

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
Université Hadj Lakhdar - Batna -



FACULTE DES SCIENCES  
DEPARTEMENT DES SCIENCES  
DE LA TERRE



MEMOIRE  
Pour l'Obtention Du Diplôme De Magister En Science  
En Aménagement du territoire

Option : Dynamiques Des Milieux Physiques  
Et Risques Naturels

*Thème :*

**Apport de la géomatique pour l'évaluation du  
risque d'érosion hydrique des sols dans le  
bassin versant de Bouzina**

**REALISE PAR :**  
HABIBI Yahiaoui

SOUTENU PUBLIQUEMENT LE : 03 Juillet 2011

**DEVANT LE JURY COMPOSE DE :**

Mme DRIDI Hadda	Professeur	UHLB	Présidente
Mr GUETTOUCHE Mohamed Said	Professeur	USTHB	Rapporteur
Mr KALLA Mahdi	Professeur	UHLB	Examineur
Mr YAHIAOUI Abd Elwahab	Maitre de conférence	UHLB	Examineur

Année universitaire : 2010/2011

# REMERCIEMENT

*Je remercie le bon Dieu qui m'a donné la patience et la force pour atteindre mes buts.*

*Je tiens à présenter mes humbles et sincères remerciements, ainsi que ma profonde gratitude à mon promoteur, le professeur **Guettouche Mohamed Said**, pour tous ses conseils judicieux et son soutien tout au long de la préparation de ce travail, ainsi que pour sa patience et son aide précieux.*

*Je remercie chaleureusement Mon enseignant le professeur **Kalla Mahdi***

*Le directeur du Laboratoire de recherche « Risques Naturels et Aménagement du Territoire » **LRNAT** pour ses conseils et ses explications très précieuses.*

*Je tiens à exprimer ma gratitude à Mme **Dridi Hadda** pour ses conseils judicieux et fructueux.*

*Je souhaite également remercier Monsieur **Yahiaoui ABDelwahab***

*d'avoir accepté de juger mon travail.*

*Mes remerciements s'adressent à mes collègues et à mes amis pour toute l'aide et le soutien moral.*

*Je faillirais à mon devoir si je n'adressais pas mes remerciements à tous les*

*enseignements qui ont contribué à notre formation.*

*Enfin je tiens à remercier tous ceux qui m'ont aidé pour achever ce travail.*

**TABLE DES MATIERES :**  
**Introduction générale**

---

**Partie 01 : Description de la zone d'étude**

**Chapitre 1 : Cadre géographique**

1.1- DESCRIPTION TOPOGRAPHIQUE .....	8
1.2- LE CONTEXTE GEOLOGIQUE .....	9
1.2.1- Le Sénonien .....	9
1.2.2- Le Tertiaire.....	11
1.2.3 Le Quaternaire .....	13
1.3- DESCRIPTION GEOMORPHOLOGIQUE.....	14
1.4- LE COUVERT VEGETAL.....	15
Conclusion.....	16

**Chapitre 2 : Paramètre morpho métriques et hydro-climatologiques**

1- PARAMETRES MORPHOMETRIQUES.....	18
1.1- Paramètres de forme.....	18
A - Indice de compacité de Gravélius ( $K_c$ ).....	18
B –Le rectangle équivalent.....	18
1.2-Caractéristiques hypsométriques.....	19
A – La courbe hypsométrique.....	19
B- les altitudes caractéristiques.....	20
C - Les indices de pentes.....	21
Indice de pente globale ( $I_g$ ) .....	21
Indice de pente moyenne ( $I_m$ ).....	21
Indice de pente de roche ( $I_p$ ).....	22
D- Dénivelée spécifique ( $D_s$ ) .....	22
1.3-Les caractéristiques du réseau hydrographique.....	23
A- Densité de drainage ( $D_d$ ).....	23
B- Le temps de concentration (TC).....	25
C - Vitesse d'écoulement de l'eau ( $V_c$ ).....	25
2 - CARACTERISTIQUES HYDROCLIMATOLOGIQUES.....	27
2.1- La température.....	27

---

---

2.1- La Pluviométrie.....	29
A - Variation interannuelle.....	29
2.2- Répartition mensuelle et saisonnière des précipitations.....	31
B- Estimation de la lame d'eau précipitée sur le bassin versant.....	34
La Méthode de la moyenne arithmétique .....	34
Méthode des isohyètes.....	34
2.4- La neige.....	37
3- Le diagramme d'Emberger.....	37
4 - Evapotranspiration ou déficit d'écoulement.....	39
4.1- L'évapotranspiration potentielle (ETP).....	39
4.2 - L'évapotranspiration réelle (ETR).....	41
5 - Calcul Du bilan hydrique selon Thornthwaite.....	42
6 - Estimation du ruissellement (R).....	45
Conclusion.....	46

### **Chapitre 3 : Enjeux socio-économiques**

3.1 ETUDE DE LA POPULATION.....	48
3.1.1 Evolution de la population .....	48
3.1.2 Répartition géographique de la population.....	48
3.1.3 Structure de la population par catégories.....	49
3.1.4 Structure par âge.....	49
3.1.5 Catégorie des activités économiques.....	51
3.2 AGRICULTURE.....	52
3.2.1 Agriculture irriguée.....	53
3.2.2 Exploitations agricoles.....	54
3.2.3 Production agricole.....	56
3.2.4 Production pastorale et animale.....	56
3.2.5 Matériels et infrastructures agricoles.....	59
3.3 HABITAT ET INFRASTRUCTURES.....	59
Les infrastructures de la commune de Bouzina.....	60
A - Infrastructures sociales.....	60
B- Autres équipement.....	60
C- Des équipements électriques.....	60
D- Equipement de poste et Télécommunication.....	60

---

---

E - Equipements d'eau potable et d'assainissement.....	60
3.4 LES RESEAUX.....	61
3.4.1 EAU POTABLE.....	61
3.4.2 ASSAINISSEMENT.....	62
3.4.3 INFRASTRUCTURE ROUTIERES .....	62
3.5 LE PROJET DU BARRAGE DE BOUZINA.....	62
Conclusion .....	63

## **Partie 02 : Etude du risque d'érosion**

### **Chapitre 01 : Définition et méthodologie**

1.1 DEFINITIONS ET DESCRIPTION.....	66
1.1.1 Définitions.....	66
1.1.2- Dégâts liés au risque d'érosion hydrique .....	67
1.2 APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE .....	68
1.2.1/ Modélisation du risque d'érosion hydrique .....	69
1.2.1.1 / Modèle de l'aléa érosion hydrique.....	69
a- Erosivité des pluies (R).....	70
b- Erodibilité des sols (K).....	70
c - La pente et la longueur de pente (L.S) .....	71
d – Couvert végétal et pratiques culturales (C) .....	71
d –Pratiques anti - érosives (P) .....	71
1.2.1.2 / Modélisation de la vulnérabilité.....	72
1.2.2/ Spatialisation du risque d'érosion : Apport de la Géomatique .....	72
Conclusion.....	74

### **Chapitre 02 : L'aléa (érosion hydrique des sols)**

2.1- Etude d'érodibilité des sols "K".....	76
2.2- Etude d'érosivité des pluies "R".....	80
2.3- Etude du facteur pente et longueur de pente "LS".....	84
2.4- L'indice "C" .....	88
2.5- L'indice "P".....	88
3 – L'ÉVALUATION DE L'ALÉA D'ÉROSION.....	90
Conclusion .....	92

---

---

## Chapitre 03 : Vulnérabilité et cartographie du risque d'érosion

1- DEFINITION DE LA TELEDETECTION.....	94
2- PRESENTATION GENERALE DES SATELLITES (LANDSAT) .....	95
2.1- Caractéristiques orbitales .....	95
2.2- Systèmes embarqués.....	95
2.3 - Les satellites – LANDSAT.....	96
3- METHODOLOGIE ADOPTEE.....	96
3.1- Les différentes phases d'analyse d'image –LANDSAT-.....	97
a- La composition colorée .....	97
b- Correction géométrique.....	99
C- Classification de l'image .....	99
3.2- Missions d'échantillonnages et réalité de terrain.....	99
3.3- Validation de la classification.....	101
4/ LA CARTE DE VULNERABILITE AU RISQUE D'EROSION.....	103
5 - LA CARTOGRAPHIE DU RISQUE D'EROSION .....	105
Conclusion.....	107

### Partie 03 : Résultats et recommandations

#### Chapitre 01 : Validation des résultats

1- Paramètres de terrain .....	110
2- Le choix des stations d'observation.....	112
3- Résultats et observations enregistrés.....	114
3.1- Les zones à risque élevé.....	114
3.2- Les zones à risque modéré.....	115
3.3- Les zones à risque faible .....	115
Conclusion.....	116

#### Chapitre 02 : Proposition d'aménagement

1- LA PROTECTION MECANIQUE.....	118
1.1- Stabilisation des ravines.....	118
1.2 - Les murettes .....	119
1.3 – Rideaux.....	120

---

---

1.4 - Les banquettes.....	120
2-LA PROTECTION BIOLOGIQUE.....	121
2.1-Reboisement.....	121
2.2-Plantations fruitières.....	122
2.3-Amélioration des parcours.....	122
<b>Conclusion générale</b>	

---

## Liste des Abréviations :

Abréviation	Signification
<b><i>SIG</i></b>	Système d'Information Géographique
<b><i>GPS</i></b>	Général Position System
<b><i>EN VI</i></b>	ENvironment for Visualising Image
<b><i>BV</i></b>	Bassin versant
<b><i>Dj</i></b>	Djebel
<b><i>UTM</i></b>	Universel Transverse Mercator
<b><i>Kc</i></b>	Indice de Compacité de gravélius
<b><i>Ig</i></b>	Indice de pente Globale
<b><i>Im</i></b>	Indice de pente Moyenne
<b><i>Ip</i></b>	Indice de pente de roche
<b><i>Ds</i></b>	Dénivelée Spécifique
<b><i>DD</i></b>	Densité de Drainage
<b><i>SCS</i></b>	Soil Conservation Service
<b><i>ANRH</i></b>	Agence Nationale des Ressources Hydriques
<b><i>RGPH</i></b>	Recensement Général de la Population et d'Habitat
<b><i>SAU</i></b>	Superficie Agricole Utile
<b><i>DPAT</i></b>	Direction de la Planification et Aménagement du Territoire
<b><i>ORSTOM</i></b>	Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre Mer
<b><i>USLE</i></b>	Universal Soil Loss Equation
<b><i>JPEG</i></b>	Format des Image scannées
<b><i>Tab</i></b>	Table
<b><i>MNT</i></b>	Modèle Numérique de Terrains
<b><i>RBV</i></b>	Return Beam Vidicon
<b><i>MSS</i></b>	Multi Spectral Scanner
<b><i>ENHYD</i></b>	Entreprise nationale des études hydrauliques
<b><i>ETM+</i></b>	Enhanced Thematic Mapper Plus

---

## Liste des tableaux :

N°	Intitulé	page
01	La légende de la carte géologique	11
02	La Répartition altimétrique de différentes tranches d'altitude du bassin versant de Bouzina	19
03	Classification des reliefs d' l'O.R.S.T.O.M.	22
04	Récapitulatif des paramètres morphométriques	26
05	Températures Moyennes Mensuelles Et Annuelle des trois stations	27
06	Années sèches et années humides	30
07	Répartition mensuelle et saisonnière des précipitations	32
08	la lame d'eau tombée sur le B.V selon lame de la moyenne arithmétique	34
09	Résultats de la planimétrie des surfaces inter-isoyètes du bassin versant de Bouzina	35
10	Les valeurs de Q2	37
11	Calcule de l'ETP selon Thornthwaite : (Station S'gag)	40
12	Calcule de l'ETP selon Thornthwaite : (Station Bouzina)	40
13	Calcule de l'ETP selon Thornthwaite : (Station Menâa)	40
14	Evapotranspiration réelle mensuelle des stations S'gag,Bouzina et Menâa	41
15	Calcule du bilan hydrique : (Station S'gag)	42
16	Calcule du bilan hydrique : (Station Bouzina)	43
17	Calcule du bilan hydrique : (Station Menâa)	44
18	L'évolution de la population de la commune de Bouzina (1977-2008) D'après les statistiques de recensement général de population et d'habitat « RGPH »	48
19	La Répartition de la population par catégorie en 2005	49
20	La structure et le taux de population urbaine et rurale de la commune de Bouzina en 2005.	50
21	Distribution de la population active dans le secteur selon le domaine de travail, 1997-2005	51
22	Pourcentage et structure des sols	54
23	Utilisation de la superficie agricole utile en 2008	54
24	Utilisation de la superficie agricole utile en 2008	55
25	Les produits Agricoles dans la commune de Bouzina (2008)	56
26	La production pastorale et animale	57
27	La répartition de la production animale dans la commune (2008)	58
28	Distribution du cheptel en 2008	58
29	Matériels et infrastructures agricoles	59
30	Ressources hydriques	61
31	Résultats des analyses granulométriques	76
32	Résultats de calcul de K	77
33	Variable de Gauss selon les fréquences	81
34	Les stations étudiées	81
35	Le calcul de l'érosivité des pluies	82
36	Diagramme du degré de risque	105

## Liste des Cartes :

N°	Intitulé	page
01	Localisation et situation de la zone d'étude	03
02	La géologie du bassin versant	10
03	La lithologie du bassin versant	13
04	Le réseau hydrographique	24
05	Carte des isohyètes de précipitation	36
06	Localisation des points d'échantillonnage	78
07	Carte de spatialisation de l'érodibilité	79
08	La spatialisation de l'érosivité des pluies	83
09	Modèle numérique du bassin versant de Bouzina	85
10	Carte de pente du bassin versant	86
11	Carte des aspects du bassin versant	87
12	La spatialisation du facteur végétal C	89
13	La spatialisation de l'aléa d'érosion	91
14	La composition colorée Canaux B4,B3 et B1	98
15	La carte d'occupation des sols	102
16	Carte de vulnérabilité à l'érosion	104
17	Carte du risque d'érosion	106
18	Localisation des points d'appui pour la validation de la carte du risque d'érosion	113
19	Carte des propositions d'aménagements anti-érosifs	123

---

## Liste des figures :

N°	Intitulé	page
01	Courbe Hypsométrique du Bassin versant de Bouzina	21
02	Variation des températures moyennes mensuelles Station S' gag (1913-1953)	28
03	Variation des températures moyennes mensuelles Station Bouzina (1986-1996)	28
04	Variation des températures moyennes mensuelles Station Menaâ (1986-1996)	28
05	Les variations interannuelle des précipitations aux stations de S'gag, Bouzina et Menaâ	30
06	Variation des précipitations moyennes mensuelles aux stations S'gag, Bouzina et Menaâ	32
07	Précipitations saisonnières aux stations de S'gag, Bouzina et Manâa	33
08	Situation de la zone d'étude dans le Climagramme d'Emberger	38
09	Evolution de la population de la commune de Bouzina	48
10	La structure de la population par catégorie	49
11	La structure de population urbaine et rurale de la commune de Bouzina en 2005.	50
12	Evolution de la population active selon les domaines de travail (1997-2005)	51
13	Répartition de la population active selon les domaines de travail en 1997	52
14	Répartition de la population active selon les domaines de travail en 2005	52
15	Utilisation de la superficie agricole utile en 2008 par nombres	54
16	Utilisation de la superficie agricole utile en 2008 par nombres	55
17	Répartition de la superficie agricole utile S.A.U en 2008	55
18	La production Agricole dans la commune de Bouzina en 2008	56
19	Répartition de la superficie utilisée par l'agriculture	57
20	La distribution de la production animale dans la commune (2008)	58
21	Type et nombre des Ressources hydriques	61
22	Le risque : résultat de l'interaction entre l'aléa et la vulnérabilité	67
23	Schéma d'un SIG	73
24	Réalisation du SIG.	73
25	Le système télédétection	94
26	Organigramme des différentes étapes de la réalisation d'une carte d'occupation du sol.	97
27	Les variables de terrain permettant d'apprécier l'érosion hydrique des sols.	111
28	Rideaux et banquettes	120

---

## Liste des photos :

<b>N°</b>	<b>Intitulé</b>	<b>page</b>
<b>01</b>	Oued Nerdhi alimenté par les eaux des neiges.	08
<b>02</b>	Oued Bouzina au Sud du bassin versant.	09
<b>03</b>	Lutetien ; marnes, grès et sables rouges(Plaine de Nirdhi, Source Ain Louci)	12
<b>04</b>	.Vue générale du bassin versant de Bouzina à partir du Col de thniet Lahmadi	14
<b>05</b>	Plaine de Nirdhi et extrémité NE du synclinal (Calcaires du Maestrichtien)	15
<b>06</b>	Les différentes espèces de l'association végétale	16
<b>07</b>	L'arboriculture sur les jardins.	53
<b>08</b>	La céréaliculture au niveau de la plaine de Nirdhi.	53
<b>09</b>	Quelques pratiques d'aménagement anti-érosifs	88
<b>10</b>	Les différentes parcelles représentatives de l'occupation du sol.	100
<b>11</b>	L'ampleur de l'érosion en zone à risque élevé	114
<b>12</b>	L'ampleur de l'érosion en zone à risque moyen	115
<b>13</b>	Les zones à risque faible avec des aménagements	115



*Introduction*  
*générale*

L'**érosion hydrique** constitue l'un des principaux processus de dégradation des sols, causant des problèmes à l'environnement. Elle a des retombées socio-économiques à l'échelle locale, régionale et nationale.

Le bassin versant de **Bouzina**, situé sur le versant méridional du massif des Aurès, souffre de ce problème ; il présente un relief accentué, un climat semi -aride et un couvert végétal dégradé. L'ensemble de ses aspects associés à l'occupation des sols et à l'action anthropique favorise sa vulnérabilité à l'érosion hydrique.

Par ailleurs, ce bassin intramontagnard fait l'objet d'un ouvrage hydraulique à l'exutoire dont les retombées socio-économiques sur les habitants et leurs activités sont importantes et longtemps attendues. A ce titre sa pérennité doit constituer un souci majeur et dépend des apports solides que fournit l'impluvium ; d'où l'importance que revêt une cartographie précise de la vulnérabilité à l'érosion ; sur la base de laquelle les décideurs doivent orienter les actions prioritaires dans la protection du milieu.

La lutte contre l'érosion hydrique en particulier et la complexité de ce phénomène imposent aujourd'hui l'utilisation de méthodes et de moyens performants pour la gestion de l'information géographique. C'est dans cette optique que s'intègre notre travail de recherche qui a pour objectif principal, de développer une méthode basée sur l'intégration des **images satellitaires** et de données cartographiques dans un **système d'information géographique (SIG)** pour l'identification et la cartographie des zones à **risques d'érosion hydrique**. Ce SIG permettra la spatialisation numérique du degré de risque d'érosion, nécessaire à une planification territoriale, de la manière la plus optimisée possible. Il aura comme originalité de permettre la compréhension de l'aléa érosion hydrique et le risque associé à l'échelle de la zone choisie pour arriver à une bonne maîtrise de l'espace.

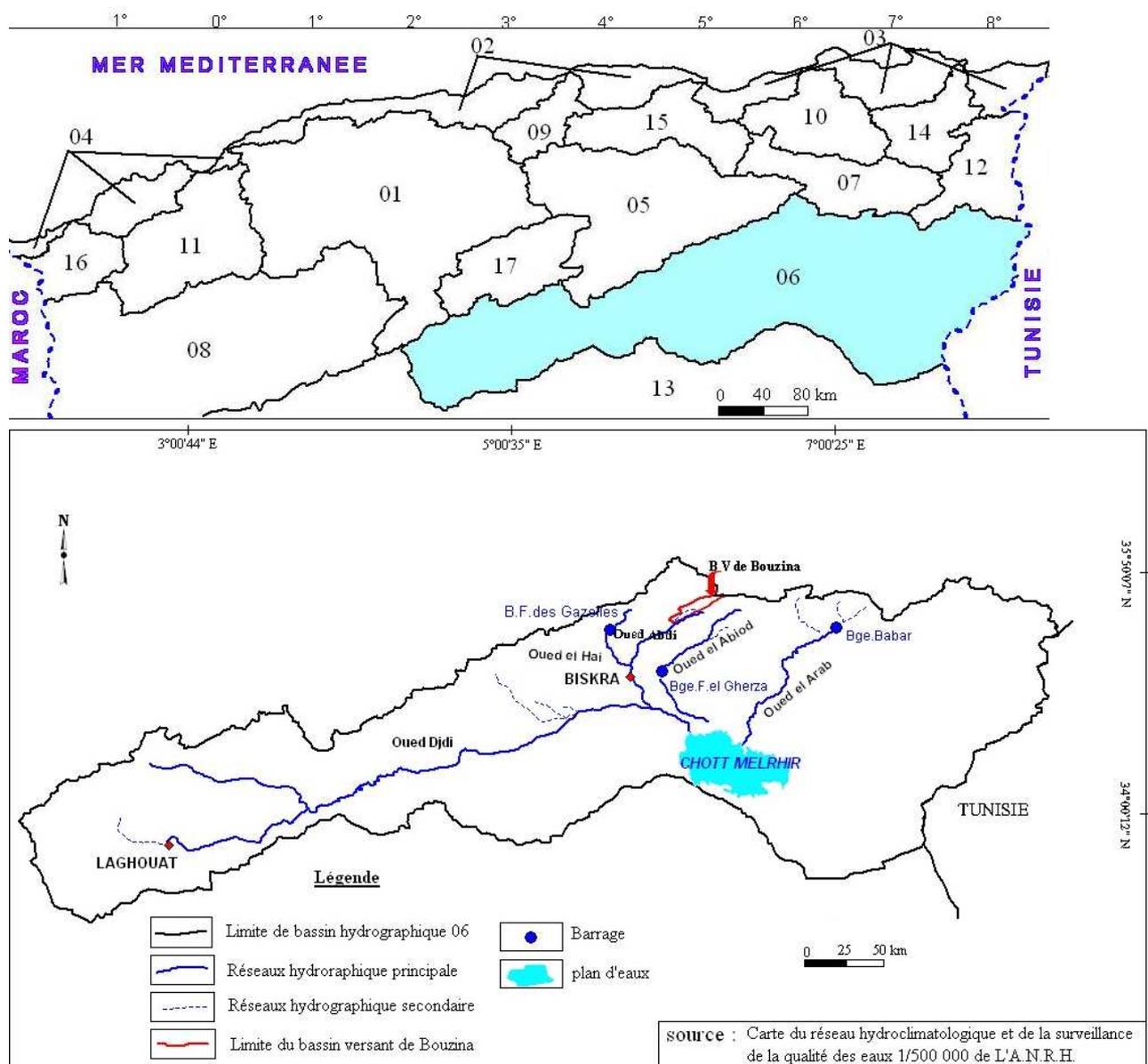
## **CHOIX DE LA ZONE D'ÉTUDE**

Le choix du terrain d'investigation est porté sur le bassin versant de Bouzina (Carte 01) sous bassin du grand Chott Melghir(06), qui est située à l'intérieur du massif des Aurès. Il est coincé entre les coordonnées cartographiques X : 05,97° et 06,30° et Y : 35,18° et 35,35° et entouré au nord par Dj el Rharab, à l'Ouest par Dj Bous et à l'Est et Sud-Est par Dj Mahmel. Ce bassin se situe entre

Les eaux de surface coulent du Nord-Est vers le Sud-Ouest, le long du thalweg principal de l'oued Bouzina (affluent de l'Oued Abdi) sur une longueur de 30 km.

