal ofhydrology 198: 69-97

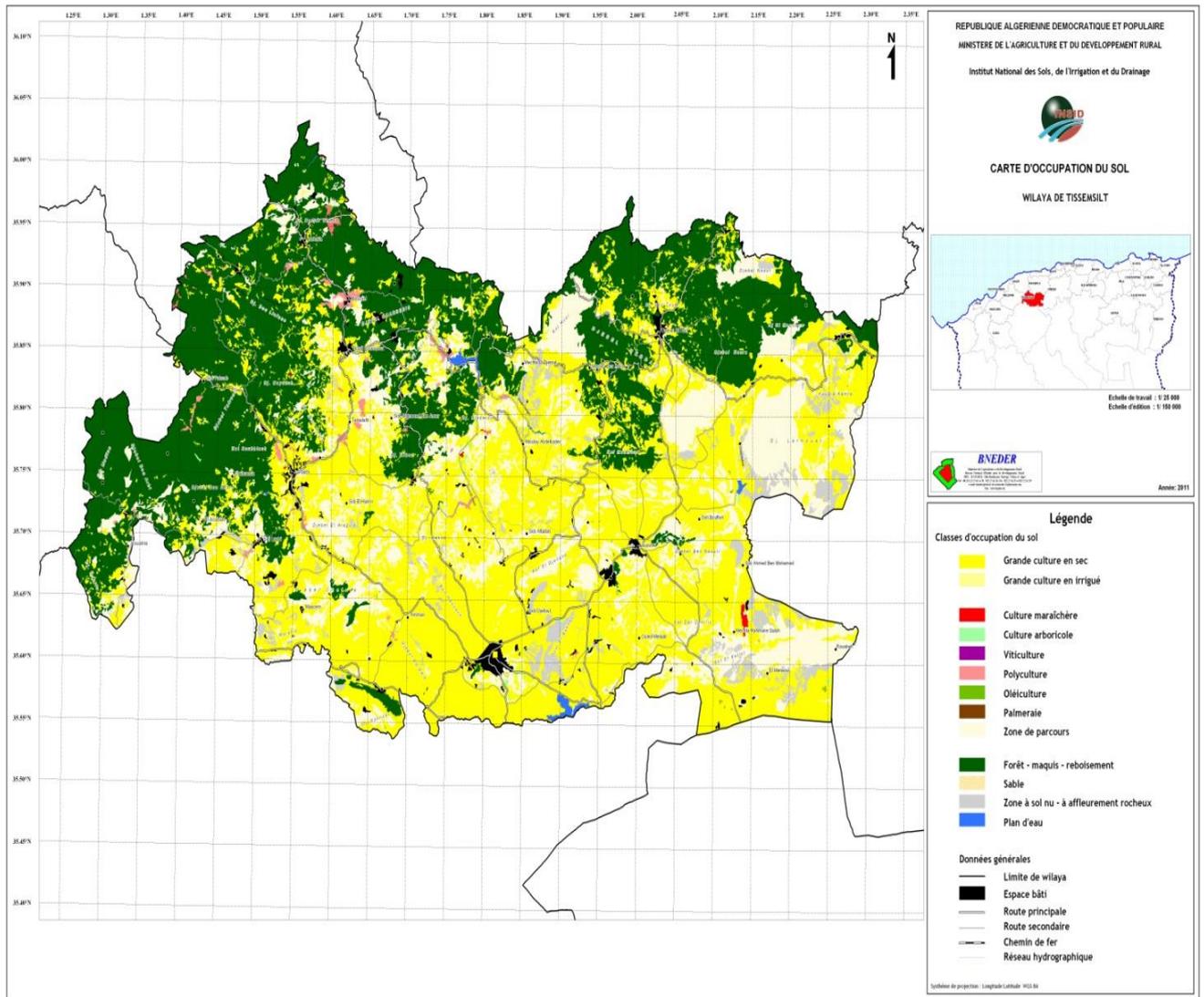
Papy F., Le bissonais Y., Guérif .J. 1995. valorisation et protection de la ressource en eau. Projet: recherches sur les processus physiques et la maîtrise de l'érosion hydrique à l'échelle d'un territoire agricole. Le programme valorisation et protection des ressources en eau 1992-1995. Protection des ressources en eau, INRA éditions, 27 p