Administrativement, le bassin de Bouzina est situé dans la wilaya de Batna. Le bassin versant de Bouzina à environ 80 km au sud de la ville de Batna, à 25 km au Nord d'Arris et à 60 km au Nord-Est de Biskra. Il appartient entre autre à la commune de Bouzina, située au Sud de la ville de Batna, qui est limitée :

- ✓ Au Nord et au Nord-Est par les communes de Larbaâ, Oued-Taga, Theniet El Abed et Béni Foudala.
- ✓ A l'Est par la commune de Theniet El Abed.
- ✓ Au Sud et au Sud Ouest par les communes de Chir, Menaâ et Ain Zaâtout (wilaya de Biskra).
- ✓ A l'Ouest par la commune de Maâfa.



**Carte N° 01 - Localisation et situation de la zone d'étude.**

Le choix de ce bassin est dicté par la diversité de ses paysages géodynamiques, malgré qu'il occupe un espace réduit, mais surtout, par sa position centrale par rapport au massif des Aurès et ses données naturelles et humaines diversifiées et contrastées.

## **METHODOLOGIE**

Le présent travail consiste en l'élaboration d'une cartographie numérique détaillée du risque d'érosion hydrique dans le bassin de Bouzina. La prise en charge de cette thématique nécessite un certain nombre de moyens et une méthodologie spécifique.

Il existe une gamme de méthodes et techniques susceptibles de contribuer à l'identification et à la cartographie du risque d'érosion et aussi à l'évaluation du potentiel sol. Notre approche méthodologique repose sur plusieurs étapes, définies comme suit :

**L'inventaire et la synthèse sur l'existant** : consistent en la collecte d'informations relatives à la thématique et à la région concernée (études, cartes, photos et images, etc..). Cette étape permettra d'établir une typologie et de dresser une minute sur les facteurs naturels dans la zone d'étude.

**Les traitements d'images préalables**, qui consistent en une première reconnaissance des espaces occupés et/ou dégradés sur les images satellitaires, pour mieux définir les limites et les expansions des unités cartographiques nécessaires.

**L'investigation de terrain** : est portée, sur les observations directes et les différentes cartographies, ainsi que les enregistrements spécifiques de terrain et l'échantillonnage. L'analyse de toutes ces données a permis l'établissement de cartes numériques de synthèses.

**Les traitements de données** : Plusieurs traitements et analyses de données ont été effectués en relation avec les spécificités de chacun des types d'informations recueillies. Ces opérations concernent les traitements géographiques, mathématiques et informatiques.

**L'approche SIG** : L'ensemble des données obtenues ont été compilées et implémentées pour définir un modèle de représentation cartographique de ces informations. En effet, une base de données géoréférencées, organisée et structurée à l'aide d'un SIG a été réalisée pour une meilleure caractérisation du risque d'érosion ou même une simulation de son évolution.

Pour la réalisation de cette étude, plusieurs moyens matériels ont été utilisés. Il s'agit de :

-Cartes topographiques au 1/50.000 (feuilles de: Arris Est, Arris Ouest, Ain Touta Est, Elkatara Est et Tkout Ouest).

- photos aériennes et Images satellitaires à très haute résolution spatiale. Pour cela, nous disposons d'une image satellitaire de Landsat ETM+ d'une résolution de 30m (année 2001)
- de Logiciels de traitements et de graphisme, à savoir le logiciel MAPINFO professionnel version 7.5 pour le SIG et
- le logiciel ENVI 4.2 pour le traitement d'images.

Toutes ces étapes d'acquisition de données sur terrain et d'analyse, ont permis de faire des traitements minutieux et des analyses indispensables à l'obtention de meilleures corrélations des résultats escomptés.

## **PLAN**

Le travail s'articulera autours de trois parties :

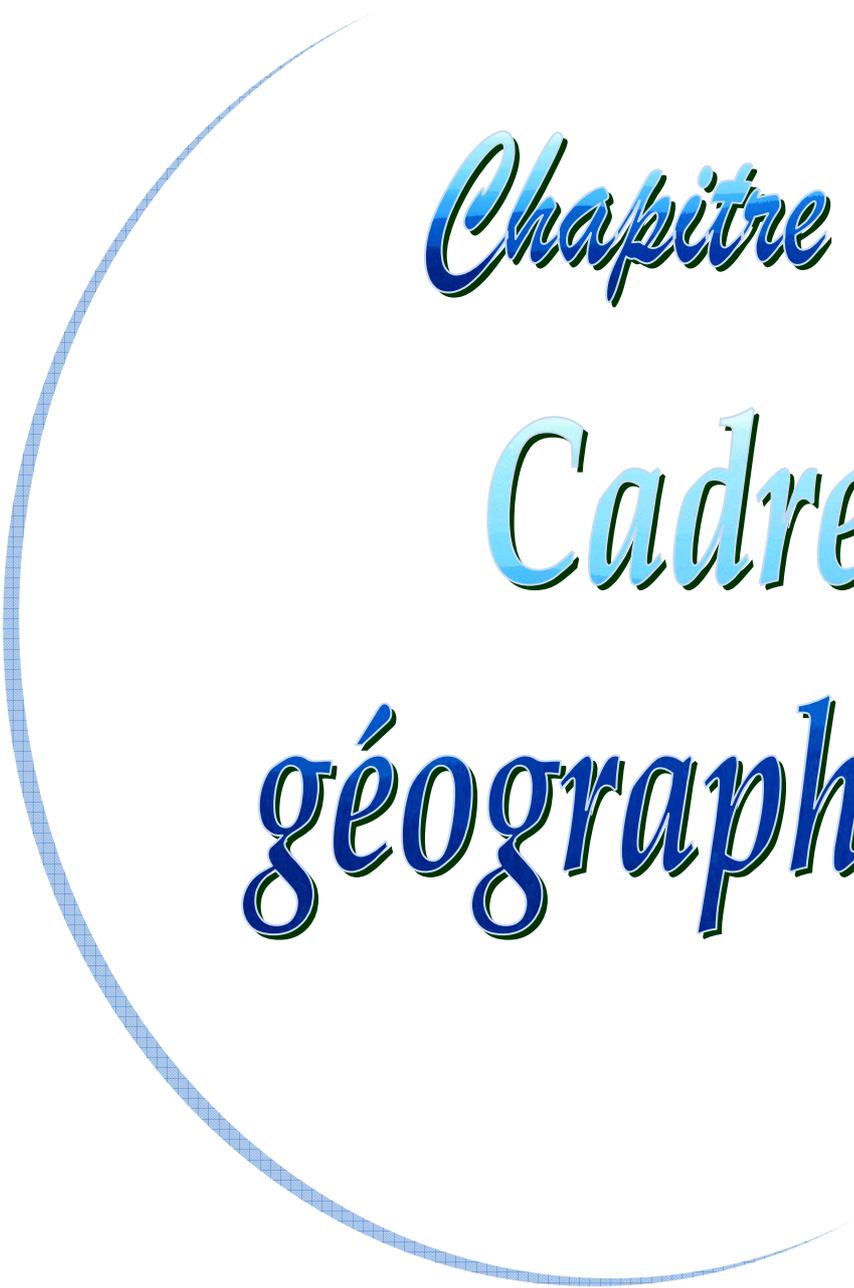
La **première** partie concerne la description de la zone d'étude et se répartit sur trois chapitres traitant les caractéristiques morphologiques, géologiques, morpho-métriques et hydro-climatologiques ; ainsi que les données socio-économiques du bassin versant. Toutes ses caractéristiques jouent un rôle très important dans la dynamique du phénomène d'érosion.

La **deuxième** partie traite les étapes suivies pour l'étude du risque d'érosion, elle commence par une présentation des aspects théoriques sur le risque et son aléa, les nouvelles techniques de géomatique, après la mise en place d'un SIG de tout les paramètres intervenant dans l'aléa d'érosion, enfin l'utilisation des images satellitaires pour la connaissance de l'occupation des sols qui sera la base d'une spatialisation de la vulnérabilité au phénomène.

Elle se termine par l'application de notre démarche développée, aux résultats obtenus concernant le risque d'érosion hydrique et son spatialisation cartographique, en montrant l'apport des nouvelles techniques de géomatique dans ce domaine. Cette partie se termine par des propositions de techniques d'aménagements antiérosifs que nous estimons adéquates.



*Partie 01*  
*Description*  
*de la*  
*zone d'étude*



*Chapitre 01*

*Cadre*

*géographique*

Ce chapitre est consacré à l'étude des caractéristiques géographiques du bassin versant, à savoir les aspects topographique, géologique, morphologique et végétal.

Pour la géologie, nous nous sommes basés sur les travaux de Laffite 1939, pour décrire la structure et les différentes formations litholo-stratigraphiques.

### **1.1- DESCRIPTION TOPOGRAPHIQUE**

L'aspect topographique de la vallée de Bouzina est celui des bassins inter-montagnards des Atlas Algériens. Il s'agit en général d'une vallée en forme de V, étroite et profonde, aux versants raids et profondément ravinés ; ceci apparaît comme le trait dominant du modelé du relief dans les Aurès.

Transversalement la vallée se développe sur une largeur d'environ 7 km entre les crêtes Kroumet kheloua\_ Kef El Mehnab\_ Kroumet Edib au SE et Dj El Rherab El Malou au NW. Elle est drainée par un réseau hydrographique constitué de deux branches séparées par koudiat El Arar (photo 1 et 2): Oued Nerdhi au Nord et Oued Bouzina au Sud.

Le cours principale de l'Oued Bouzina ne devient pérenne qu'à partir du moment où le thalweg entaillé en canyon dans les calcaires éocènes, rejoint de grosses sources au niveau du vieux Bouzina.

Vers le Sud Ouest, il coule dans une vallée, étroite et profonde, coincée entre Dj Bouss et Dj Tissidelt. Abandonnant le synclinal rempli de dépôts oligocènes surmontés par endroits de poudingues et de calcaires, il traverse la barre calcaire maestrichtienne à khanget El Anasseur à un endroit où elle est dominée par les poudingues.



**Photo N° 01** : Oued Nerdhi alimenté par les eaux des neiges.



**Photo N° 02** : Oued Bouzina au Sud du bassin versant.

Néanmoins, il faut noter que la vallée de Bouzina est une réplique fidèle d'une structure tectonique en synclinal, étroit et allongé, aux flancs redressés.

## **1.2- LE CONTEXTE GEOLOGIQUE**

Sur le plan structural, notre bassin s'inscrit dans un vaste synclinal, aménagé dans une série de formations allant du Sénonien au Quaternaire (carte 2 et tab .1).

### **1.2.1- Le Sénonien**

LAFFITTE (1939) différencie dans le Sénonien les étages classiques, à s'avoir : le Coniacien, le Santonien, le Campanien et le Maestrichtien.

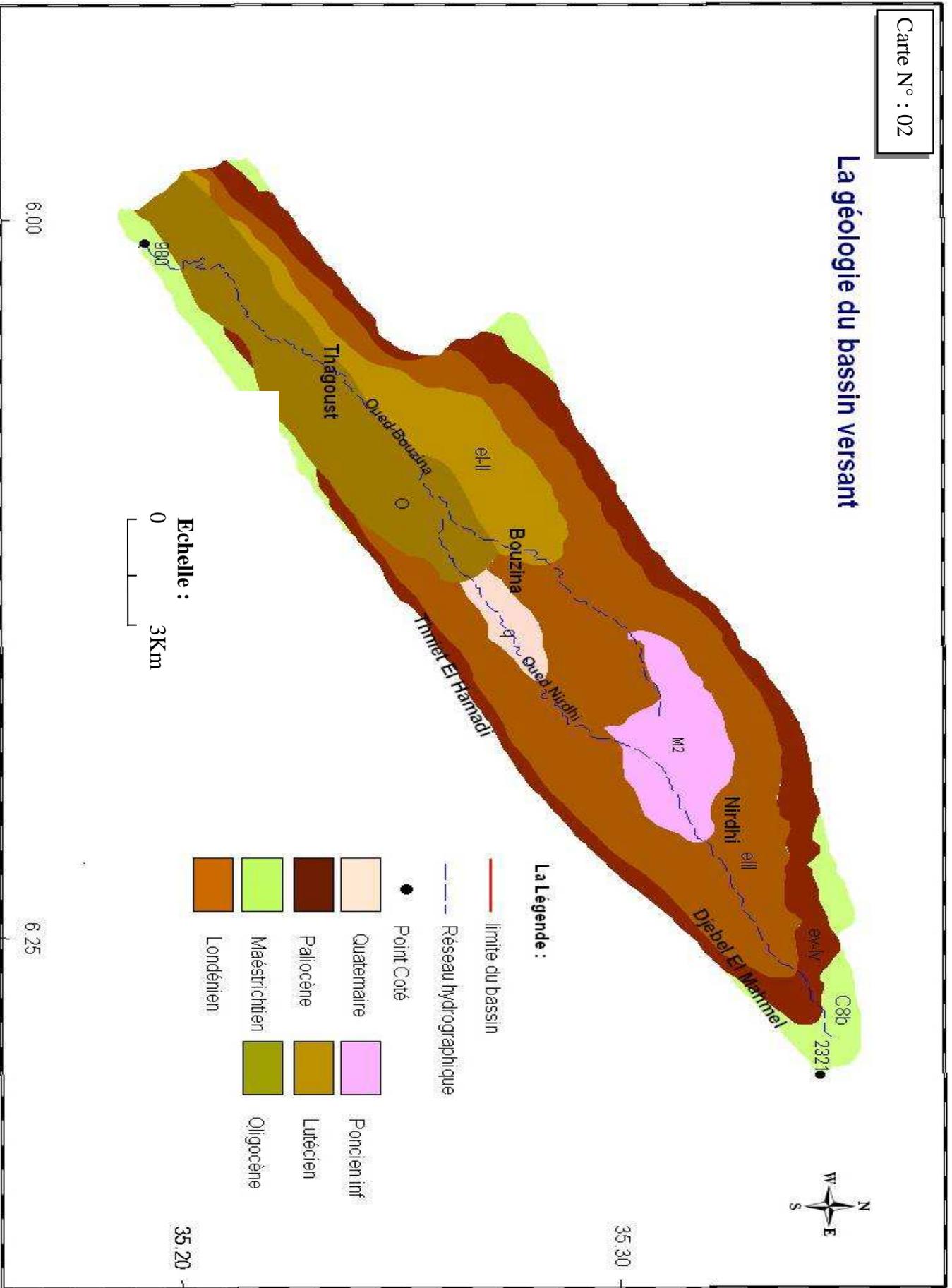
Il décrit le Sénonien des Aurès dans ces termes : *"Le Sénonien existe dans tous les synclinal de l'Aurès, très épais 2000 m en moyenne, il occupe en affleurement des surfaces considérables.*

*La partie supérieur de l'étage formé généralement de calcaires massifs, donne des crêtes immenses, continues, qui sont un des éléments caractéristiques de l'orographie de la région, le Dj Mahmel qui avec ses 2321 m est inférieur que de 8 m du Chéllia et de 15 m du Dj Aissa point culminant de tout l'Algérie, est formé par les calcaires du Maestrichtien, ce sont ces mêmes assises qui donnent aux synclinaux leurs formes en vals si caractéristiques. "*

Sur le flanc Sud de Dj Mahmel des niveaux marneux, de plus de 400 mètres, affleurent entre les calcaires du Sénonien inférieur et les calcaires massifs du Maestrichtien (photo 3) qui forment les crêtes du synclinal. LAFFITTE considère que les analogies d'aspect et de situation avec d'autres régions des Aurès permettent de les rattacher au Campanien.

Au dessus, le Maestrichtien débute par 50 à 60 m d'alternances de marnes et de calcaires pour passer ensuite à des calcaires épais de 300 m environ.

# La géologie du bassin versant



### La Légende :

- linnite du bassin
- Réseau hydrographique
- Point Coté
- Quaternaire
- Palioène
- Maëstrichtien
- Londénien
- Poncier inf
- Lutécien
- Oligocène

Echelle :  
0 3Km



6.00

6.25

35.30

35.20

**Tableau n° 01** : Description de la carte géologique

<i>Signes</i>	<i>étage</i>	<i>Lithologie</i>
M <sup>2</sup>	Pontien inf.	Marnes, grés et sables rouges
O	Oligocène	Marne rouge à gypse, grés, conglomérats, brèches
e I-II	Lutétien	eII-I Marnes blanches avec bancs calcaires et gypseux, localement phosphatés dans la partie sud est
		eII Calcaires à gypse
		eI Marne noires
e III c9 eV-IV	Landénien	Calcaires massifs.
	Paléocène (eV-IV)	Marnes blanches ; calcaires, localement gypse et phosphates.
	Danien c9	Marnes noires, localement phosphates.
C8b	Mæstrichtien	calcaires
		Marnes noires et marnes crayeuses.
C8a	Campanien	Marnes noires, marnes crayeuses, à la base.

### 1.2.2- Le Tertiaire

Le tertiaire est représenté dans le bassin de Bouzina par une série stratigraphique concordante allant du Danien au Pontien (tab 1).

En effet, LAFFITTE (1939) décrit le **Danien** dans les Aurès ainsi : "*Le Danien, caractérisé par la présence de fossiles créacés au dessus du Maestrichtien supérieur, est très irrégulièrement réparti. Dans l'Ouest des Aurès, des pulsations provoquaient le retrait de la mer, et des couches lagunaires s'intercalent au milieu de l'étage. Dans le Sud et l'Est, des variations d'épaisseur assez rapides et la présence des couches phosphatées caractérisent l'étage.*"

D'après R. LAFFITTE, le Danien dans certaines localités montre une certaine irrégularité dans la sédimentation, indiquant probablement des déformations du substratum qui se traduisent par les variations d'épaisseur de cet étage.

Dans le **Nummulitique**, R. LAFFITTE place tous les terrains compris entre le Danien et le Miocène inférieur marin transgressif. Il le divise, dans l'Aurès, en deux séries :

- L'une, essentiellement marine à la base (Eocène inférieur et moyen) ;
- L'autre continentale au sommet (Eocène supérieur et Oligocène).

La série **marine** débute par le **Landénien** qui est constitué de barres calcaires d'échelle métrique avec des intercalations de niveaux argileux ou des marnes de couleur rouge.

Quant au **Lutétien**, au Nord Est de Tissidelt, il débute, par des argiles présentant des passées gypseuses d'échelle centimétrique (photo 3), suivies par des bancs calcaires d'échelle décimétrique puis l'ensemble est surmonté par une alternance d'argile verte, de banc gypseux d'échelle métrique et de bancs calcaires centimétrique à métrique. L'épaisseur de cette série marine dépasse les 100 mètres.



*Photo n°03 : Lutétien ; marnes, grès et sables rouges (Plaine de Nirdhi, Source Ain Louci)*

Pour la série **continentale**, elle a été décrite par R.LAFFITTE dans les termes suivants : " *Le nummulitique supérieur continental se trouve dans les Aurès dans deux situations différentes :*

*1. Dans les synclinaux, ou il a commencé à se former dès l'émergence de la région, recouvrant en concordance le Lutétien et supportant parfois en concordance le Burdigalien.*

*2. En discordance sur tous les termes des séries plus anciennes affleurant dans les Aurès jusqu'au Trias. Là, il n'a commencé à se former qu'après que l'érosion eut attaqué la région ; les termes inférieurs de la série manquent nécessairement .on observe toutes les transitions entre des accumulations de couches rouges et de poudingues d'une épaisseur pouvant atteindre 200 à 300 m, et un simple poudingue de quelques mètres d'épaisseur se confondant avec le poudingue de base du Burdigalien. "*

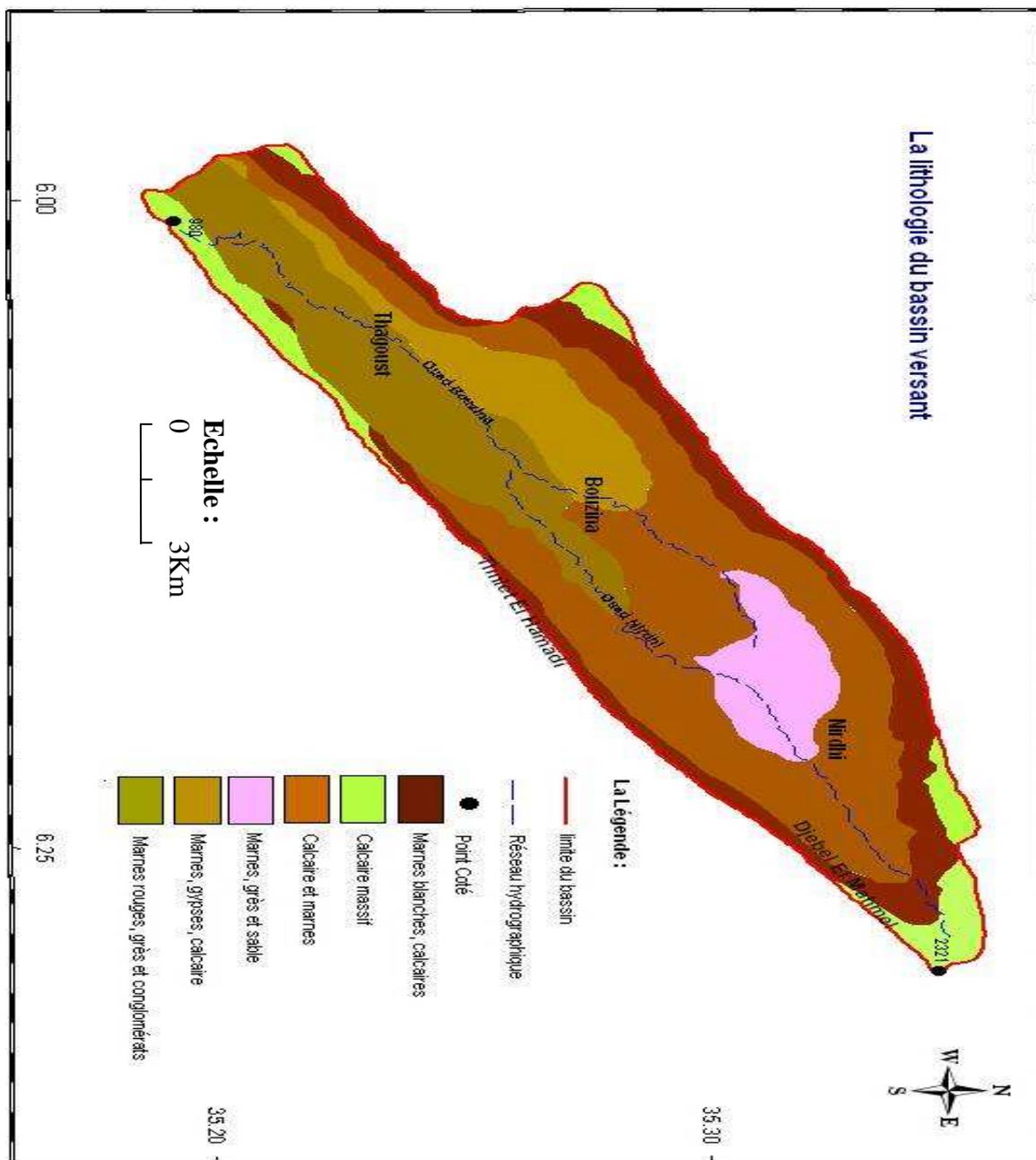
Dans le synclinal de Bouzina, nous avons observé une importante accumulation de couches rouges du nummulitique continental.

Le **Miocène** est composé à sa base par une série marine (Miocène marin) qui passe vers le haut à une série continentale (Miocène continental). Il est observable dans la plaine de Nirdi sur une épaisseur de plus de 50 mètres.

### 1.2.3 Le Quaternaire :

il est représenté dans le bassin par des éboulis de pentes observable sur les versants et des dépôts alluvionnaires, sous forme de terrasses installées au cœur des vallées des oueds Nerdhi et Bouzina . Dans cette dernière, l'épaisseur des dépôts est faible

De cette étude géologique, nous pouvons distinguer deux types de faciès (carte 3), l'un dure représenté par les calcaires et les poudingues, très localisé dans l'espace ; l'autre tendre matérialisée par les marnes et les gypses, très répandue. Cette lithologie influera sur la morphologie de détail de la zone et surtout sa dynamique érosive ; elle donne, d'autre part, une idée sur la perméabilité des terrains.



Carte : 03 – Lithologie du bassin versant de Bouzina

### 1.3- DESCRIPTION GEOMORPHOLOGIQUE

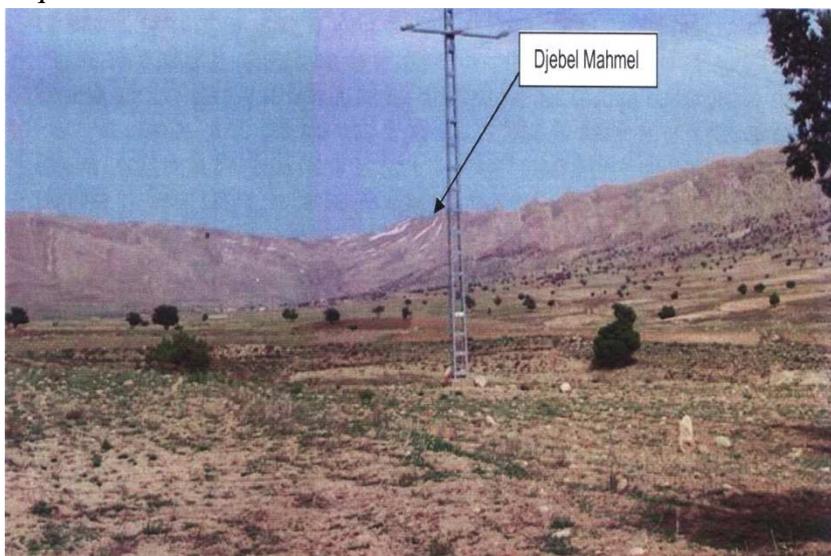
La vallée de Bouzina est inscrite dans une structure synclinale montrant une morphologie de val. Celui-ci est encadré par une série de crêtes (photo.4) montrant une morphologie spécifique, matérialisée par des fronts externes aménagés dans des calcaires durs et des revers internes.

**Photo 4 : Vue générale du bassin versant de Bouzina à partir du Col de Thniet Lahmadi**



Ces crêtes sont représentés, au Nord-est, par Dj Mahmel (photo.5), le deuxième sommet de l'Aurès (2321m) et à l'Est Theniat Lahmadi.

Le fond de la vallée est représenté par des terrasses alluviales constituées essentiellement de formations quaternaires.



**Photo n°05 : Plaine de Nerdi et extrémité NE du synclinal (Calcaires du Maestrichtien)**

Au Centre de la vallée, l'Oued Bouzina rejoint l'Oued Abdi par l'intermédiaire d'une cluse constituée par les gorges de Menâa.

#### **1.4- LE COUVERT VEGETAL**

La végétation est l'un des facteurs physiques qui a une influence directe sur l'écoulement pluvial et l'érosion hydrique des sols. En effet plus le couvert végétal est dense plus la résistance au ruissellement est importante.

Notre zone est caractérisée par l'existence de couvert végétale naturel qui croit grâce aux quantités de précipitation annuelles (phot.6). La pluviométrie moyenne enregistrée variée entre 273 mm et 463 mm et la température moyenne variée entre 13,40°-27,10°.

En amont du bassin versant de Bouzina, une association végétale de chêne vert, genévrier et taulière est observable. Celle-ci se résume, en aval, à une végétation herbacée constituée surtout d'Alpha.

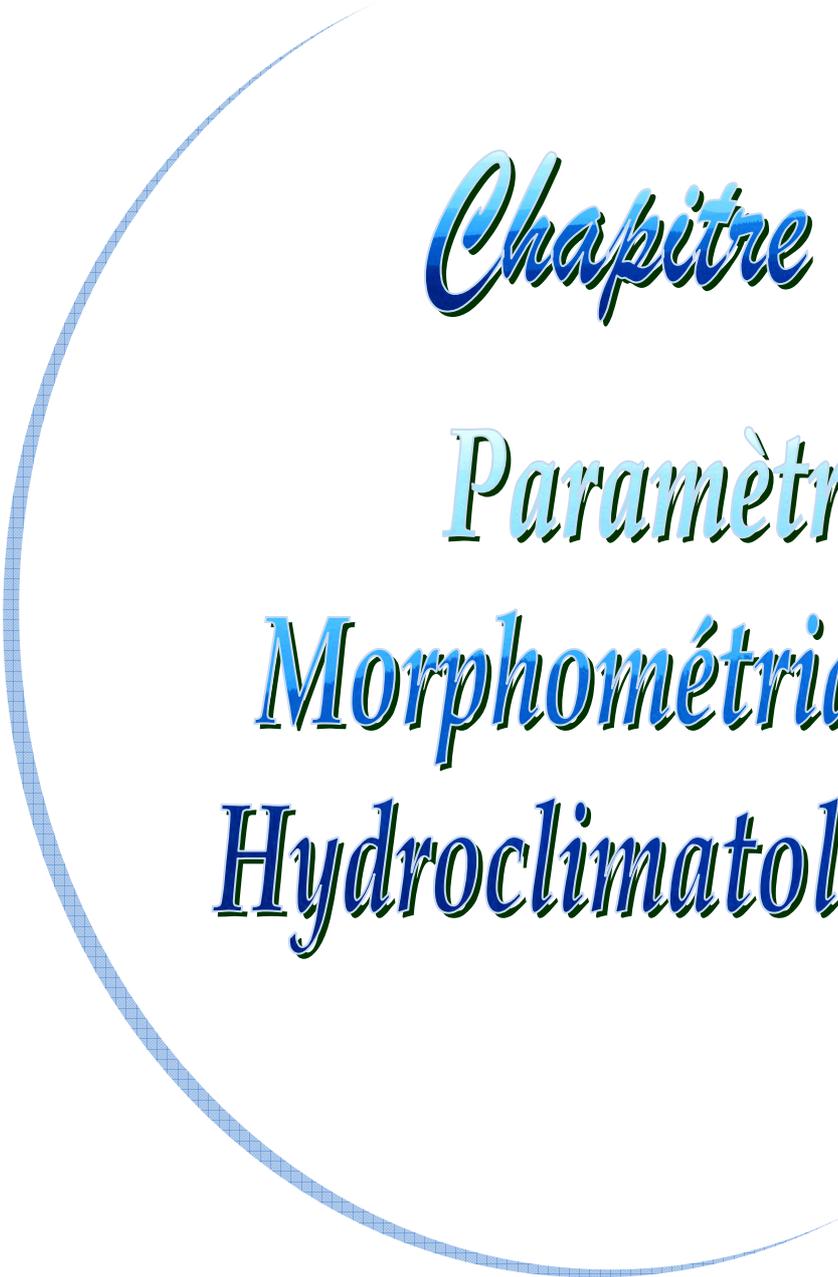


**Photo N° 06 : Les différentes espèces de l'association végétale.**

## **Conclusion**

Le Bassin versant de Bouzina se distingue par son relief, un val à crêts aménagés dans les calcaires crétacés. Les formations tertiaires et quaternaires renferment un potentiel hydrique important, utilisé actuellement à des fins, surtout, agricoles.

Ce relief est édifié dans un environnement à végétation forestière marquée par le chêne vert et le genévrier.



# *Chapitre 02*

## *Paramètres*

### *Morphométriques et*

### *Hydroclimatologiques*

Ce chapitre est réservé à l'analyse quantitative de la morphologie de notre bassin versant. Elle aura comme objet la morphométrie et l'hydro-climatologie.

Dans ce chapitre nous sommes appuyés sur les données de température et de précipitations traitées dans l'étude du Schéma directeur de gestion des déchets solides urbains de la commune de Bouzina.

## **1- PARAMETRES MORPHOMETRIQUES :**

L'étude du phénomène d'érosion nécessite la précision dans la détermination des différentes caractéristiques morphométriques du bassin versant pour une meilleure combinaison entre ce phénomène et la forme du bassin.

### **1.1- Paramètres de forme:**

La digitalisation des limites du bassin versant sous le logiciel Map Info 7.5 a permis de définir les caractéristiques géométriques suivantes :

**Superficie (A) :** la superficie obtenue est égale à 170 km<sup>2</sup>.

**Périmètre (P) :** Le périmètre est égal à 75.5 km.

A partir de ces deux paramètres, d'autres indices de forme sont établis :

### **A - Indice de compacité de Gravélius (K<sub>c</sub>) :**

Le coefficient d'un bassin versant englobe une superficie ( S ), qui a une certaine forme, laquelle va avoir une influence sur l'écoulement global et sur l'allure de l'hydrogramme de crue résultant d'une pluie donnée. Un bassin longiligne ne réagira pas de la même manière qu'un bassin de forme arrondie.

La compacité d'un bassin versant influe fortement sur le temps de réponse du bassin versant lors d'une crue c'est-à-dire le temps de concentration de la crue.

$$K_c = \frac{P}{\sqrt{S}} \times 0.28$$

La valeur de K<sub>c</sub> obtenue est : K<sub>c</sub> = 1,62.

K<sub>c</sub> > 1,12, le bassin versant de Bouzina correspond à un bassin allongé.

### **B –Le rectangle équivalent :**

Le rectangle équivalent de M.Roche est définie comme étant le rectangle de longueur ( L ) et de largeur ( l ) qui à la même surface ( S ), même périmètre ( P ), même indice de compacité ( K<sub>c</sub> ) et même hypsométrie que le bassin versant étudié. :

Ce paramètre facilite la comparaison entre les bassins versants du point de vue de leur influence sur l'écoulement.

$$L = \frac{Kc \sqrt{S}}{1.12} \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right) \quad l = \frac{Kc \sqrt{S}}{1.12} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right)$$

Les résultats obtenus sont :  $L = 32,5km$   $l = 5,29 km$

## 1.2- Caractéristiques hypsométriques :

### A – La courbe hypsométrique :

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief et représente la répartition des surfaces en fonction de ses altitudes.

Les caractéristiques altimétriques du bassin versant montre que :

- Les altitudes supérieures à 1600 m du secteur étudiée ne représentent que 26,5 km<sup>2</sup>, soit environ 12,5 % de la surface totale.
- La tranche d'altitude comprise entre 1600 et 1100 m couvre presque la totalité du bassin versant.
- Par contre la tranche d'altitude comprise entre 1100 m et 980 m, est très peu étendue, 11,57 km<sup>2</sup>, soit 7 % de la surface totale du bassin versant.

Le tableau suivant présente la répartition des tranches d'altitude dans le bassin versant de Bouzina

**Tableau N° 02:** la répartition altimétrique du bassin versant de Bouzina.

Tranches d'altitude (m)	Surface partielle Ai (Km <sup>2</sup> )	Surface partielle cumulé Ai (Km <sup>2</sup> )	Surface partielle Ai (%)	Surface partielle Ai cumulé (%)	Altitude moyenne Hi en (m)	Ai. Hi
2300-2321	0,00	0,00	0,00	0,00	2321	0,00
2200-2300	0,3	0,3	0,17	0,17	2250	675,0
2100-2200	3,15	3,45	1,88	2,02	2150	6772,5
2000-2100	5,20	8,65	3,05	5,07	2050	10660,0
1900-2000	5,10	13,75	2,99	8,06	1950	9945,0
1800-1900	6,03	19,78	3,54	11,60	1850	11155,5
1700-1800	7,15	26,93	4,19	15,79	1750	12512,5
1600-1700	8,27	35,2	4,85	20,64	1650	13645,5
1500-1600	19,28	54,48	11,31	31,95	1550	29884,0
1400-1500	39,00	93,48	22,87	54,83	1450	56550,0
1300-1400	36,00	129,48	21,11	75,94	1350	48600,0
1200-1300	17,5	146,98	10,26	86,20	1250	21875,0
1100-1200	14,04	161,02	8,23	94,44	1150	16146,0
1000-1100	5,10	166,12	2,99	97,43	1050	5355,0
980-1000	4,38	170,5	2,57	100	990	4336,2
/	170,5km <sup>2</sup>	/	100%	/	/	/

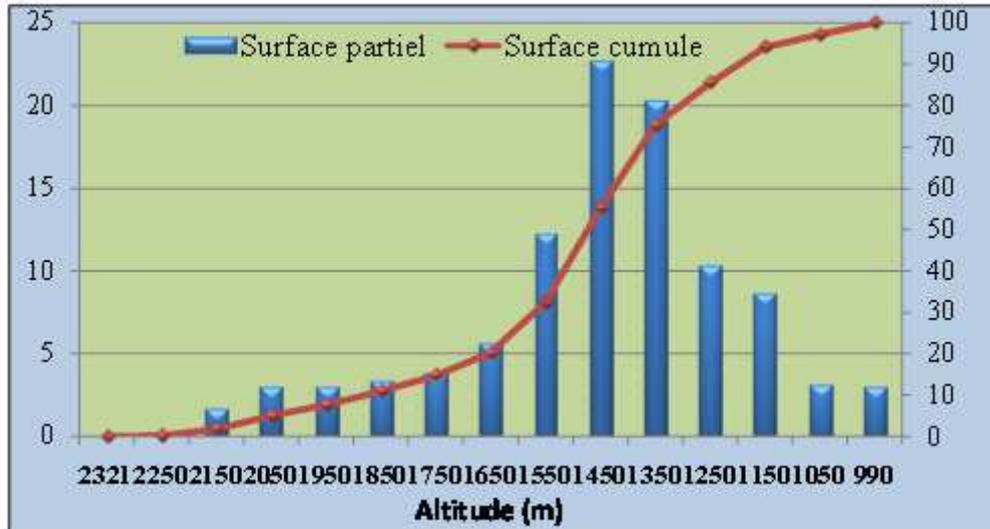


Figure n° 01: Courbe Hypsométrique du Bassin versant de Bouzina

### B- les altitudes caractéristiques :

#### ➤ Les altitudes maximale et minimale :

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

**Altitude maximale**  $H_{max} = 2321$  m.

**Altitude minimale**  $H_{min} = 980$  m.

#### ➤ L'altitude moyenne :

L'altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique :

$$H_{moy} = H_{moy} = \frac{\sum A_i \cdot H_i}{A}$$

Avec :

$H_i$  : Altitude moyenne (m) ;

$A_i$  : Surface partielle des tranches d'altitude (km<sup>2</sup>);

$A$  : Surface totale du bassin versant (km<sup>2</sup>) ;

**Altitude moyenne**  $H_{moy} = 1455$  m.

➤ **L'altitude médiane :**

L'altitude médiane correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique

**Altitude médiane  $H_e$  = 1500 m.**

**C - Les indices de pentes :**

Le relief par sa configuration joue un rôle important vis-à-vis de l'aptitude des différents terrains au ruissellement, elle exerce une influence directe sur la rapidité de l'écoulement et donc sur la puissance de l'érosion.

**Indice de pente globale ( $I_g$ ) :**

Sur la courbe hypsométrique on prend les points tels que la surface supérieure ou inférieure soit égale à 5% de la surface, on aura les altitudes  $H_5$  et  $H_{95}$  entre lesquelles s'inscrivent 90% de la surface du bassin et la dénivelée  $D = H_5 - H_{95}$ .

$$I_g = \frac{D}{L}$$

Avec :

$I_g$  : Indice de pente globale ;

$D$  : Dénivelée simple en m ( $D = H_{5\%} - H_{95\%}$ ), Donc  $D = 2040 - 1100 = 940$  m.

$L$  : Longueur du rectangle équivalent (km).

Selon les valeurs de  $I_g$ , en classe le relief (la classification de L'ORSTOM)

- Si  $I_g > 35$  m/km, le relief est très fort
- Si  $20 < I_g < 35$  m/km, le relief est fort
- Si  $I_g < 20$  m/km, le relief est modéré

$I_g = 940/32.5 = 28,92$  m/km montre un **relief fort**.

**Indice de pente moyenne ( $I_m$ ) :**

Le but de cet indice est de caractériser les pentes d'un bassin ce qui permet des comparaisons et des classifications.

C'est le rapport entre la dénivelée totale du bassin versant ( $D$ ) et la longueur du rectangle équivalent ( $L$ )

$$I_m = \frac{\Delta H}{L}$$

$$\Delta H = H_{max} - H_{min}$$

$L$  : la longueur de rectangle équivalent

Nous obtenons :  $I_m = 41.26$  m/km.

### Indice de pente de roche (Ip) :

L'indice de pente de Roche c'est la moyenne de la racine carrée des pentes mesurées sur le rectangle équivalent, et pondérée par les surfaces, il est calculé par l'une des deux formules suivantes :

$$I_p = \sqrt{\frac{I_g}{0,8}} \quad \text{Où} : I_p = \frac{\sum \sqrt{\frac{a_i \cdot b_i}{L}}}{L}$$

Avec :

$I_p$  : Indice de pente de roche ;

$I_g$  : Indice de pente globale ;

$a_i$  : Surface partielle entre deux courbes de niveau par rapport au total  $\sum A_i$  ;

$b_i$  : L'équidistance entre deux courbes de niveau (m)

$L$  : Longueur du rectangle équivalent (m).

Le résultat obtenu :  $I_p = 6,02 \text{ m/km}$ .

### **D- Dénivelée spécifique (Ds) :**

La dénivelée spécifique permet de définir les différents types de relief des bassins versants

$$D_s = I_g \sqrt{S}$$

$I_g$  : indice de pente globale

$S$  : superficie du bassin versant ( $\text{km}^2$ ).

Donc :  $D_s = 28,92 * \sqrt{170,5} = 377,99 \text{ m}$ .

**Tableau N° 03:** Classification des reliefs d' l'O.R.S.T.O.M.

Classe :	Ds	Désignation :
R1	Ds < 10 m	Relief très faible
R2	10 < Ds < 25 m	Relief faible
R3	25 < Ds < 50 m	Relief assez faible
R4	50 < Ds < 100 m	Relief modéré
R5	100 < Ds < 250 m	Relief assez fort
R6	<b>250 &lt; Ds &lt; 500 m</b>	<b>Relief fort</b>
R7	Ds > 500 m	Relief très fort

D'après la classification de l'O.R.S.T.O.M (Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre Mer):  $D_s = 377,99 < 500 \text{ m}$ , le sous bassin versant appartient à R6 c'est-à- dire : **Un relief fort.**

### 1.3-Les caractéristiques du réseau hydrographique :

#### A- Densité de drainage ( $Dd$ ) :

Elle est définie comme le rapport de la longueur totale des cours d'eau de tout ordre à la surface drainée soit :

$$Dd = \frac{L}{A}$$

L: Longueur totale des cours d'eau (km).