- Kyrnine D., Judd W., 1957.** Principales of engineering geology and geotechnics Mc Graw Hill book compagny Inc. 730p.
- Roux, M. (1965).** Application du calcul des probabilités aux problèmes d'exploitation des réservoirs, et son usage. Houille
- Roger. (2013).** Synthèse des connaissances et études existantes sur les retenues collinaires (Doctoral dissertation, irstea e).
- Remini B, 1990.** Etude hydrodynamique du mécanisme d'envasement. Thèse de Magister, Ecole National Polytechnique d'Alger, 100p.
- Roose et al. 1993.** Réduction des risques érosifs et intensification sur la production agricole par la GCE: synthèse des campagnes 1984-1995 sur un réseau de 50 parcelles d'érosion. Cahiers Orstom, série pédologique 28(2) : 289-308.
- Roose E. 1994.** Introduction à la GCES. Bulltin pédologique FAO 70, 420 p.
- Schleiss.A et Pougatsch.H** :{{les barrages}}, du projet à la mise en service PPUR, 2011.
- Sukhija, B.S., Reddy, D. V., Nagabhusanam, P., Bhattacharya, S.K., Jani, R. A and Kumar, D. (2006).**Caracterisation of recharge processes and groundwater flow mechanisms in weathered - fractured granites of Hyderabad (India) using isotopes. *Hydrogeology Journal* **14**: 663-674
- Siyahi B et Arslan H. (2008).** Earthquake induced deformation of earth dams. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 67:397-403
- Siyahi B et Arslan H. (2008).** Earthquake induced deformation of earth dams. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 67:397-403
- Samir, B. (2017b).** Étude de cas pathologique dans une digue survenue (Retenue col **Samir, B. (2017a).** Étude de cas pathologique dans une digue survenue (Retenue collinaire) à BoutiSayah-M'sila (35.764632 N 3.535382 E) inaire) à BoutiSayah-M'sila (35.764632 N 3.535382 E).
- Taraya Z., 1998.** Etude hydro-pluviométrique comparative des bassins versants de la région intermédiaire du liban. Publications de l'université libanaise Section des études géographiques
- Venot, J. P., Krishnan, J. (2011).**Discursive framing: Debates over small reservoirs in the rural South, *Water Alternatives*, 4 (3):316-324.
- Lin, Y.L. (1978).** Water shed Research in Taiwan and Surrounding Area. Taipei-Taiwan: ChineseSoil and Water Conservation, 100p.
- Zerrouk, N., Zsuffa, I. (1988).** Dimensionnement hydrologique des retenues collinaires en Algérie, *Hydrologie continentale*, 3 (2) : 141-153.
- Zemiche, N. (2018).** Valeurs ornithologiques des retenues collinaires de la wilaya de Jijel. Mémoire de master en biologie, spécialité Ecosystèmes aquatiques, Algérie : Université Mohammed Seddik Ben Yahia Jijel, 60 p.forWaterbirds: An International Perspective.Wetlands30.

Les annexes

Les annexes

Annexe 1. La carte d'occupation du sol de la wilaya Tissemsilt



Les annexes

Annexe 2. La carte de lithologie de chellif



Annexe 03: données climatiques et pluviométrique

NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Monthly and Annual

Dates (month/day/year): 01/01/2010 through 12/31/2021

Location: Latitude 35.743 Longitude 2.136

Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 863.48 meters

The value for missing source data that cannot be computed or is outside of the sources availability range: -999

Parameter(s):

T2M MERRA-2 Temperature at. 2 Meters (C)

T2M_MAX MERRA-2 Temperature at. 2 Meters Maximum (C)

T2M_MIN MERRA-2 Temperature at. 2 Meters Minimum (C)