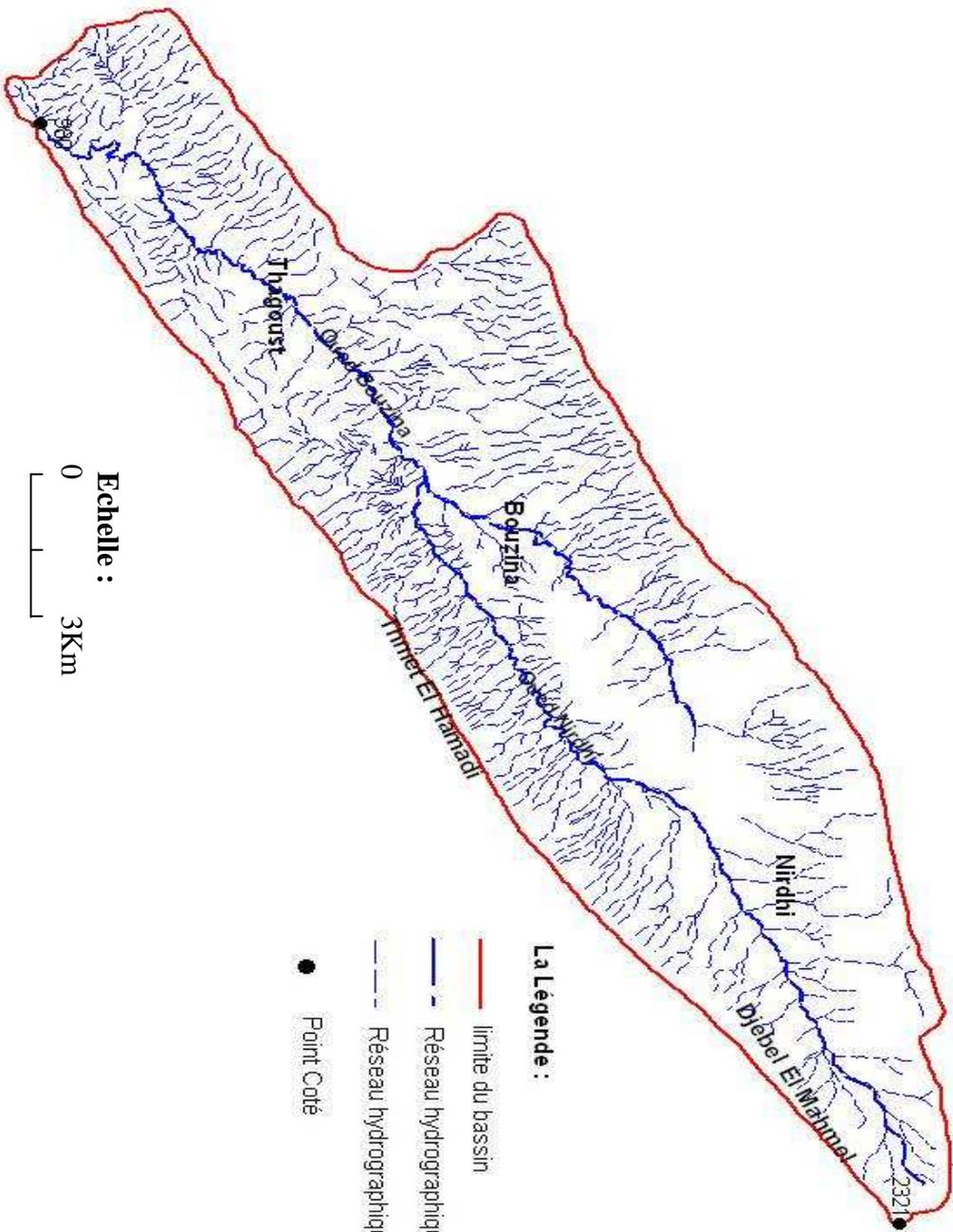
Après la digitalisation du réseau hydrographique présenté dans la carte n° 05, on a calculé la longueur totale des cours d'eau.  $L = 475.70$  Km

A: Surface du bassin versant ( $\text{km}^2$ ).

Donc la densité de drainage  $Dd = 2,79\text{km/ km}^2$ .

# Le réseau hydrographique

Carte n° : 04



## La Légende :

-  limite du bassin
-  Réseau hydrographique principal
-  Réseau hydrographique secondaire
-  Point Cote

Echelle :  
0 3Km

6.00

6.25

35.20

35.30

## **B- Le temps de concentration (TC) :**

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

### **Formule de GIANDOTTI :**

C'est le temps que met une particule d'eau tombant sur le point le plus éloigné de l'exutoire.

$$T_c = \frac{L_p \sqrt{A}}{0.8 \sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \text{ (Heure)}$$

Avec :

$T_c$  : Temps de concentration.

$A$  : Superficie du sous bassin versant = 170,5 km<sup>2</sup>

$L_p$  : Longueur du thalweg principal = 30 km

$H_{moy}$  : Altitude moyenne = 1455 (m)

$H_{min}$  : Altitude minimale = 980 (m).

Nous obtenons :  $T_c = 5h 58'$ .

## **C - Vitesse d'écoulement de l'eau : ( $V_c$ ) :**

Elle est donnée par la formule suivante :

$$V_c = L_p / T_c$$

Avec :

$V_c$  : Vitesse de concentration en (m/s) ;

$L_p$  : Longueur du talweg principal (m)

$T_c$  : Temps de concentration (s) ;

Donc :  $V_c = 1.39 \text{ m/s}$

Le tableau ci-dessous récapitule les paramètres morphométriques du bassin versant de Bouzina :

**Tableau N°04 : Récapitulatif Des Paramètres Morphométriques**

N° d'ordre	Paramètre	Symbole	Unités	Valeurs	
1	Superficie du sous bassin versant	$A$	$km^2$	170,5	
2	Périmètre du sous bassin versant	$P$	$km$	75,55	
3	Indice de compacité	$Kc$	-	1,62	
4	Rectangle équivalent	longueur	$L$	$km$	32,5
		largeur	$l$	$Km$	5,29
5	Altitude maximale	$H_{max}$	$m$	2321	
6	Altitude minimale	$H_{min}$	$m$	980	
7	Altitude H5%	$H_{5\%}$	$m$	2040	
8	Altitude 95%	$H_{95\%}$	$m$	1100	
9	Indice de pente de Roche	$I_p$	%	6,02	
10	Indice de pente globale	$I_g$	$(m/Km)$	28,92	
11	Dénivelée spécifique	$D_s$	$m$	377,99	
12	Longueur du talweg principal	$L_p$	$Km$	30	
13	Densité de Drainage	$D_d$	$Km/Km^2$	2,79	
14	Temps de concentration	$T_c$	$h$	5,58	
15	Vitesse d'écoulement de l'eau	$V_c$	$m/s$	1,39	

## 2 - CARACTERISTIQUES HYDROCLIMATOLOGIQUES :

L'étude hydro-climatologique basée sur les données des précipitations et des températures, nous permet de donner un bref aperçu sur leurs répartitions dans le temps et dans l'espace ainsi que leur effet sur le phénomène de l'érosion hydrique.

Il existe une station pluviométrique située à l'intérieur du bassin versant, qui est la station de Bouzina. Pour arriver à une bonne connaissance de la répartition spatio-temporelle des précipitations nous avons utilisé les stations voisines de la zone d'étude. (S'gag, Menâa et Thniet El Abed)

Un test d'homogénéisation des données ainsi qu'un comblement de lacunes ont été effectués.

### 2.1- La température :

Les températures moyennes mensuelles et annuelles régissent directement sur le climat en interaction avec les autres facteurs météorologiques et biologiques.

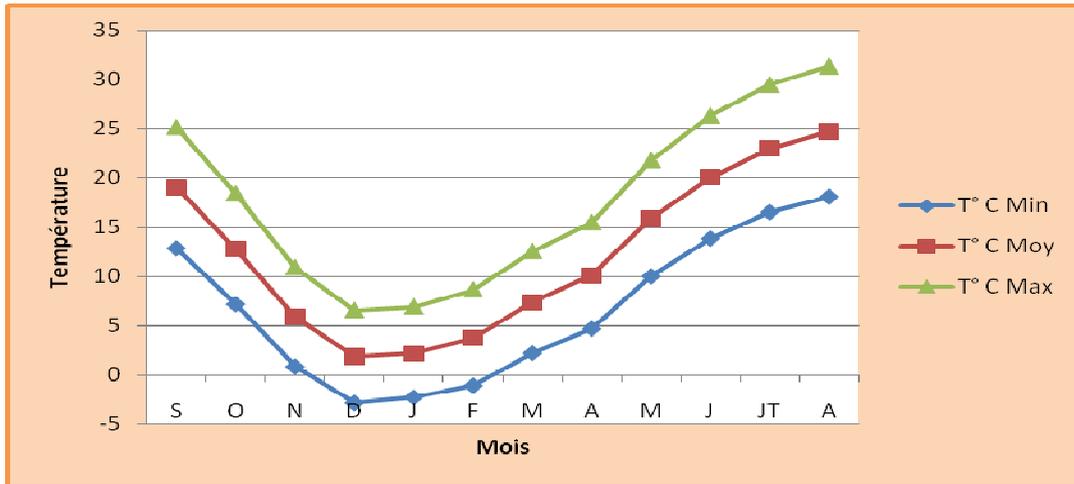
Les données traitées intéressent les stations :

- ✓ S'gag sur une période de 40 ans (1913-1953) [ANRH].
- ✓ Bouzina et Menâa sur une période de 10 ans (1986-1996) [BNEDER.1998]

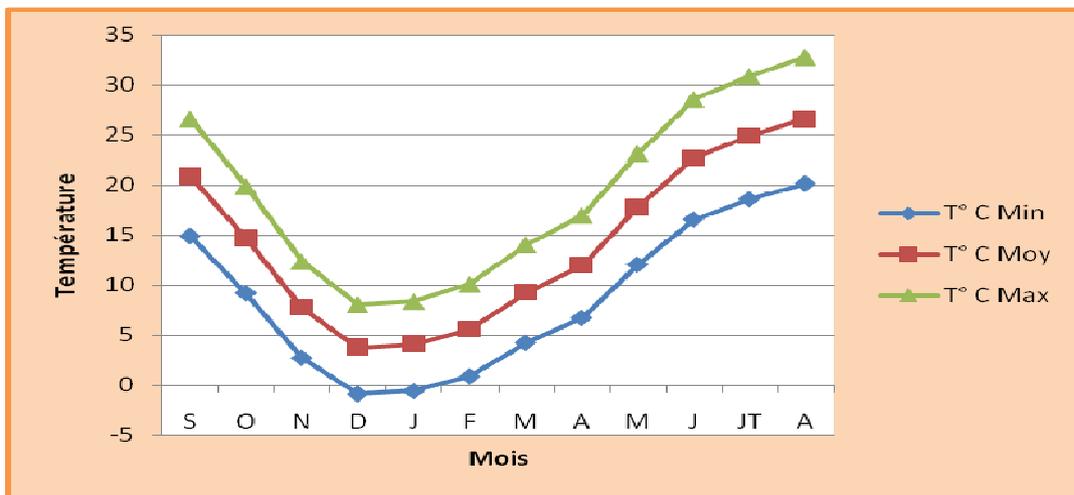
**Tableau N°05. :** Températures moyennes mensuelles et annuelle des trois stations

<i>Mois</i>	<i>S'gag</i>			<i>Bouzina</i>			<i>Menâa</i>		
	<i>T°C</i>	<i>T°C</i>	<i>T°C</i>	<i>T°C</i>	<i>T°C</i>	<i>T°C</i>	<i>T°C</i>	<i>T°C</i>	<i>T°C</i>
	<i>min</i>	<i>mov.</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>mov</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>mov</i>	<i>max</i>
<i>S</i>	12,88	19	25,12	14,87	20,9	26,6	16,27	22,7	29,13
<i>O</i>	7,19	12,8	18,41	9,18	14,7	19,9	10,58	16,5	22,42
<i>N</i>	0,85	5,89	10,93	2,72	7,76	12,4	4,21	9,56	14,91
<i>D</i>	-2,82	1,89	6,6	-0,86	3,76	8,1	0,54	5,56	10,58
<i>J</i>	-2,25	2,19	6,93	-0,58	4,1	8,4	0,82	5,86	10,9
<i>F</i>	-1,08	3,79	8,66	0,89	5,6	10,13	2,29	7,46	12,63
<i>M</i>	2,22	7,39	12,56	4,23	9,3	14,1	5,63	11,1	16,57
<i>A</i>	4,71	10,1	15,49	6,71	12	17,0	8,11	13,8	19,49
<i>M</i>	10,03	15,9	21,77	12,03	17,8	23,2	13,43	19,6	25,77
<i>J</i>	13,87	20,08	26,29	16,52	22,7	28,6	17,92	24,5	31,08
<i>JT</i>	16,55	23	29,45	18,54	24,9	30,9	19,94	26,7	33,46
<i>A</i>	18,11	24,7	31,29	20,1	26,6	32,8	21,5	28,4	35,3
<i>Année</i>		12,22			14,16			15,97	

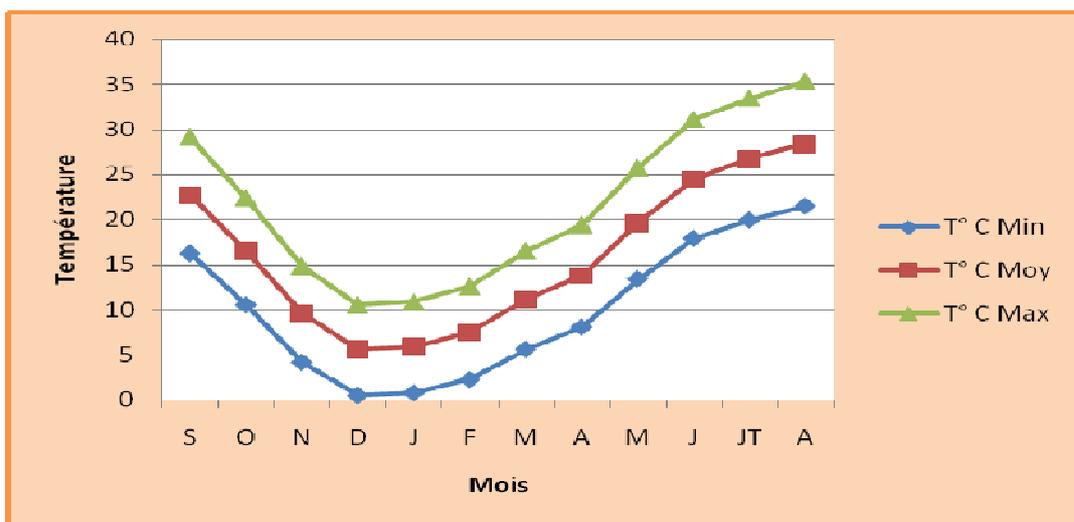
Les données recueillies sont présentées sur les figures (Fig 05, 06 et 07)



**Figure N°02 :** Variation des températures moyennes mensuelles à la Station de S' gag (1913-1953)



**Figure N°03 :** Variation des températures moyennes mensuelles Station Bouzina (1986-1996)



**Figure N°04 :** Variation des températures moyennes mensuelles à la Station de Menâa (1986-1996)

La lecture des courbes de températures, montrent que le minimum des températures moyennes est atteint en décembre (la plus basse température de la station de S'gag soit  $-2.82\text{ C}^\circ$ ) et le maximum est observé en mois d'Aout (la plus haute température dans la station de Menaâ soit  $35.3\text{C}^\circ$ ).

Les données et les courbes représentatives montrent que la zone d'étude possède deux saisons bien distinctes :

- L'Eté avec de fortes chaleurs.
- et l'Hiver avec des gelées.

### **2.1- La Pluviométrie :**

A partir de la carte des précipitations annuelles de l'ANRH (1992) qui montre la répartition de pluies dans l'espace qui caractérise par une décroissance du Nord Est vers le Sud Ouest, le bassin versant de Bouzina de par sa position géographique dans le massif des Aurès est soumis essentiellement à l'influence de deux régimes climatiques méditerranéens différents :

- **Le versant septentrional** subhumide : représente 1/3 de la superficie totale du bassin versant et comprend Dj Mahmel et la plaine de Nerdi.

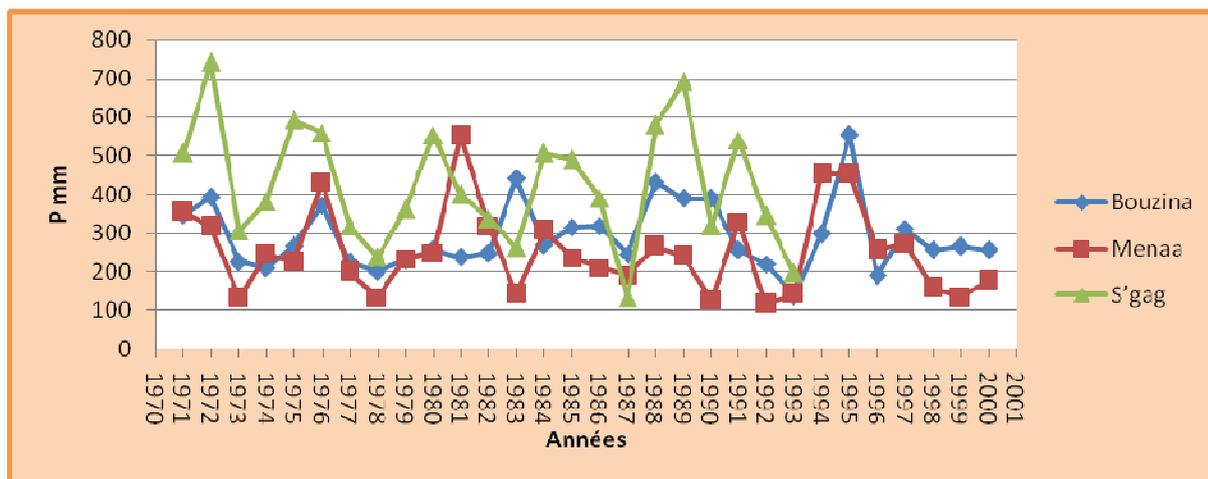
Il reçoit en moyenne une lame d'eau estimée entre 350-450 mm/an, et une période d'enneigement de 23 jour/an.

- **Le versant Méridional** : occupe les 2/3 restants, et comprend les régions de Vieux Bouzina, Oum Rakha et Tagoust.

Il est soumis à un climat semi aride et reçoit en moyenne 250-300 mm/an

### **A - Variation interannuelle :**

La variation interannuelle des précipitations pour la station de S'gag sur une période de 1971-1993 et de 1971-2000 pour les stations de Bouzina et Menââ.



**Figure N°05:** Les variations interannuelle des précipitations aux stations de S'gag, Bouzina et Menaa

**Les années sèches et humides des trois stations :**

Le régime pluviométrique dans le bassin versant est caractérisé par l'irrégularité Interannuelle, exprimée par le rapport :

$$P/P_{moy}$$

Avec :

$P$  : pluie moyenne annuelle en mm ;

$P_{moy}$  : pluie moyenne interannuelle en mm.

Si :  $P/P_{moy} < 1$  année sèche.

$P/P_{moy} > 1$  année humide.

Le tableau suivant présent les années sèches et humide des trois stations

**Tableau N°06** : les années sèches et humides

Station	$P_{moy}$ (mm/an )	Année sèche			Année humide			Intervalle de variance $P_{max}-P_{min}$
		Nbr	$P_{min}$	année	Nb	$P_{max}$	année	
S'gag	418	12	132.9	86-87	10	741,5	71-72	608,6
Bouzin	290	17	156,08	93-94	12	553,6	95-96	397,52
Menâa	242	16	116,8	92-93	13	551,7	81-82	434,9

De ce tableau, il apparait que dans :

- **Station de S'gag :**

Le minimum de la pluviométrie durant la période d'observation est de 132,9mm en 1986-1987, alors le maximum est de 741,5 mm en 1971-1972, le module pluviométrique interannuel est égal à 418 mm /an et le  $C_v = 0,37$ .

- **Station de Bouzina :**

Le maximum de la pluviosité est 553mm en 1995-1996, tandis que le minimum est de 156,08mm en 1992-1993, le module pluviométrique est égal à 290,5mm et  $C_v = 0,27$

- **Station de Menâa :**

Le maximum de la pluviométrie durant la période considérée a été observé en 1981-1982 avec 551,7mm, le minimum est de 116,8 mm en 1992-1993. Le module pluviométrique interannuel est égal à 242mm et  $C_v = 0,46$

La topographie joue un rôle important dans la répartition des pluies du Nord vers le Sud, où se trouve la station de S'gag plus pluvieuse que les stations de Bouzina et Menaa et ceci justifie par l'effet de l'altitude qui diminue vers le Sud.

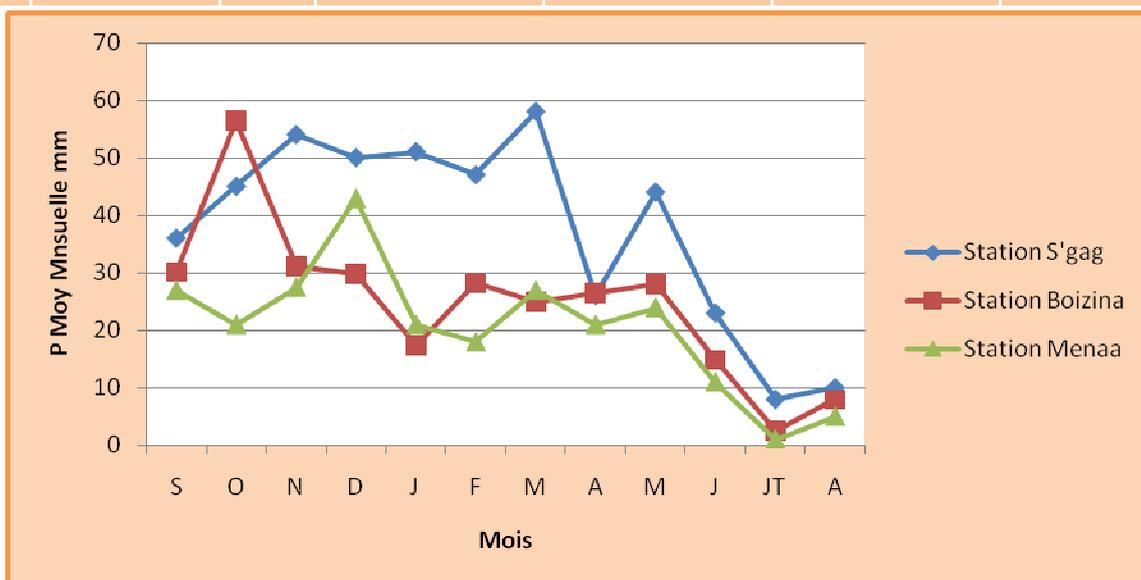
## **2.2- Répartition mensuelle et saisonnière des précipitations :**

Le tableau N°07 montre une forte variabilité interannuelle des précipitations pour les stations : S'gag sur une période de 1913-1953 (manque de données récentes).