Les annexes

PARAMETER	YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN		
T2M	2010	7,19	8,65	10,2	13,84	14,91	20,56	26,8	26,1	21,28	15,67	10,23	7,87	15,32	Temperature Mpyenne	
T2M	2011	7,15	6,24	9,42	15,67	17,45	21,33	24,83	26,71	22,26	16,25	10,93	6,77	15,47		
T2M	2012	5,5	3,32	10,1	11,18	18,38	24,3	26,49	28,34	21,99	17,65	11,71	7,78	15,61		
T2M	2013	6,3	5,19	9,86	12,82	14,86	19,94	24,69	25,24	21,24	19,82	8,87	6,26	14,65		
T2M	2014	7,09	7,72	8,61	14,7	17,69	21,14	24,65	26,05	23,24	17,74	11,88	5,93	15,58		
T2M	2015	5,45	5,04	9,48	15,36	19,27	21,27	27,9	26,89	21,58	17,15	11,26	9,01	15,87		
T2M	2016	8,38	8,2	8,5	13,98	17,44	22,62	27,24	26,12	21,47	19	10,74	7,65	15,98		
T2M	2017	4,58	8,46	11	14,29	20	24,87	28,08	28,38	22	16,83	10,4	6,06	16,29		
T2M	2018	6,69	5,51	9,4	13,27	15,76	21,2	26,4	25,3	22,83	15,43	10,46	8,65	15,13		
T2M	2019	5,22	6,63	10,1	12,63	16,94	24,17	28,39	27,84	22,94	17,48	9,9	9,01	15,99		
T2M	2020	6,21	10,9	11,2	14,82	20,26	22,98	28,59	28,69	22,39	16,05	12,86	8,03	16,94		
T2M	2021	7,55	10,2	10,1	14,59	19,95	24,61	28,73	29,32	25,12	16,86	9,45	8,48	17,12		
T2M_MAX	2010	20,6	25,9	25	28,68	31,27	33,94	39,15	38,11	32,87	34,3	21,95	23,37	39,15	Temperature Max	
T2M_MAX	2011	18,8	16,9	21,8	28,68	30,2	35,05	37,94	38,12	35,06	27,72	24,99	18,99	38,12		
T2M_MAX	2012	16,3	17,7	24,1	28,57	31,33	37,26	39,94	40,19	35,52	31,85	26,69	22,56	40,19		
T2M_MAX	2013	19,6	20	23,5	27,21	29,65	35,87	38,78	37,93	33,43	35,27	25,71	15,76	38,78		
T2M_MAX	2014	20,4	21,4	21,6	27,76	32,08	36,83	38,89	39,63	34,59	31,23	25,66	18,47	39,63		
T2M_MAX	2015	18,2	15,2	24,2	30,82	34,99	36,75	40,14	41,05	34,87	32,98	23,42	20,9	41,05		
T2M_MAX	2016	20,5	21,6	27,2	29,68	36,62	37,61	39,94	37,94	35,85	32,38	26,03	17,14	39,94		
T2M_MAX	2017	17,7	20,6	24,8	27,84	35,83	39,05	41,95	41,84	36	27,42	27,3	19,49	41,95		
T2M_MAX	2018	18,9	22,9	25,6	29,79	31,33	39,12	39,25	37,51	35,16	28,04	22,46	22,94	39,25		
T2M_MAX	2019	15,4	18,9	23,8	29,45	30,07	40,19	41,98	41,2	35,97	32,28	22,48	21,69	41,98		
T2M_MAX	2020	17,4	22,9	25,7	28,4	35,38	40,74	40,74	41,86	34,36	30,41	25,76	19,65	41,86		
T2M_MAX	2021	22,7	25,4	25,9	28,44	35,31	38,44	42,17	42,48	38,69	29,93	24,11	21,2	42,48		
T2M_MIN	2010	-	4,23	-3,3	-1,5	3,13	2,99	9,87	15,39	15,55	10,27	0,9	1,48	-4,72	-4,72	Temperature Min
T2M_MIN	2011	-	-3,2	-1,5	-3	4,94	7,11	8,77	14,01	16,34	11,9	5,26	3,26	-2,4	-3,2	
T2M_MIN	2012	-	2,27	-7,7	-2,3	0,09	4,48	11,87	13,51	17,22	9,98	0,55	2,15	-0,49	-7,66	
T2M_MIN	2013	-	0,96	-4,7	-0,8	2,23	3,65	7,43	12,45	13,76	12,33	7,82	-2,27	-2,81	-4,67	
T2M_MIN	2014	-	-0,7	-2,7	-1	4,15	5,72	5,73	13,08	15,9	13,58	6,37	3,34	-1,92	-2,68	
T2M_MIN	2015	-	3,17	-3,2	-1,6	5,37	5,26	10,62	17,76	14,76	10,62	6,3	-1,53	0,15	-3,2	
T2M_MIN	2016	-	3,49	-1,6	-1,2	-0,23	0,28	9,57	14,11	14,42	10,95	6,81	1,66	-2,55	-3,49	
T2M_MIN	2017	-	-4,6	-1,4	-1,4	2,53	7,2	11,43	10,51	17,33	10,96	7	0,53	-3,06	-4,6	
T2M_MIN	2018	-	2,76	-3,6	-1,9	1,58	4,44	9,12	15,64	15,28	11,44	3,26	1,41	-1,62	-3,62	
T2M_MIN	2019	-	2,76	-2,8	2,06	2,38	5,44	8,62	16,88	16	10,9	7,03	0,3	-1,14	-2,81	
T2M_MIN	2020	-	1,98	-1,5	0,41	5,33	7,02	9,7	16,16	17,16	9,93	5,76	1,48	-3,95	-3,95	

Les annexes

T2M_MIN	2021	3,21	0,44	-1,1	2,85	5,54	13,31	15,8	17,5	13,88	5,98	1,9	-1,45	-3,21
---------	------	------	------	------	------	------	-------	------	------	-------	------	-----	-------	-------

NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Monthly and Annual

Dates (month/day/year): 01/01/2010 through 12/31/2021

Location: Latitude 35.743 Longitude 2.136

Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 863.48 meters

The value for missing source data that cannot be computed or is outside of the sources availability range: -999

Parameter(s):

RH2M MERRA-2 Relative Humidity at. 2 Meters (%)

WS2M MERRA-2 Wind Speed at. 2 Meters (m/s)

PRECTOTCORR_SUM MERRA-2 Precipitation Corrected Sum (mm)

PARAMETER	YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN	
RH2M	2010	78,8	78,62	72,6	70,3	65,2	57,6	44,8	48	54,8	60,4	78,3	72,1	65	humidite relative (%)
RH2M	2011	76,3	75,12	68,3	62,4	65,1	60,2	51,6	43,8	53,6	62,9	70,5	80,6	64,1	
RH2M	2012	73,8	75,5	70,3	72,2	60,9	52,8	41,4	33,4	49,4	57,1	75,4	79,3	61,7	
RH2M	2013	81,1	75,88	76,5	68,5	68,1	58	55,2	46,6	60,9	52,5	76,9	77,9	66,4	
RH2M	2014	78,2	75,38	72,4	61,8	56,6	55,1	45	40,4	51,6	52,6	69,1	80,4	61,4	
RH2M	2015	75,4	82,62	68,4	60,2	53,3	54,5	36,2	44,4	54,9	64,1	68,6	60,8	60,1	
RH2M	2016	70,4	72,75	72,4	64,3	59,3	46,3	37,4	41,1	51,1	52,8	66,9	79	59,4	
RH2M	2017	76,9	72,94	65,3	63,5	56,1	45,7	33,8	38,6	45,6	52,4	56,9	78,3	57,1	
RH2M	2018	74,6	75,62	76,3	68,3	68,9	58,4	43,9	47,2	55,8	64,2	72,9	71,6	64,8	
RH2M	2019	78,3	65,81	69,1	68,1	58,4	44,7	39,1	42,6	52,8	56,1	79,8	74,4	60,7	
RH2M	2020	68,8	60,81	68,8	67,3	51	44,5	33,4	31,5	48,8	50,4	61,8	78,4	55,4	
RH2M	2021	78,3	66,44	64	62,1	53,2	49,4	34	32,2	44,6	52,6	81,6	73,3	57,6	
WS2M	2010	4,16	4,29	3,01	2,49	2,84	2,57	2,23	2,24	2,68	2,88	3,94	3,55	3,06	Vitesse de vent (M/S)