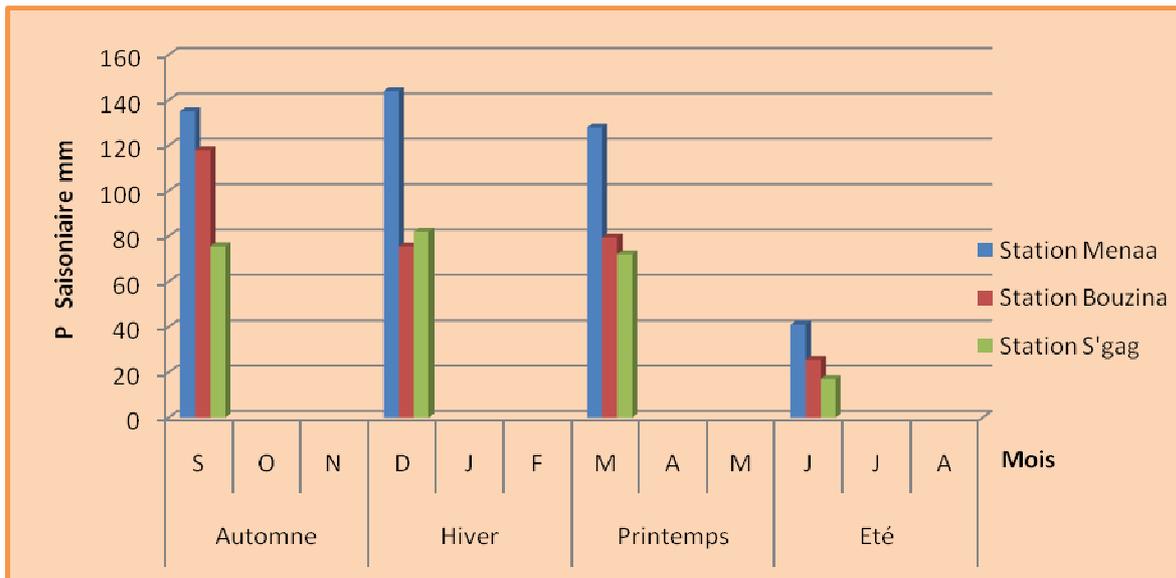
– Bouzina et Menaa : pour une période de 1971-2000.

**Tableau N°07 : Répartition mensuelle et saisonnière des précipitations**

Stations	Période d'observation	Pi mm	Automne			Hiver			Printemps			Eté		
			S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
S'gag	1913-1953	452	36	45	54	50	51	47	58	26	44	23	8	10
			135			144			128			41		
			%29,9			%32,7			%28,3			%9,1		
Bouzina	1971-2000	298	30,2	56,5	31,2	29,8	17,4	28,2	24,9	26,5	28	14,9	2,5	8
			117,9			75,4			79,4			25,4		
			%39,6			%25,3			%26,6			%8,5		
Menaä	1971-2000	246	27	21	27,5	43	21	18	27	21	24	11	1	5
			75,5			82			72			17		
			%30,5			%33,26			%29,20			%6,89		



**Figure N° 06 : Variation des précipitations moyennes mensuelles aux stations de : S'gag, Bouzina et Menaä.**



**Figure N° 07 : Précipitations saisonnières aux stations de S'gag, Bouzina et Menaâ**

Les figures 06 et 07 montrent que :

- **La station de S'gag :** présente un minimum de précipitations moyennes mensuelles de 8mm en Juillet, et un maximum de précipitations moyennes mensuelles de 58mm en Mars durant la période de 1913-1953 (ANRH)

Pour les stations de Bouzina et Menaâ sur une période de 1971-2000

- **La station de Bouzina** présente un minimum égal à 2,5 mm en Juillet et un maximum de 56,5 mm en Octobre.
- **La station de Menaâ :** le maximum de précipitations moyennes mensuelles est observé en Décembre avec 43mm et le minimum des précipitations moyennes mensuelles est observé en Juillet avec 1 mm.

La saison la plus humide pour la station de S'gag et Menaâ est l'Hiver avec des pourcentages de 32,7% et 33,26% des précipitations totales, et la saison la plus sèche est l'Eté avec un pourcentage de 9,1% et 6,89%, tandis que la saison la plus humide pour la station de Bouzina est l'Automne avec un pourcentage important de 39.6 % et la saison la plus sèche est l'Eté avec un pourcentage de 8.5 %.

## B- Estimation de la lame d'eau précipitée sur le bassin versant :

Plusieurs méthodes permettent d'estimer la lame d'eau précipité, notons :

### La Méthode de la moyenne arithmétique :

C'est la moyenne des valeurs des précipitations moyennes annuelles des pluies prises pour l'étude. Il est donné par la formule suivante :

$$\bar{P} = \sum \frac{P_i}{n}$$

Avec :

$P_i$  : Pluviométrie moyenne annuelle de chaque station en mm ;

$n$  : Nombre de stations utilisées.

$$P = 315,87 \text{ mm}$$

**Tableau N° 08** : La lame d'eau tombée sur le B.V selon la moyenne arithmétique

Stations	Altitude (m)	Précipitations (mm)
Bouzina	1350	298,1
Theniet El Abed	1330	282,06
Menâa	983	264,44
S'gag	1660	418,9

### Méthode des isohyètes :

La lame d'eau précipitée se définit par planimétrie des surfaces inter-isohyètes, à partir de la carte pluviométrique de l'ANRH pour les périodes (1922-1960) et (1969-1989). Le planimétrage des inter-isohyètes enregistré dans le tableau N°08.

**Tableau N°09** : Résultats de la planimétrie des surfaces inter-isohyètes du bassin de Bouzina

<i>Isohyètes des hauteurs (mm)</i>	<i>P<sub>i</sub> (mm)</i>	<i>S<sub>i</sub> (Km<sup>2</sup>)</i>	<i>S<sub>i</sub> P<sub>i</sub></i>
<i>&lt;300</i>	300	33,3	9990
<i>300 - 350</i>	325	62,8	20410
<i>350-400</i>	375	73,1	2742,5
<i>400-450</i>	425	23,6	10030
<i>&gt;450</i>	450	2,2	990

La lame d'eau tombée sur le bassin versant se calcule par la formule suivante :

$$\bar{P} = \frac{\sum S_i \times P_i}{\sum S_i}$$

Avec :

$P_i$  : Précipitations moyennes annuelles inter isohyètes (mm);

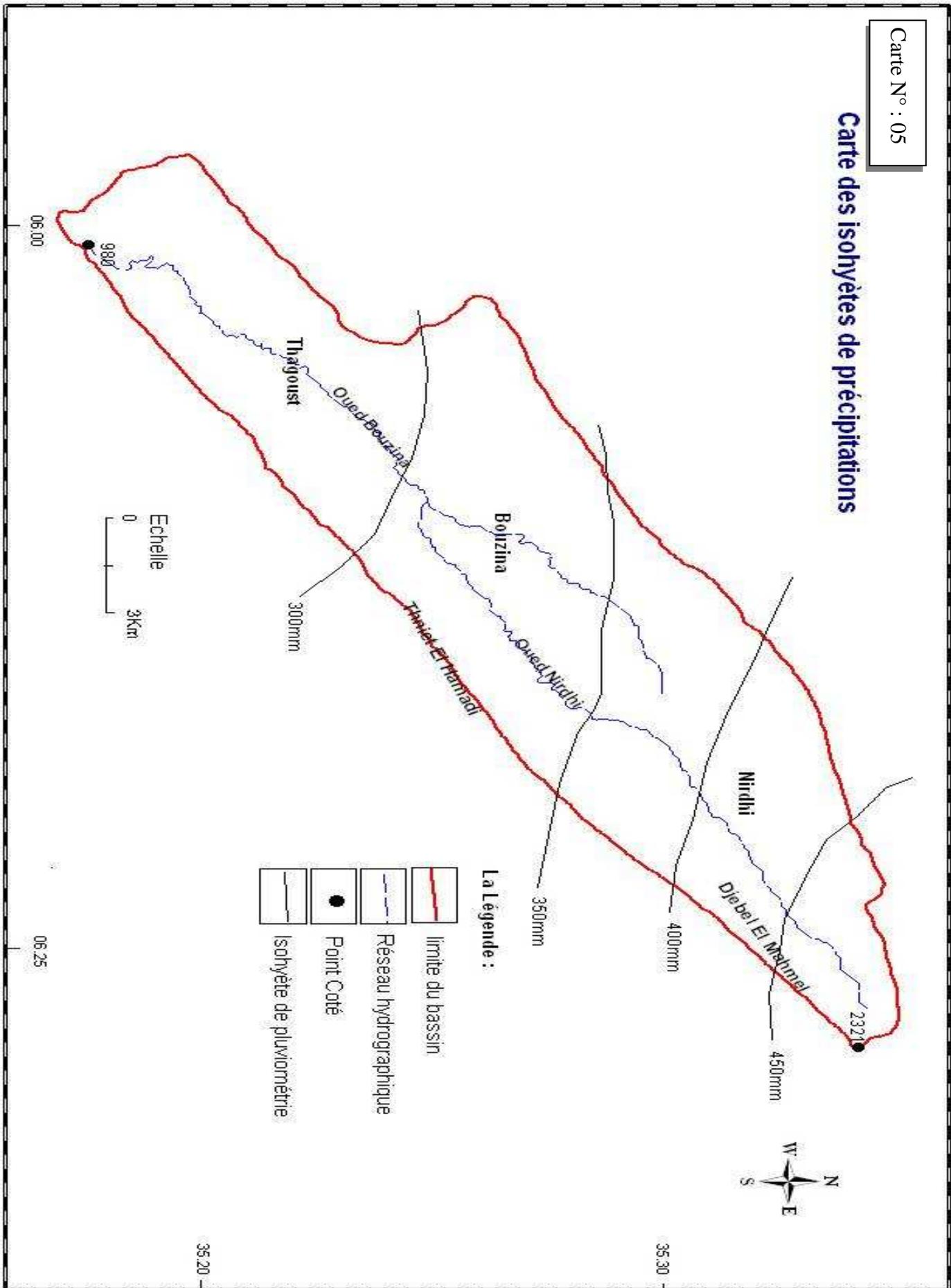
$S_i$  : Surface inter isohyète (km<sup>2</sup>).

Pour l'ensemble du bassin versant, la lame d'eau moyenne précipitée est estimée à  **$P=350mm$** .

Les écarts observés entre les deux méthodes sont justifiés par la différence entre les deux séries de mesures isohyètes (1969-1989), altimétrique (1970-2000) d'un côté et de l'autre côté par l'influence de 10 ans de sécheresse qu'a connue l'Algérie.

Carte N° : 05

### Carte des isohyètes de précipitations



**La Légende :**

-  limite du bassin
-  Réseau hydrographique
-  Point Coté
-  isohyète de pluviométrie

Echelle  
0 3km

## 2.4- La neige :

La région de Bouzina comme toutes les zones des Aurès caractérisent par la présence des neiges ou le nombre de jours de neiges peut atteindre 15 jours/an d'après SELZER.1946.

La zone d'étude est montagneuse ou se trouve les sommets de la bordure Nord-Est du bassin versant sont enneigés (Dj Mahmel 2321m).

La surface du bassin versant susceptible d'être enneigée est relativement faible, mais elle joue un rôle important car elle se situe sur des affleurements calcaires.

## 3- Le diagramme d'Emberger :

Il s'agit de déterminer la gamme des climats méditerranéens par deux facteurs la précipitation et la température.

$$Q_2 = \frac{2000 P}{M^2 - m^2}$$

Avec :

*P* : Précipitation annuelle totale en mm ;

*M* : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud exprimée en degré absolu en kalven (<sup>0</sup>k) ;

*m* : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid exprimée en degré absolu en Kalven (<sup>0</sup>k), ( $T^0k = T^0c + 273,2$ );

En abscisse la moyenne des minima de la saison froide (en <sup>0</sup>C)

Les résultats sont portés sur le **tableau N° 10** et la **Fig N° 08**

**Tableau N°10** : Les valeurs de  $Q_2$  pour les trois stations

<i>Stations</i>	<i>P (mm)</i>	<i>M</i>		<i>m</i>		<i>Q2</i>
		<i>•C</i>	<i>•k</i>	<i>•C</i>	<i>•k</i>	
<i>S'gag</i>	452	31,29	304,4	46,10	270,3	46,10
<i>Bouzina</i>	298	32,8	305,9	30,14	272,2	30,14
<i>Mena</i>	246	35,5	308,4	24,36	273,6	24,36

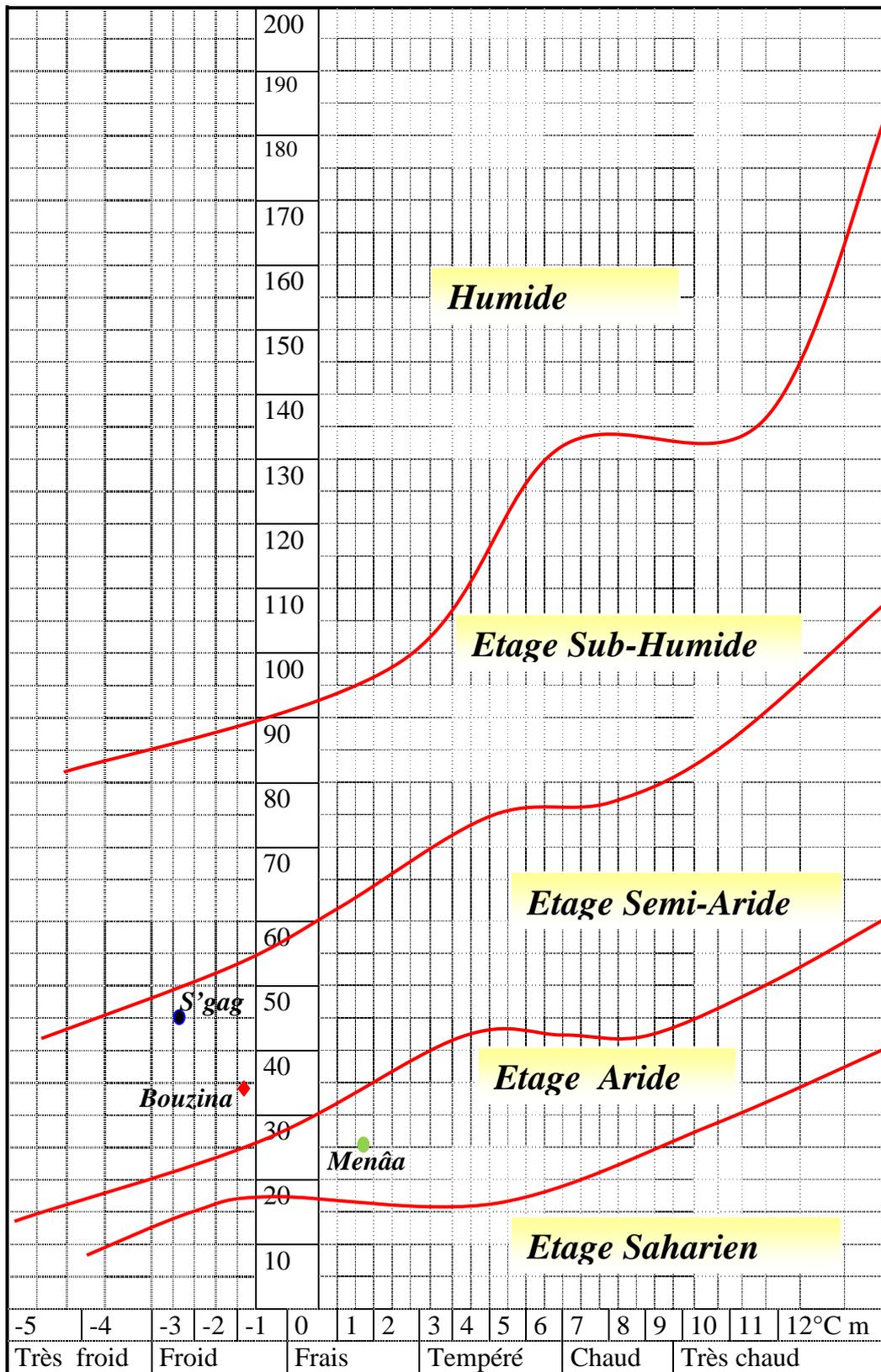


Figure N°08 : Situation de la zone d'étude dans le Climagramme d'Emberger

L'interprétation de la Figure N° 08, montre que :

- **La station de S'gag** : situe dans la zone climatique sub-humide à hiver froid.
- **La station de Bouzina** : situe dans la zone climatique semi aride à hiver froid.
- **La station de Mena** : situe dans la zone climatique aride à hiver frais.

#### 4 - Evapotranspiration ou déficit d'écoulement :

L'évapotranspiration est un élément principal du bilan hydrique, il est défini par combinaison de deux phénomènes l'un physique (évaporation) et l'autre biologique (transpiration) ; il désigne toutes les pertes en eau par retour à l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau.

##### 4.1- L'évapotranspiration potentielle (ETP) :

L'évapotranspiration potentielle est la quantité d'eau qui serait évaporée ou transpirée à partir d'un bassin versant, si l'eau disponible pour l'évapotranspiration n'était pas un facteur limitant et sa sous l'action conjuguée de l'évaporation du sol et de la transpiration de la plante d'un couvert végétal en plein développement occupant le sol en totalité et sous les conditions optimums d'alimentation en eau. On considère généralement l'ETP comme une référence climatique traduisant l'incidence du climat sur le niveau de l'évapotranspiration des cultures.

##### Formule de Thornthwaite

$$ETP = 16 \times \left( \frac{10 T}{I} \right)^a$$

Avec :

**ETP** : L'évapotranspiration potentielle en (mm).

**T** : La température moyenne mensuelle en (C°).

**I** : L'indice thermique obtenu par la formule:  $I = \sum_1^{12} i$  avec  $i = \left( \frac{t}{5} \right)^{1,514}$ .

**a** : L'exposant climatique donné par la formule :

$$a = 0.016 I + 0,5$$

L'évapotranspiration potentielle mensuelle corrigée est obtenue à partir de la formule suivante:

$$ETP \text{ corrigée} = ETP.K$$

**K** : coefficient d'ajustement qui dépend du mois et de la latitude de lieu.

Les résultats de calcul de l'ETP par la méthode de Thornthwaite sont présentés dans les tableaux (**Tableaux n° 11, 12, 13**).

**Tableau N°11: valeurs de l'ETP mensuelle selon Thornthwaite : (Station S'gag)**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
<b>T (°C)</b>	19	12,8	5,89	1,89	2,19	3,79	7,39	10,1	15,9	20,08	23	24,7	<b>12,22</b>
<b>i</b>	7,54	4,15	1,28	0,22	0,28	0,65	1,8	2,89	5,76	8,20	10,07	11,22	/
<b>ETP (Calculée)</b>	88,41	51,66	17,97	3,83	4,68	9,87	24,47	37,43	69,39	95,31	114,64	126,32	<b>643,98</b>
<b>K</b>	1,03	0,97	0,86	0,85	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	/
<b>ETP (Corrigée)</b>	91,06	50,11	15,45	3,25	4,07	8,38	25,20	40,79	83,96	115,32	141,00	146,53	<b>725,12</b>
	<b>I=54,06</b>						<b>A =1,36</b>						

**Tableau N°12: valeurs de l'ETP mensuelle selon Thornthwaite : (Station de Bouzina)**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
<b>T (°C)</b>	20,9	14,7	7,76	3,76	4,1	5,6	9,3	12,0	17,8	22,7	24,9	26,6	<b>14,16</b>
<b>i</b>	8,7	5,12	1,94	0,65	0,74	1,18	2,55	3,76	6,83	9,88	11,36	12,56	/
<b>ETP (Calculée)</b>	96,04	55,86	20,88	6,84	7,81	12,63	27,60	40,86	75,00	109,07	125,77	139,24	<b>717,6</b>
<b>K</b>	1,03	0,97	0,86	0,85	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	/
<b>ETP (Corrigée)</b>	98,92	54,18	17,95	5,81	6,79	10,73	28,42	44,35	90,75	131,97	157,69	161,51	<b>809,06</b>
	<b>I =65,27</b>						<b>A=1,54</b>						

**Tableau N°13: valeurs de l'ETP mensuelle selon Thornthwaite : (Station de Mena)**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
<b>T (°C)</b>	22,7	16,5	9,56	5,56	5,86	7,46	11,1	13,8	19,6	24,5	26,7	28,4	<b>15,97</b>
<b>i</b>	9,88	6,09	2,66	1,17	1,27	1,83	3,34	4,65	7,91	11,09	12,63	13,87	/
<b>ETP (Calculée)</b>	104,15	60,16	23,53	9,26	10,14	15,36	30,42	44,24	80,9	118,75	137,68	152,11	<b>786,7</b>
<b>K</b>	1,03	0,97	0,86	0,85	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	/
<b>ETP (Corrigée)</b>	107,27	58,36	20,23	7,87	8,82	13,05	31,33	48,22	97,88	143,68	169,35	177,60	<b>883,66</b>
	<b>I =76,39</b>						<b>A=1,72</b>						

#### 4.2 - L'évapotranspiration réelle (ETR) :

L'évapotranspiration réelle est la quantité d'eau évaporée (transpirée) effectivement par le sol, les végétaux et les surfaces d'eau libre d'un bassin versant.