WS2M	2011	2,54	3,29	3,25	2,57	2,69	2,08	2,74	2,38	2,21	2,08	3,45	2,57	2,65	
WS2M	2012	2,52	2,83	2,15	3,73	2,27	2,45	2,6	2,66	2,48	3,12	3,16	2,87	2,73	
WS2M	2013	4,25	3,81	4,64	2,85	2,91	2,34	2,13	2,28	2,4	2,27	3,21	2,48	2,96	
WS2M	2014	3,66	3,96	3,48	2,91	2,33	2,4	2,29	2,45	2,9	2,44	3,62	3,21	2,96	
WS2M	2015	3,12	4,21	2,71	2,59	2,44	2,03	2,23	2,55	2,31	2,39	2,09	1,96	2,54	
WS2M	2016	3,19	4,16	3,27	2,69	2,88	2,55	2,58	2,28	2,23	2,26	3,09	2,24	2,78	
WS2M	2017	3,43	3,5	2,78	2,34	2,46	2,57	2,55	2,46	2,36	1,96	2,59	3,16	2,68	
WS2M	2018	2,98	2,91	4,5	3,29	2,41	2,35	2,23	2,02	2,26	2,85	3,52	2,23	2,79	
WS2M	2019	3,14	2,55	2,45	3,11	2,5	2,54	2,72	2,52	2,47	2,64	4,58	3,43	2,88	
WS2M	2020	1,98	2,02	3,33	3,05	2,56	3,13	2,5	2,84	2,48	2,8	2,73	3,88	2,78	
WS2M	2021	3,65	3,61	2,24	2,58	2,75	2,63	2,79	2,68	2,71	2,13	3,64	3,34	2,89	
PRECTOTCORR_SUM	2010	79,1	131,8	79,1	36,9	52,7	5,27	0	58	5,27	73,8	79,1	31,6	633	precipitationes (mm)
PRECTOTCORR_SUM	2011	47,5	84,38	36,9	116	94,9	52,7	0	0	0	42,2	79,1	31,6	585	
PRECTOTCORR_SUM	2012	10,6	63,28	100	169	31,6	0	0	0	0	52,7	111	21,1	559	
PRECTOTCORR_SUM	2013	111	100,2	89,7	127	47,5	0	10,6	0	26,4	0	73,8	94,9	680	

Les annexes

PRETOTCORR_SUM	2014	63,3	52,73	111	10,6	26,4	79,1	0	0	47,5	21,1	63,3	79,1	554
PRETOTCORR_SUM	2015	121	216,2	31,6	0	5,27	31,6	0	0	21,1	79,1	42,2	0	548
PRETOTCORR_SUM	2016	47,5	116	137	47,5	21,1	5,27	0	0	10,6	0	100	68,6	554
PRETOTCORR_SUM	2017	248	5,27	21,1	0	31,6	10,6	0	0	10,6	58	47,5	105	538
PRETOTCORR_SUM	2018	31,6	47,46	185	132	31,6	5,27	0	0	52,7	68,6	84,4	26,4	664
PRETOTCORR_SUM	2019	142	36,91	52,7	68,6	0	0	0	0	47,5	5,27	105	36,9	496
PRETOTCORR_SUM	2020	26,4	0	31,6	68,6	15,8	0	0	0	0	10,6	15,8	163	332
PRETOTCORR_SUM	2021	63,3	26,37	31,6	25,4	26,4	15,9	1,2	5,48	9,72	12,4	163	43,8	425