Les pertes d'eau d'un sol atteignent L'ETP si le stock d'eau de la RFU lui est supérieur ou égal. En cas d'insuffisance, elles sont limitées à une quantité plus petite, cette limite est appelée l'évapotranspiration réelle.

##### Méthode de TURC :

Cette formule permet d'évaluer directement L'ETR annuelle d'un bassin à partir de la hauteur annuelle de pluie et de la température moyenne annuelle.

La formule est la suivante :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$$

Avec :

**ETR** : Evapotranspiration réelle annuelle (mm) ;

**P** : Hauteur moyenne annuelle des précipitations (mm);

**L** : Pouvoir évaporant.

Où

**L** :  $300+25T+0,05T^3$                       **L**= 881,66

**T** : température moyenne annuelle (C°)

##### ❖ Station de S'gag :

P = 452mm, T = 12,22°C, L = 696,73                      **ETR = 394,74mm**. Soit 87% des précipitations.

##### ❖ Station de Bouzina :

P = 298mm, T = 14,16°C, L = 795                      **ETR = 293,25mm**. Soit 98% des précipitations.

##### ❖ Station de Menaa :

P = 246mm, T = 15,93°C, L = 855,59                      **ETR = 293mm**. Soit 100% des précipitations.

**Tableau N°14: Evapotranspiration Réelle Mensuelle Des Stations S'gag, Bouzina et Menaa**

MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>ETR S'gag</b>	37.9	47.29	56.46	52.1 0	53.15	49.1 6	60.6 9	27.3 7	46.3 2	24.2 3	8.4 3	10.54
<b>ETR Bouzina</b>	31.82	59.40	32.82	31.3 1	18.32	29.6 6	26.2 1	27.9 1	29.5 0	15.7 0	2.6	8.43
<b>ETR Menâa</b>	28.46	22.12	28.95	45.0 9	22.10	18.9 6	28.4 3	22.1 2	25.2 8	11.5 9	1.0 5	5.27

## 5 - Calcul Du bilan hydrique selon Thornthwaite:

Le suivi du bilan hydrique des sols est une opération complexe car il n'existe pas actuellement d'appareil simple pour mesurer en routine le volume d'eau du sol.

On admet que le sol est capable de stocker une certaine quantité d'eau la RFU; cette eau peut être reprise pour l'évapotranspiration par l'intermédiaire des plantes.

A partir des données des pluies mensuelles et l'évapotranspiration potentielle (ETP) calculée par la méthode de Thornthwaite, plusieurs cas peuvent être envisagés :

- Si:  $P \geq ETP \rightarrow ETP = ETR$ , il y a une quantité d'eau (P-ETR) qui va alimenter la RFU jusqu' à son maximum (100%).
- Si  $P=ETP$ , les précipitations sont suffisantes pour alimenter le sol mais il n'y aura pas de surplus pour alimenter la RFU.
- Si:  $P < ETP$ , il y aura épuisement du réserves, dans ce cas on aura un déficit du bilan  $Da=ETP-ETR$ , ou encore  $ETP-P$  qui représente la quantité d'eau qu'il faudra ajouter à l'ETR pour atteindre l'ETP.

(Da) représente le besoin en eau pour l'irrigation des plantes.

**Tableau N° 15 : Calcul Du Bilan Hydrique (Station de S'gag)**

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jui	Jul	Aou	Année
<b>P(mm)</b>	36	45	54	50	51	47	58	26	44	23	8	10	452
<b>ETP</b>	91,06	50,11	15,45	3,25	4,07	8,38	25,2	40,79	83,96	115,32	141,00	146,53	725,12
<b>P-ETP</b>	-55,06	-5,11	38,55	46,75	46,93	38,62	32,8	-14,79	-39,96	-92,32	-133	-136,53	/
<b>ETR</b>	36	45	15,45	3,25	4,07	8,38	25,2	40,79	79,21	23	8	10	298,33
<b>RFU</b>	0	0	38,55	50	50	50	50	35,21	0	0	0	0	/
<b>Déficit agricole</b>	55,06	5,11	0	0	0	0	0	0	4,75	92,32	133	136,53	426,77
<b>Excédent</b>	0	0	0	35,3	46,93	38,62	32,8	0	0	0	0	0	153,65

### Station de S'gag :

La situation géographique de la station et leur altitude qui égale à 1650 m permet de préciser le type de climat et le bilan hydrique de la région.

L'examen du bilan hydrique montre que :

A l'échelle annuelle, on observe que l'ETP dépasse largement les précipitations (ETP= 166,37% des précipitations).

- Si on examine l'évaluation de l'ETP à l'échelle mensuelle, on constate l'existence de deux saisons bien distinctes : l'une pendant la quelle les précipitations sont supérieures à l'ETP (Novembre à Mars) ; et la seconde on a l'inverse (Avril à Octobre).
- Pendant la saison froide et pluvieuse, le bilan hydrique est positives, ou les précipitations couvrent les besoins de l'évapotranspiration potentielle et permettent la formation d'une réserve facilement utilisable RFU, prise dans notre cas au seuil de 50 mm (RFU),
- La RFU atteint son maximum au mois de Décembre et demeure ainsi jusqu'au mois de Mars pour diminuer ensuite jusqu'à l'épuisement total au Mai. Elle commence à se constituer en Novembre. On a un excédent de 153.63 mm pendant les mois de Décembre, Janvier, Février et Mars

**Tableau N° 16: Calcul Du Bilan Hydrique (Station de Bouzina)**

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aou	Année
<i>P(mm)</i>	30,2	56,5	31,2	29,8	17,4	28,2	24,9	26,5	28	14,9	2,5	8	298
<i>ETP</i>	98,92	54,18	17,95	5,81	6,79	10,73	28,42	44,53	90,75	131,97	157,69	161,51	809,25
<i>P-ETP</i>	-68,72	2,32	13,25	23,99	10,61	17,47	-3,25	-18,02	-62,75	-117,07	-155,19	-153,51	/
<i>ETR</i>	30	54	17	5,81	6,79	10	28	44	56	14,9	2,5	8	280,4
<i>RFU</i>	0	2,32	15,57	39,56	50	50	46,75	28,45	0	0	0	0	/
<i>Déficit agricole (Da)</i>	68,72	0	0	0	0	0	0	0	34,3	117,07	155,19	153,51	528,79
<i>Excédent (Ex)</i>	0	0	0	0	0,17	17,4	0	0	0	0	0	0	17,64

#### **Station De Bouzina :**

La station de Bouzina se situe à une altitude de 1350m, elle est située au centre du bassin versant, elle est importante du point de vue climatique, car elle permet de préciser le bilan

hydrique d'une tranche d'altitude de 1300-1400m. Les résultats du calcul du bilan montrent que :

- Au cours de l'année, l'évapotranspiration potentielle dépasse le double des précipitations soit 271.56%.
- Deux saisons distinctes : l'une s'étale d'Octobre à février où les précipitations sont supérieures à l'ETP, et l'autre de Mars à Septembre au cours de laquelle l'ETP est supérieure aux précipitations.
- Le déficit agricole s'observe durant la période allant du mois de Mars jusqu'à Septembre, la RFU commence à se reconstituer au mois d'Octobre, atteint son maximum au mois de Janvier et s'annule au mois de Mai. Un excédent de l'ordre de 17,64mm soit 06% des précipitations est enregistré pendant les mois de Janvier et Février.

**Tableau N°17: Calcul Du Bilan Hydrique (Station de Mena)**

<i>Mois</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dec</i>	<i>Jan</i>	<i>Fev</i>	<i>Mars</i>	<i>Avr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jui</i>	<i>Jul</i>	<i>Aou</i>	<i>Année</i>
<i>P(mm)</i>	27	21	27,5	43	21	18	27	21	24	11	1	5	246,5
<i>ETP</i>	107,27	58,36	20,23	7,87	8,821	3,053	1,334	8,229	7,881	43,68	169,35	177,6	883,66
<i>P-ETP</i>	-80,27	-37,36	7,27	35,13	12,3	4,95	-4,33	-27,22	-73,88	-132,68	-168,35	172,6	/
<i>ETR</i>	27	21	20,2	7,87	8,82	13,0	31,3	48,2	42,4	11	1	5	236,97
<i>RFU</i>	0	0	7,27	42,4	50	50	45,67	18,45	0	0	0	0	/
<i>Déficit agricole (Da)</i>	80,27	37,36	0	0	0	0	0	0	55,45	132,68	168,35	172,6	646,71
<i>Excédent (Ex)</i>	0	0	0		4,7	4,95	0	0	0	0	0	0	9,65

**Station de Mena :**

Cette station est située à l'altitude la plus basse, elle se situe au Sud Ouest du bassin versant, elle subit l'influence du régime saharien.

Les résultats du bilan hydrique montrent que :

- L'évapotranspiration potentielle dépasse le triple des précipitations, elle est de 883mm soit 359%. L'excédent est enregistré durant Janvier et Février avec une valeur maximale de 9,55mm soit 4% des précipitations. L'évapotranspiration réelle

annuelle est de 236,97mm soit 96,13% des précipitations.

- Le déficit agricole s'étend de Mai à Octobre. Alors que la reconstitution de la réserve commence en Novembre pour atteindre le maximum de la RFU en Janvier-Février et diminuer par la suite jusqu'au l'épuisement en Avril.

## **6 - Estimation du ruissellement (R) :**

La méthode qui permet le calcul du ruissellement à été établis par Tixeront –Berkalove, en se basant sur les précipitations moyennes annuelles et l'évapotranspiration potentielle.

Cette méthode est valable pour des bassins dont la surface varie de 40 à 20000 km<sup>2</sup> et des précipitations variant entre 100 et 500 mm. Et cette formule concerne surtout les régions ayant un climat aride à semi aride

Elle s'écrit :

$$R = \frac{p^3}{3.(ETP)^2}$$

Avec :

**R** : ruissellement (mm),

**P** : précipitation moyenne annuelle (mm),

**ETP** : évapotranspiration potentielle moyenne annuelle (mm)

**La station de S'gag** enregistre un ruissellement moyenne annuelle de 58.56 mm soit 12,95% des précipitations.

**La station de Bouzina** est un ruissellement R =13,47 mm, soit 4 ,52% des précipitations, tandis que **la station de Mena** enregistre un ruissellement R =6,38 mm, soit 2,58% des précipitations. Ces valeurs sont données à titre indicatif dans la mesure où la nature du terrain qui n'est pas prise en compte est un facteur important pour l'estimation du ruissellement.

## **Conclusion**

L'étude réalisée donne des indications sur l'organisation du réseau hydrographique de Bouzina, autrement dit sur l'un des facteurs déterminants un fonctionnement hydrologique torrentiel. Dans une région au relief accusé, la structuration du réseau hydrographique se révèle potentiellement favorable à des épisodes violents. En effet, les caractères morphométriques des bassins versants d'ordres inférieurs s'accordent avec des réponses hydrologiques très rapides, et cela d'autant plus que la lithologie s'y prête. Les précipitations, enfin, même si elles n'ont rien d'exceptionnel à l'échelle régionale, sont suffisamment abondantes, irrégulières et intenses, en particulier sur les reliefs, pour que des ruissellements violents se produisent. Les quelques données climatiques présentées dans ce chapitre en témoignent.

# *Chapitre 03*

*enjeux*

*socio-économiques*

Dans ce chapitre, nous insistons, surtout, sur l'activité humaine, à savoir la population et les enjeux socio-économiques, partie prenante de la vulnérabilité du milieu. Nous sommes appuyés sur des données traitées dans l'étude du Schéma directeur de gestion des déchets solides urbains de la commune de Bouzina, Par le bureau d'étude HYDRAMÉD (2008).

### 3.2 ETUDE DE LA POPULATION

L'étude de la population sera axée sur son évolution, sa répartition géographique et ses structures.

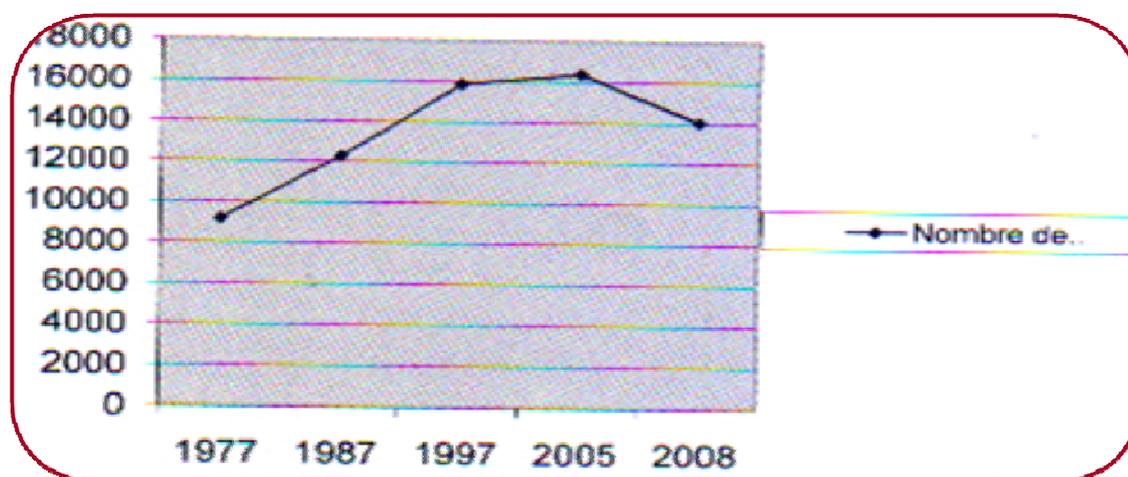
#### 3.1.1 Evolution de la population

Dans le Tableau n° 11 et la figure 17, nous remarquons que le nombre de population de la commune de Bouzina en 1977 était de 9200 habitants et en 2005 s'élève à 16383 habitants pour décroître une autre fois à 14043 habitants en 2008.

**Tableau N°18** : Evolution de la population dans la commune de Bouzina (1977-2008)

Année	1977	1987	1997	2005	2008
Nombre de population	9200	12272	15860	16383	14043

Source : RGPH 2008



**Figure N°09**: Evolution de la population de la commune de Bouzina.

La diminution dans le nombre d'habitants entre l'année 2005 et 2008 est expliquée par l'exode rural vers les villes de Batna, Arris et Biskra pour la recherche de meilleures conditions de travail comme le commerce et l'industrie.

#### 3.1.2 Répartition géographique de la population:

La répartition de la population est sujette aux conditions naturelles certes, mais surtout aux conditions administratives et économiques, telle que l'agriculture.

Les habitants de Bouzina dont le nombre est estimé à 14043ha en 2008 se répartissent sur une superficie de 30211 ha Avec une densité de population estimée à 84 hab/km<sup>2</sup>.

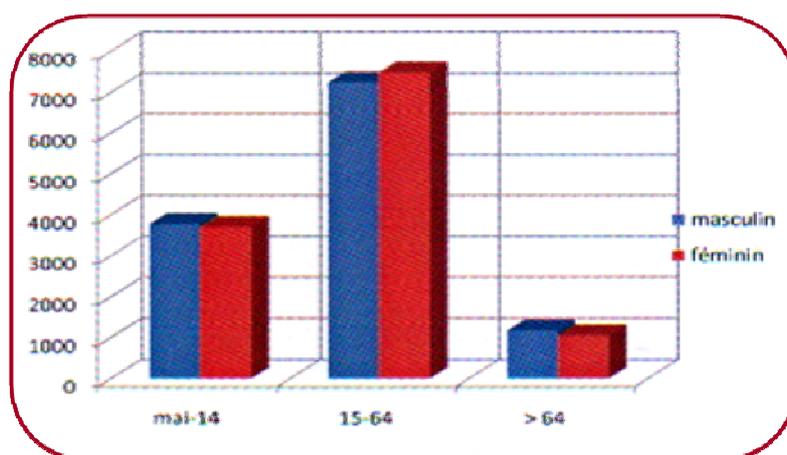
La commune de Bouzina contient deux agglomérations secondaires (6720 habitats): Ali OUYAHA et TAGOUST avec 4770 habitants et un taux de 71% du total de l'agglomération: secondaire

### 3.1.3 Structure de la population par catégories :

Le Total des catégories de la commune est 24459 hab dont 12261 hab féminin et 1198 hab masculin.

<i>Catégorie</i>	<i>Masculin</i>	<i>Féminin</i>	<i>Total</i>	<i>% Du Nombre de la population</i>
<i>5 - 14</i>	3776	3708	7484	26.04
<i>15 - 64</i>	7244	7488	14732	51.27
<i>&lt;64</i>	1178	1065	2243	07.8
<i>Total des Catégories</i>	1198	12261	24459	85.11

**Tableau N° 19:** La Répartition de la population par catégorie en 2005



**Figure N°10:** La structure de la population par catégorie

### 3.1.4 Structure par âge :

Le taux de population en âge de travail (15-64ans) est estimé à 51,27% ce qui traduit la vivacité de la société et l'augmentation du taux de prise en charge menant ainsi à l'amélioration du mode de vie.

La structure rurale et urbaine de la population :

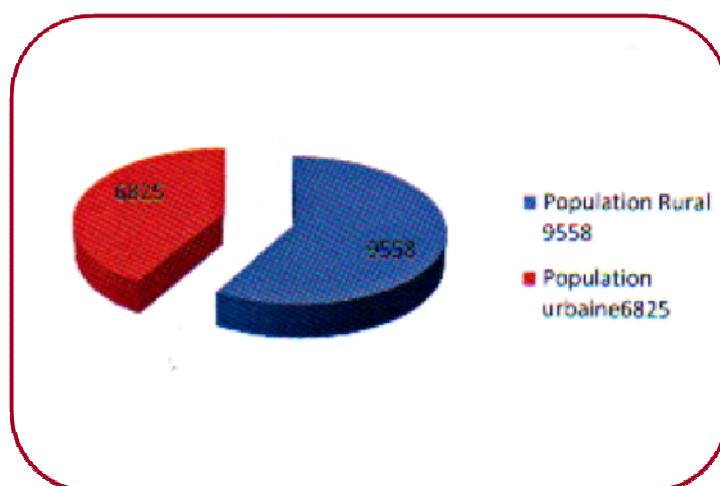
Selon la définition qu'a posée la direction nationale de recensement des habitants et des habitats : « les habitats urbains sont ceux qui occupent le centre des communes et dont le nombre de la population active dépasse 1000 travailleurs à condition que 85% d'eux travaillent dans un domaine hors l'agriculture, à part ça se sont des habitats rustiques ».

**Tableau N°20** : La structure et le taux de population urbaine et rurale de la commune de Bouzina en 2005.

Commune	Population Urbaine	%	Population Rurale	%	Total de la Population
<i>Bouzina</i>	6825	23,74	9558	33,26	16383

La Source : D.P.A.T de La wilaya de Batna. 2005.

La commune de Bouzina compte une population de 16383, hab, dont 6825 hab urbaine qui présente 23,74% et 9558 hab rurale présentent 33,26%.



**Figure N°11** : La structure de population urbaine et rurale de la commune de Bouzina en 2005.

Le taux de la population rurale est supérieur à celui de la population urbaine, ceci est dû d'une part à la nature montagnarde de la zone et d'autre part à la dominance du secteur agricole par rapport aux autres secteurs économiques.

### 3.1.5 Catégorie des activités économiques :

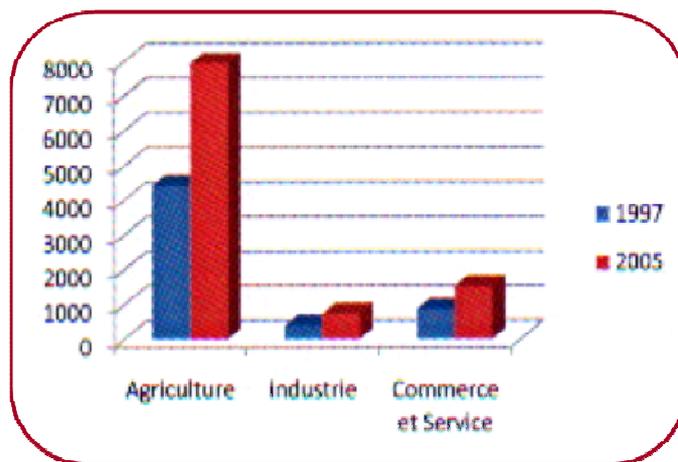
En 1997 la commune de Bouzina a connue 5390 hab actives dont 4436 hab (agriculture), 387 hab (industrie) et 876 hab (commerce et service).

En 2005 la commune de Bouzina a connue 10236 hab actives dont 7963 hab (agriculture), 736 hab (industrie) et 1537 hab (commerce et service).

On constate que le secteur d'agriculture attire un grand nombre de population à cause de l'aspect agro-pastoral de la commune.

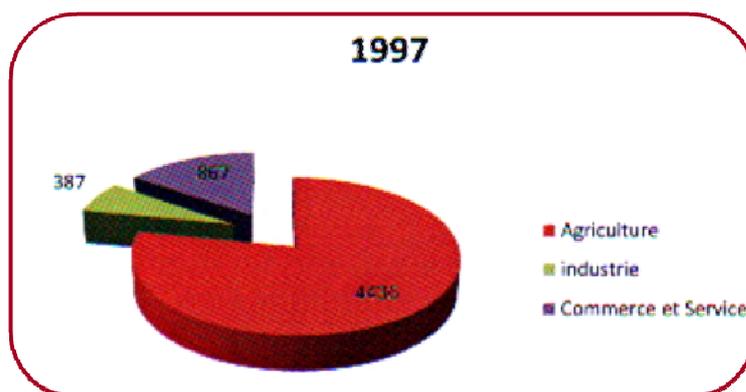
**Tableau N° 21:** Distribution de la population active dans le secteur selon le domaine de travail, 1997-2005

<i>L'année du recensement</i>	<i>Agriculture</i>	<i>Industrie</i>	<i>Commerce et Services</i>	<i>Total</i>
<b>1997</b>	4436	387	867	5390
<b>2005</b>	7963	736	1537	10236

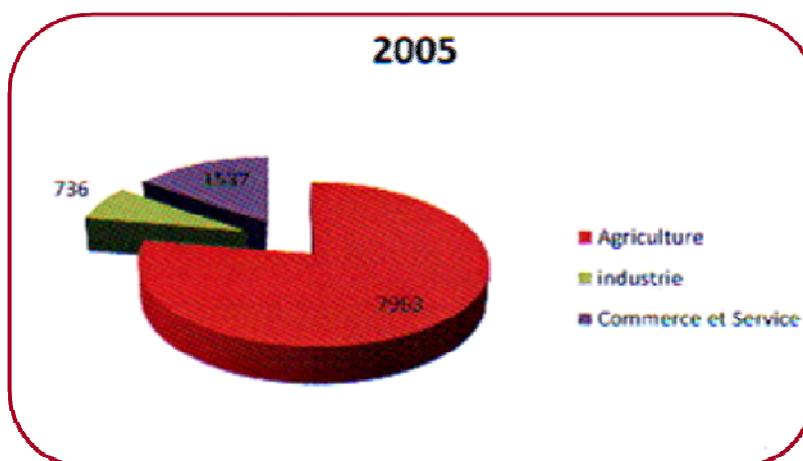


**Figure N° 12:** Evolution de la population active selon les domaines de travail (1997-2005)

- Secteur agricole : agriculture, élevage, ..., etc.
- Secteur industriel : carrières et construction, ..., etc.
- Secteur de commerce et services : administration, transport, télécommunication.



**Figure N° 13:** Répartition de la population active selon les domaines de travail en 1997



**Figure N° 14:** Répartition de la population active selon les domaines de travail en 2005

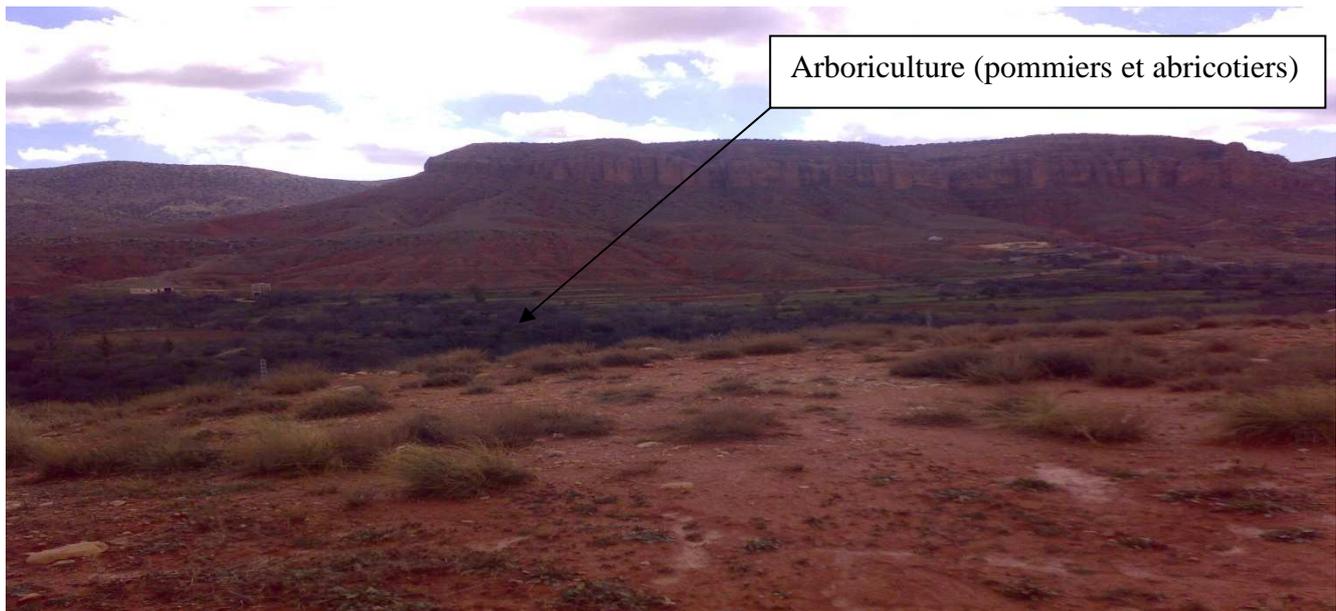
D'après le recensement des années 1997 et 2005 on remarque que la majorité de la population est attirée vers l'agriculture plus que l'industrie.

Nous remarquons aussi l'absence des hôtels, les services touristiques et la faiblesse du secteur commercial qualitativement et quantitativement ce qui pousse les habitants de la zone à faire leur course à Batna, Biskra et à Arris.

### 3.2 AGRICULTURE :

Etant donnée sa situation géographique notre zone d'étude appartient à un environnement modéré ou réside 14043 habitats et les conditions de la commune sont favorable à la production de nombreuses cultures agricoles. En effet, la région est connue particulièrement par l'arboriculture (les pommiers, les abricotiers) et la culture des céréales en cours d'extension au niveau de Nardi (photos.7 et 8).

La superficie agricole totale dans la commune de Bouzina est estimée à 8900 ha tandis que la superficie agricole utile est considérée à 6313 ha.



**Photo. N° 07:** L'arboriculture sur les jardins.



**Figure N° 08 :** La céréaliculture au niveau de la plaine de Nirdhi

### **3.2.1 Agriculture irriguée**

Les superficies irriguées à partir des forages et puits : 137 hectares et 24 hectares sont irriguées à partir des sources.

**Tableau N°22:** Pourcentage et structure des sols

<i>Structure des sols (SAU)</i>	<i>Pourcentage</i>
<b>Argileux</b>	60%
<b>Limoneux-argileux</b>	40%

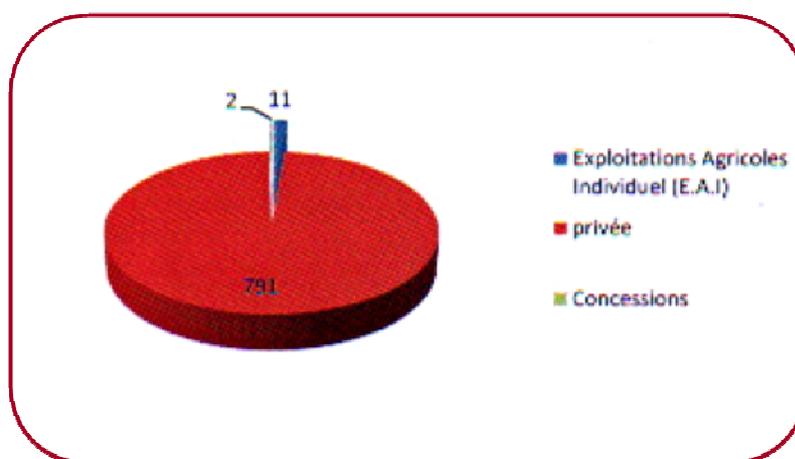
### 3.2.2 Exploitations agricoles :

L'utilisation de la superficie agricole utile en 2008 montre que l'exploitation agricole privée est dominante (8128ha) avec un nombre de 791 (tab.16, figs.23 et 24).

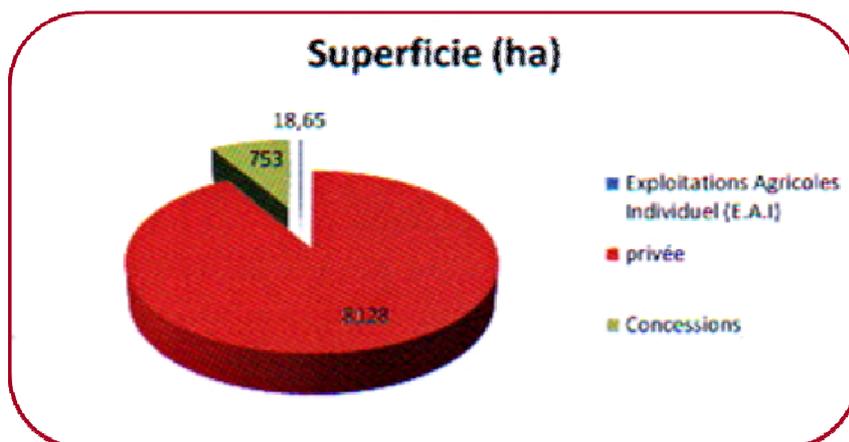
Ce type de concessions permette le développement de secteur quantitativement et qualitativement.

**Tableau N°23:** Utilisation de la superficie agricole utile en 2008

<b>Type d'Exploitation Agricole</b>	<b>Nombres</b>	<b>Superficies (ha)</b>
<b>Exploitation Agricoles Individuel (E.A.I)</b>	11	1865
<b>Privée</b>	791	8128
<b>Concessions</b>	2	753



**Figure N°15:** Utilisation de la superficie agricole utile en 2008 par nombres



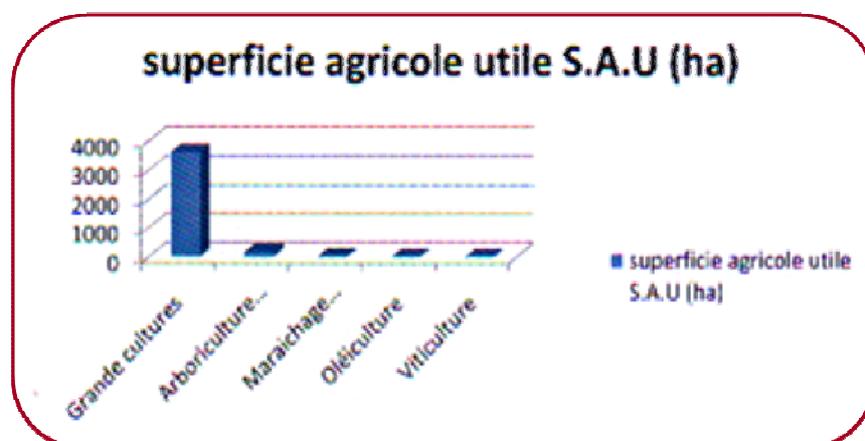
**Figure N°16 :** Utilisation de la superficie agricole utile en 2008

Les types des cultures existantes dans la commune (tab.17) sont : grandes cultures (3640ha), arboriculture fruitière (179ha), maraichage plein champ (35ha), oléiculture (4,30ha) et viticulture (3ha).

**Tableau N°24:** Utilisation de la superficie agricole utile en 2008

Type de culture	Superficie agricole utile S.A.U (ha)
Grandes cultures	3640
Arboriculture fruitière	179
Maraichage plein champ	35
Oléiculture	4,30
Viticulture	3

On constate que les grandes cultures dominantes à cause de la l'aspect montagnarde de la commune.



**Figure N°17:** Répartition de la superficie agricole utile S.A.U en 2008

### 3.2.3 Production agricole

Pour la production agricole (tab.18 et fig. 27), on constate ce qui suit :

- 1- *Le blé dur* : il est considéré comme la production la plus importante dans la région et il occupe la première position du point de vue production, qui a atteint 6000 Qx en 2008.
- 2- *L'orge* : occupe la deuxième position après le blé, avec une production de 4800 Qx.

3- **Tableau N°25:** Les produits Agricoles dans la commune de Bouzina (2008)

Type d'Agriculture	La production (qx)
Blé dur	6000
Orge	4800
Fourrage	3200
Maraichage	1260
Pomme de terre	480

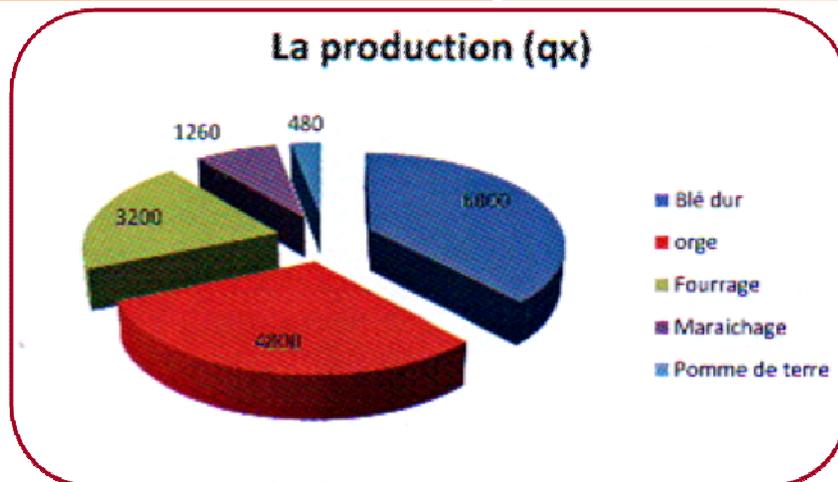


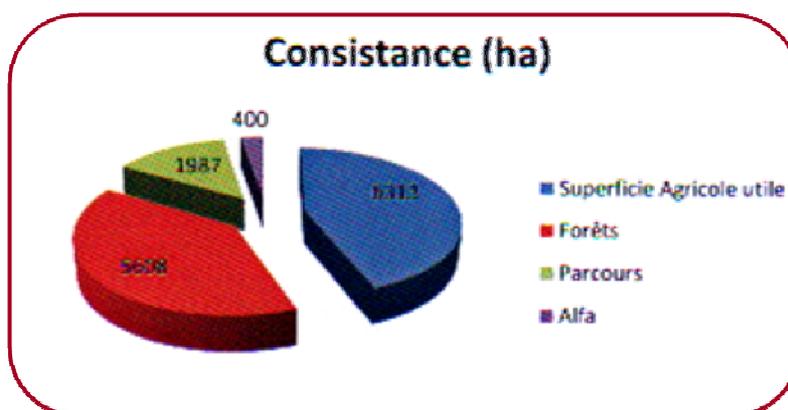
Figure N°18 : La production Agricole dans la commune de Bouzina en 2008

### 3.2.4 Production pastorale et animale

Avant d'évoquer la production, il est important de présenter les superficies utilisées par les différents domaines. En effet, le tableau 19 et la figure 28, montrent que la superficie agricole utile est de 6313 ha et les forêts de 5608 ha ; alors que les parcours ne présentent que 1987 ha et l'alfa 400 ha.

**Tableau N°26** : La production pastorale et animale

<i>Répartition de la superficie utilisée par l'agriculture</i>	<i>Consistance (ha)</i>
<b>Superficie Agricole utile</b>	6313
<b>Forêts</b>	5608
<b>Parcours</b>	1987
<b>Alfa</b>	400



**Figure N°19** : Répartition de la superficie utilisée par l'agriculture

Pour la production animale, la commune de Bouzina est l'une des rares communes où la production de lait local issu de l'élevage surtout de l'espèce caprine est arrivée à un taux d'autosuffisance assez appréciable.

En effet, le climat, la topographie et la couche végétale sont favorables quant au de cet espèce.

Le fait de chèvre reste très estimé par sa qualité et sa composition très nutritive, vu que cette espèce est consommatrice de feuilles d'arbres et d'herbes rares et médicinales (ex : armoise) qui pousse sur des terrains accidentés et que seule l'espèce caprine par ces qualités physiques particulières est capable de s'en nourrir.

L'introduction du cheptel moderne producteur de lait, sera bénéfique quant à la production de lait et permettra l'installation d'unités de transformation des laitiers (fromage, yaourt, beurre,...).

**Tableau N°27:** La répartition de la production animale dans la commune (2008)

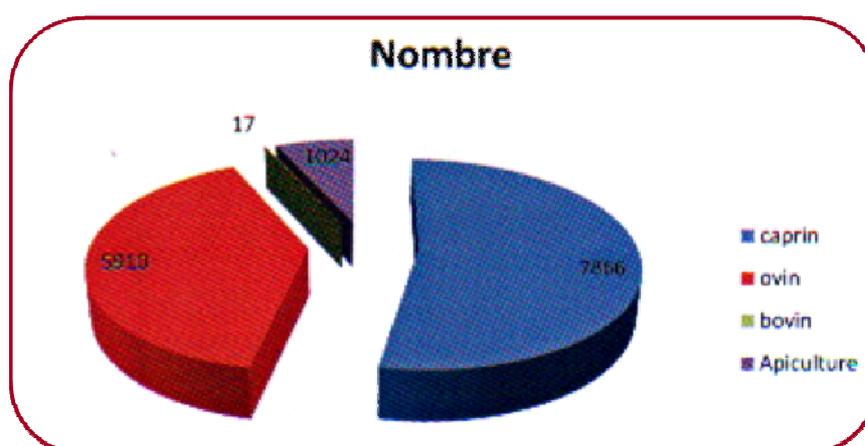
<i>Production Animale</i>	<i>Quantité</i>
<b>Lait</b>	329061 L
<b>Viande rouge</b>	1112 kg
<b>Miel</b>	921 kg

**Tableau N°28 :** Distribution du cheptel en 2008

<i>L'élevage</i>	<i>Caprin</i>	<i>Ovin</i>	<i>Bovin</i>	<i>Apiculture</i>	<i>Equin</i>
<b>Nombre</b>	7866	5910	17	1024	60

*La source :* Service agricole de la commune de Bouzina

- **L'élevage bovin :** malgré sa faible quantité dans la commune 17 dont 14 vaches laitières, mai il présente une source d'emploi dans les zones rustiques et les habitants bénéficient de ses produits laitiers.
- **L'élevage ovin :** le nombre d'ovin est estimé à 5910 têtes dont 3060 Brebis.
- **L'élevage caprin :** cet élevage occupe la première position avec 7866 dont 3613 chèvres, dépendant des pauvres pâturages et des hauts plateau froid comme la zone de MAHMEL, EL REKADHA, NERDI, HIDOUSSE, l'élevage caprin est également important pour les habitants qui profitent beaucoup plus de son lait que de sa viande.



**Figure N°20 :** La distribution de la production animale dans la commune (2008)

Il existe des variations importantes dans le rendement qui varie de 100Kg à 10 Tonne/ha en production céréalière dues généralement aux conditions climatiques et à la faible pluviométrie.

### 3.2.5 Matériels et infrastructures agricoles :

La commune de Bouzina est à vocation agricole, 54% de ces terres sont affectées à l'agriculture dont 59% représentent la surface agricoles utile (S.A.U), toutefois, l'enclavement de la commune, le manque des moyens, le vieillissement des plantations et de la main d'œuvre, l'orientation de la jeunesse vers d'autres secteurs autres que l'agriculture, ont engendré une nette régression dans la production.

**Tableau N°29:** Matériels et infrastructures agricoles

<i>Désignation</i>	<i>Nombre</i>
<b>Matériels de Traction :</b>	
-Tracteur Pneumatique	16
-Tracteur Motoculteurs	09
<b>Matériels aratoires :</b>	
-Camion	04 tonnages : 2,5 T
- Remorques	17 tonnages : 2,5 T
-Charrue à Socs	02
-Charrue à disques	19
-Outil à dents	01
-Hangars	03
-Poulailler de ponte	01 (non fonctionnel)
-Poulailler de chair	02

### 3.3 HABITAT ET INFRASTRUCTURES :

Les habitats du territoire sont simple construits avec des modestes matériaux et ils sont similaires aux habitats rustiques

Ces habitats étaient construits par des matériaux locaux tels que les branches, d'arbre et l'argile séchée, et ils sont en voie de destruction causée généralement par les fortes précipitations.

Il y'a aussi des habitats modernes construits avec des matériaux solides (roches, béton armé, brique et les raccordant industrielles)

Selon la Monographie faite par la direction de planification et l'aménagement de la wilaya de Batna fin 2005 et d'après les statistiques du 3ème trimestre 2008, on a enregistré le d'équipement de la commune comme suit :

### **Les infrastructures de la commune de Bouzina :**

#### **A - Infrastructures sociales :**

- 2680 habitats avec un taux d'occupation=6
- 01 Centre sanitaire
- 08 salles de soin
- 17 écoles fondamentales
- 02 C.E.M
- Un lycée d'un nombre de 239 étudiants.

#### **B- Autres équipement :**

- 01 maison forestière
- Une maison de jeune
- Une salle polyvalente
- Deux stades sportifs
- Six Association professionnelles avec 90 adhérents
- Une coopérative de service
- trois sociétés

#### **C- Des équipements électriques :**

- Le taux d'équipement en électricité a atteint 99%

#### **D- Equipement de poste et Télécommunication :**

- 04 centres postaux avec 512 lignes téléphoniques et 236 abonnés.
- 01 centre téléphonique.

#### **E - Equipements d'eau potable et d'assainissement :**

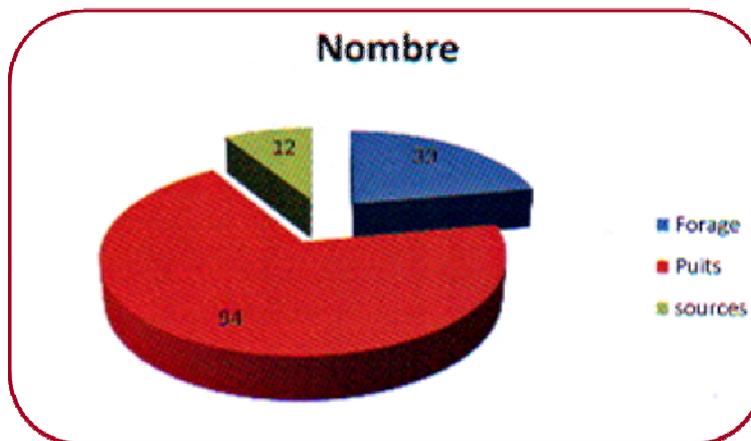
La commune de Bouzina est approvisionnée par un réseau d'eau potable avec une capacité de 3017 m<sup>3</sup>/jour et une quantité estimé à 185 L/habitants se qui signifie un taux de satisfaction de 100% tandis que le réseau d'assainissement est évalué à 40%.

**Tableau N°30 : Ressources hydriques**

Type de Ressources hydriques	Nombre	Débit cumulés
Forage	30	90
Puits	94	47 I/s
Sources	12	6 I/s

La commune de BOUZINA possède 30 forages avec un débit cumulés arrive à 90 L/s, ses forages permettent l'irrigation des cheptels, 94 puits avec un débit de 47 L/S et 12 sources dont débit 61 L/S.

Les chiffres de se tableau sont représentés dans l'histogramme à secteur.



**Figure N°21 : Type et nombre des Ressources hydriques**

### 3.4 LES RESEAUX

Ce sont là le réseau d'eau potable, d'assainissement et routier.

#### 3.4.1 EAU POTABLE:

Beaucoup d'habitants s'alimentent à partir des Sources et des points d'eau, ces derniers se localisent en général à un niveau inférieur aux constructions. L'agglomération étant dépourvue d'un réseau d'assainissement des eaux usées, le risque de contamination des sources est imminent et le danger d'apparition de maladies à transmission hydriques reste menaçant (choléra, typhoïde, poliomyélite...).

L'approvisionnement de la population en eau potable représente incontestablement la des priorités. Ce problème qui a une dimension universelle a été au centre des préoccupations des autorités locales, beaucoup d'effort ont déployé ces dernières années pour répondre aux attentes de la population.

#### **3.4.2 ASSAINISSEMENT :**

L'élimination des eaux usées domestiques est directement liée à la qualité sanitaire de l'eau de boisson. Les conditions non hygiéniques dans laquelle elle se fait généralement, expliquent le risque des maladies à transmission hydrique. Les différents systèmes d'évacuation des eaux usées répondent rarement aux normes de salubrité.

Seul le chef lieu de commune bénéficie d'un réseau d'assainissement des eaux usées qui sont jetées directement dans l'oued BOUZINA sans aucun traitement, les autres agglomérations secondaires sont partiellement raccordées aux réseaux d'assainissement.

Vu le caractère épars de la population ainsi que l'aspect très accidenté du relief de la commune. Le raccordement au réseau d'assainissement constitue un défi pour les autorités

#### **3.4.3 INFRASTRUCTURE ROUTIERES :**

Située en marge de la vallée de oued Abdi, la commune de Bouzina est mal desservie en matière d'infrastructures techniques (routes, électricité, transport, etc...) qui constituent les éléments principaux sur lesquels s'articule le développement de la commune.

La commune de Bouzina contient 07 voiries rurales et une voirie urbaine.

#### **3.5 LE PROJET DU BARRAGE DE BOUZINA :**

Une étude de faisabilité d'un barrage à l'ugsitoire du bassin versant de Bouzina et précisément au site de Kaf Lahmar, a été faite par un Bureau d'études Suisse (BG Stucky)

Le site sélectionné pour l'implantation du barrage présente des conditions topographiques géologiques et hydrologiques favorables pour la réalisation d'un barrage.

La construction du barrage à cet endroit est d'une importance vitale pour la région de Bouzina et les autres régions (Communes de Mena, Tigharghar, Djemora...), et apparait comme une condition principale pour son développement.

D'après l'étude, le projet permettra :

- De régulariser un volume de 22,5 millions mètres cube par an, soit 75% de l'apport interannuel moyen ( $A = 30M m^3$ ), qui sera utilisé pour l'irrigation de 3200 ha environ
- D'utiliser les eaux des sources captées pour l'alimentation en eau potable des communes de Mena et Tigharghar.

- De créer un nombre considérable d'emplois productifs grâce aux activités qu'il induira à l'aval.
- De créer un micro climat aux bienfaits certains.
- *De diminuer l'érosion hydrique des sols Grace aux aménagements connexes à tous les barrages (Reboisement, Réaménagement agricole etc...) et d'épargner ainsi aux populations locales la dégradation de la ressource sol, dont dépend toute leur existence.*

Le site choisis jouit de bonnes conditions de stabilité (sismique et géomorphologique) de portance et d'étanchéité.

Les matériaux de construction de qualité satisfaisante y sont disponibles en quantité suffisante et à bonne distance, ceci est particulièrement vrai pour :

- L'enrochement
- Les limons – argiles
- Les alluvions (en moindre quantité)
- L'agrégat à béton
- Ciment (Usine d'AinTouta)

La durée de vie du barrage est de 50 années, la densité des sédiments est de 1.5 t/m<sup>3</sup>.

### **Conclusion :**

L'analyse des différents éléments socio-économiques nous permet de retirer les points suivants :

- La population de la commune est en augmentation continue jusqu'à le recensement de 2008 qui indique une décroissance liée à l'exode des travailleurs vers les villes voisines.
- La population de la commune se centralise beaucoup plus dans les agglomérations secondaires que dans le chef lieu de la commune donc une population rurale avec des conditions de travail dans le secteur agricole.
- La régression dans la production arboricole est due au vieillissement des plantations et à la disponibilité des eaux de l'oued Bouzina qui restent irrégulières.
- L'appauvrissement des terres agricoles dû à l'érosion, les eaux de ruissellement entraînent en effet la bonne terre végétale et laissent des sols pauvres et improductifs.
- Une longue durée de l'attente du projet de barrage qui va donner au bassin versant de Bouzina une autre image bien déterminée par ses différents avantages.
- La pensée à la réalisation du barrage doit être subi préalablement par un ensemble d'aménagements anti-érosifs.



*Partie 02*  
*étude du*  
*risque*  
*d'érosion*



*Chapitre 01*

*Définitions*

*et*

*méthodologie*

Le risque est un événement dommageable pour l'homme et ses activités et/ou les potentialités environnementales ; il résulte de la confrontation d'un aléa et d'une vulnérabilité. Les risques occupent une place centrale parmi les actions et les moyens mis en place en matière de sécurité civile. Ils en constituent en quelque sorte le principal objet. Toutefois, malgré l'importance du concept de risque, la façon de l'aborder, de le définir et de le présenter varie souvent d'un acteur à l'autre.

Cette situation s'explique en partie par le fait qu'il s'agit d'une notion utilisée dans de nombreux domaines d'activité et par plusieurs disciplines.

## 1.1 DEFINITIONS ET DESCRIPTION

### 1.1.1 Définitions :

La notion de *risque* naturel est découpée en deux termes indépendants qui sont l'aléa naturel et la vulnérabilité à cet aléa (fig.34).

Le terme **aléa** concerne un événement naturel susceptible de se produire et dont on s'efforce d'évaluer la probabilité.<sup>1</sup> Il constitue *un phénomène, une manifestation physique ou une activité humaine susceptible d'occasionner des pertes en vies humaines ou des blessures, des dommages aux biens, des perturbations sociales et économiques ou une dégradation de l'environnement*<sup>(2)</sup>.

**La vulnérabilité** est la sensibilité d'un territoire ou d'une population lors de la réalisation d'un aléa. Elle représente *une condition résultant de facteurs physiques, sociaux, économiques ou environnementaux, qui prédispose les éléments exposés à la manifestation d'un aléa à subir des préjudices ou des dommages*<sup>(3)</sup>.

La vulnérabilité fait ainsi référence aux situations et aux caractéristiques intrinsèques d'un milieu ou d'éléments de celui-ci, qui conduisent à anticiper des conséquences néfastes pouvant résulter de la manifestation d'un ou de plusieurs aléas. La vulnérabilité met donc en évidence l'incapacité ou l'inaptitude d'un milieu et de ses composantes à résister à un aléa ou à répondre à sa manifestation

Ainsi, le risque résulte de l'interaction entre un aléa potentiel et la vulnérabilité du milieu exposé à son égard. Cette combinaison d'éléments met donc en évidence le fait qu'un

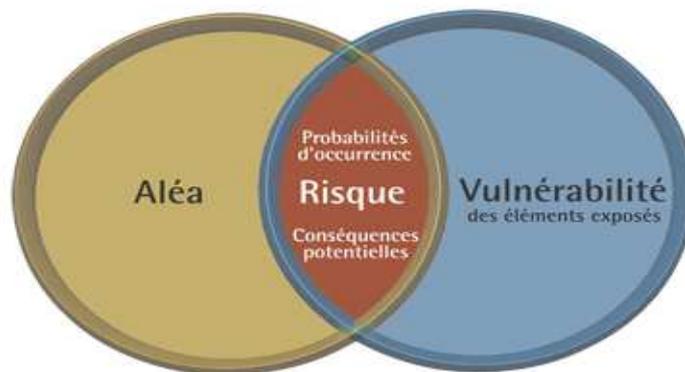
---

<sup>1</sup> Paul Henry BOURRELIER, Guy DENEUFBOURG, Bernadette de VANSSAY (2000) - *Les catastrophes naturelles, le grand cafouillage*. Ed. Osman Eyrolles, Santé & Société, 262 p.]

<sup>(2) (3)</sup> Définition adaptée de celle de la Stratégie internationale des Nations Unies pour la prévention des catastrophes.

aléa jugé comme étant probable est susceptible d'entraîner des conséquences néfastes sur le milieu touché.

L'importance des notions d'aléa et de vulnérabilité, dont la maîtrise est essentielle à une bonne compréhension du concept de risque, justifie que l'on s'y attarde afin d'en cerner les principales dimensions.



**Figure N°22:** Le risque : résultat de l'interaction entre l'aléa et la vulnérabilité

**L'aléa érosion hydrique, noté ( $A_e$ )** exprime la probabilité qu'un processus, d'intensité donnée, se produise en un lieu donné. Il est donc lui-même fonction de deux éléments : l'occurrence et l'intensité, et la **vulnérabilité** (notée  $V^e$ ) à l'érosion correspond aux conséquences prévisibles d'une telle érosion sur les enjeux (personne, bien, équipements, infrastructures et environnement).

### 1.1.2- Dégâts liés au risque d'érosion hydrique

A coté des dégâts bien visibles concernant les terres cultivées, il existe des dégâts en aval beaucoup plus insidieux provoqué par l'augmentation du ruissellement et l'entraînement des particules du sol, citons les dégâts en zones de départ et en zone de dépôt.

#### - Dégénération du bilan hydrique :

Il s'agit de l'effet le plus important. Une culture pluviale soumise à l'érosion voit son déficit hydrique s'accroître suite à la réduction de la pluie efficace. En effet une fraction importante de la pluie ruisselle et n'est plus utilisable par la plante.

La réduction du volume de sol exploitable pour les racines et donc de la réserve utile du sol

Le départ du sol prive, dans ce cas, la culture d'une réserve en eau indispensable.

#### - Appauvrissement du sol :

La teneur en humus et en éléments nutritifs du sol décroît. La capacité de rétention en eau du sol diminue. La stabilité structurale du sol décroît.

Cet appauvrissement est lié au double effet de décapage des horizons supérieurs, habituellement les plus fertiles et de sélectivité de l'érosion.

Diminution du drainage profond induisant une moindre réalimentation des nappes.

#### **- La dégradation de la qualité des eaux :**

Les eaux de ruissellement alimentent les rivières qui se chargent en M.E.S. L'augmentation de la turbidité des eaux modifie l'équilibre trophique et peut même entraîner l'asphyxie des poissons. L'envasement a un effet négatif sur le développement des alevins. Le lit de la rivière peut être colmaté et l'échange avec la nappe alluviale interrompue.

L'entraînement des particules de sols dans les eaux superficielles s'accompagne également de celui des intrants agricoles (engrais, pesticides) et des polluants d'origine industrielle, urbaine, routière. L'apport d'azote et de phosphore provoque l'eutrophisation de la rivière (ou de la zone littorale). L'impact écologique des produits phytosanitaires est reconnu mais plus difficile à évaluer du fait de la multiplicité de ces substances et de leur large spectre d'action. Les métaux lourds sont également transportés par les eaux de ruissellement. Donc une augmentation du coût de traitement des eaux de consommation.

#### **- Des dégâts ressortant des « catastrophes naturelles »**

On peut ranger ici :

- Les coulées de boues,
- L'envasement accéléré des fossés de drainage, des canaux d'irrigation et des réservoirs (bassins), sapement de chaussées, colmatage des réseaux d'assainissement et des ouvrages de retenue des eaux pluviales, envasement des barrages...
- La réduction de la capacité des lits de rivières et le risque d'inondation des terres voisines.

A coté de ces dégâts, d'autres conséquences néfastes sont à signaler, tels que les déchaussements, le recouvrement de la culture, l'emport des plantes, etc.

### **1.3 APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE**

L'approche que nous avons adoptée, pour la cartographie numérique du risque d'érosion hydrique est basé sur les méthodes géomatiques. En effet, deux techniques, différentes mais complémentaires, ont été utilisées : celle de la télédétection et celle de SIG.

Pour mettre en relief ces approches technologiques et décrire leurs concepts de base, nous nous sommes basés sur plusieurs travaux traitant ces techniques, citons le travail de BELHADJ AISSA M. (2004) ; de GUETTOUCHE M.S. (1991) ; de ABDELBAKI A. (2007)

Nous présentons, dans un premier lieu, l'approche développée pour le calcul du Risque d'érosion des sols, puis les différentes méthodes géomatiques qui consistent en la Télédétection et ses différentes méthodes en insistant sur le modèle utilisé dans la cartographie des espaces érodés ; puis le système d'information géographique et la méthode de modélisation de notre base de données du risque d'érosion

### **1.2.1/ Modélisation du risque d'érosion hydrique**

Pour calculer le risque d'érosion hydrique, il est nécessaire de modéliser chacun des éléments du risque. Cette étape consiste à sélectionner les paramètres propres à chaque élément (pluie, pente, etc.) puis à utiliser un modèle de représentation de risque afin de l'évaluer.

Les paramètres sont les facteurs du milieu naturel et anthropiques qui influencent l'érosion et son intensité, ainsi que leur déroulement (aspects liés à la lutte). Ces différents paramètres sont très corrélés et c'est leur combinaison qui influence ou provoque le ruissellement et l'ablation.

La définition que nous avons adoptée du Risque d'érosion, suggère que le risque est le produit des deux termes, aléa et vulnérabilité. Cela nous ramène aux expressions suivantes :

$$R_{\text{ero}} = A_{\text{ero}} * V^{\text{ero}} \quad (01)$$

Où

$R_{\text{ero}}$ : Indice exprimant le degré du risque d'érosion

$A_{\text{ero}}$ = Indice exprimant le degré de l'aléa érosion hydrique

$V^{\text{ero}}$ = indice exprimant le degré d'exposition des enjeux (humains, matériel, équipement, etc.) à l'érosion (vulnérabilité)

#### **1.2.1.1 / Modèle de l'aléa érosion hydrique**

Parmi les nombreuses formules, calculant l'érosion hydrique, relevées dans les références bibliographiques, nous citons celle connu sous le nom UNIVERSEL SOIL LOSS EQUATION mise au point par Wischmeier et Smith (1978). C'est un modèle empirique simple, basé sur des analyses de régression de taux de perte en sol, à différents lieux aux USA.

Le modèle est conçu pour estimer des taux annuels d'érosion, sur le long terme, dans les zones agricoles. Bien que l'équation ait beaucoup de défauts et de limites, elle est très utilisée, à cause de sa relative simplicité et sa fiabilité (Desmet et Govers, 1996).

Cette équation représente aussi une approche standardisée. C'est une fonction multiplicative des cinq facteurs qui contrôlent l'érosion hydrique. Elle est représentée par l'expression suivante :

$$A = R . K . LS . C . P \quad (02)$$

Où :

**A** est le taux annuel de perte en sol en t/ha/an,

**R** est le facteur de l'érosivité des pluies ; il correspond à la moyenne annuelle des sommes des produits de l'énergie cinétique de la pluie par son intensité maximum en 30mn ; il est exprimé en  $\text{tm/ha} \cdot \text{cm/h}$ ,

**K** est l'érodibilité des sols ; il dépend de la granularité, de la quantité de matière organique de la perméabilité et de la structure du sol ; sans dimension

**LS** est un facteur sans dimension qui représente l'inclinaison (S en %) et la longueur de pente (L en m),

**C** est un facteur sans dimension qui représente l'effet du couvert végétale et des pratiques culturales,

**P**, facteur sans dimension, est un rapport qui tient compte des pratiques anti-érosives telles que le labour en courbes de niveau.

### a- Erosivité des pluies (R) :

L'estimation du facteur R selon la formule de Wischmeier & Smith nécessite la connaissance des énergies cinétiques ( $E_c$ ) et de l'intensité moyenne sur 30 minutes ( $I_{30}$ ) des gouttes de pluie de chaque averse. Elles sont données par la formule empirique de Wischmeier & Smith (1978) :  $R = K E_c I_{30}$  où K étant un coefficient dépendant du système d'unités de mesure.

Les seules données disponibles concernant les précipitations dans les stations qui se trouvent dans le bassin ou à sa proximité sont des moyennes mensuelles et annuelles. Pour cela, nous avons opté pour l'autre formule qui est de la forme :

$$R = k.C^n \quad ; \quad \text{avec} \quad C = h_1 x h_{24} x H \quad (03)$$

Où :

$h_1$  : Hauteur maximale de pluie tombée en 1 heure avec une période de Retour de 2 ans (cm).

$h_{24}$  : Hauteur maximale de pluie tombée en 24 heures avec une période de retour de 2 ans(cm).

H : Hauteur moyenne annuelle de pluie (cm)

K et n sont des coefficients relatifs aux climats :

### b- Erodibilité des sols (K)

Le facteur érodibilité des sols est le taux d'érosion déterminé expérimentalement sous des conditions standard.

La répétition des expérimentations sur différents types de sols a permis à Wischmeier & Smith (1978) de développer une équation pour le calcul de l'érodibilité des sols :

$$100K = 2,2.M^{1,14}.10^{-4} (12-a) + 3,25 (b-2) + 2,5 (c-3) \quad (04)$$

Où :

M est calculé par la formule  $M = (\% \text{ sable fin } + \text{ limon}).(100 - \% \text{ argile})$ ,

a est le pourcentage de matière organique,

b est le code de la perméabilité,

c est le code de la structure.

### **c - La pente et la longueur de pente (L.S) :**

Le facteur topographique comporte deux éléments: inclinaison (S) et longueur (L) de pente. Dans le cas de pentes faiblement inclinées, l'érosion sous forme de «splash» et l'érosion diffuse est due surtout à l'énergie cinétique délivrée par la pluie (Roose, 1994). Au-delà d'une pente supérieure à environ 2%, l'érosion connaît une croissance exponentielle (McIsaac et al., 1987; Fox et Bryan, 1999) due à la formation de rigoles et à l'augmentation, avec la vitesse de ruissellement, des taux d'érosion diffuse. La forte augmentation des taux d'érosion avec la pente résulte donc principalement de l'effet de l'inclinaison sur la vitesse de ruissellement qui peut devenir suffisante pour arracher les sédiments et former des rigoles. L'action de l'inclinaison de la pente sur le ruissellement est amplifiée par la longueur de la pente, même si l'impact de ce dernier demeure limité. Le facteur topographique dans L'USLE est représenté par la formule suivante :

$$LS = \frac{\sqrt{9.28L}}{100} (0.076S^2 + 0.53S + 0.76) \quad (05)$$

Avec

L : longueur de pente en m et S : pente en %.

Pour notre cas «Bassin versant», nous estimons que l'effet de la longueur de pente sur l'érosion est devant celui de la pente. Donc nous pouvons retenir pour ce facteur que le 2<sup>ème</sup> terme de la formule qui représente l'inclinaison (S).

### **d – Couvert végétal et pratiques culturales (C) :**

Assurée par les végétaux (et les cailloux) a une importance qui l'emporte sur celle de tous les autres facteurs qui conditionnent l'érosion. En effet, quels que soient l'agressivité du climat, la pente, le type de sol, les phénomènes d'érosion seront médiocres si le sol est couvert à plus de 90 %. A noter cependant que les techniques culturales vont intervenir puissamment durant la phase de croissance des végétaux. **C** : l'interaction entre la couverture végétale et les techniques culturales, varie entre 1 et 0.001.

L'indice C permet par ailleurs de sélectionner les techniques et les plantes les mieux adaptées aux conditions écologiques locales.

### **d –Pratiques anti - érosives (P) :**

La présence ou l'absence d'un aménagement, joue un rôle important sur les pertes en sol : un sol restauré est moins érodable qu'un autre moins restauré, et cela est revenu aux techniques d'installation des aménagements.

Pour notre cas, nous voulons modéliser l'aléa érosion qui est défini comme étant l'érosion potentielle et non actuelle. Dans ce cas l'aléa est fonction de l'érosivité des pluies, de l'érodibilité des sols et du facteur topographique qui est ici (Bassin versant) ne prendre en considération que le facteur inclinaison de pente S. De ce fait, l'aléa érosion hydrique peut être évalué par l'expression :

$$A_{\text{ero}} = R.C.S = \{ (k.C^m) * ((2,2.M^{1,14} \cdot 10^{-4} (12-a) + 3,25 (b-2) + 2,5 (c-3) * 10^{-2}) * (S)) \}$$

### **1.2.1.2 / Modélisation de la vulnérabilité :**

La modélisation de la vulnérabilité du bassin versant au phénomène d'érosion hydrique des sols nécessite une bonne compréhension du terme de vulnérabilité ;

En prenant la vulnérabilité comme : « Niveau de conséquences prévisibles d'un aléa sur les enjeux. La vulnérabilité mesure "les conséquences dommageables de l'événement sur les enjeux concernés." »

Dans notre cas il faut déterminer les classes d'occupation des sols et les prendre comme des enjeux. Pour définir le degré de vulnérabilité du bassin versant, chaque type d'occupation de sol a un niveau de vulnérabilité déterminé.

### **1.2.2/ Spatialisation du risque d'érosion : Apport de la Géomatique**

Deux approches différentes mais complémentaires ont été utilisées pour spatialiser le degré du risque d'érosion hydrique, le SIG et la Télédétection.

L'outil (SIG) nous permettra de superposer des couches d'informations et de mettre en relation des données géographiques diverses, pour une éventuelle analyse ou synthèse recherchée.

Le processus de déroulement de cet outil peut être schématisé par la figure suivante :

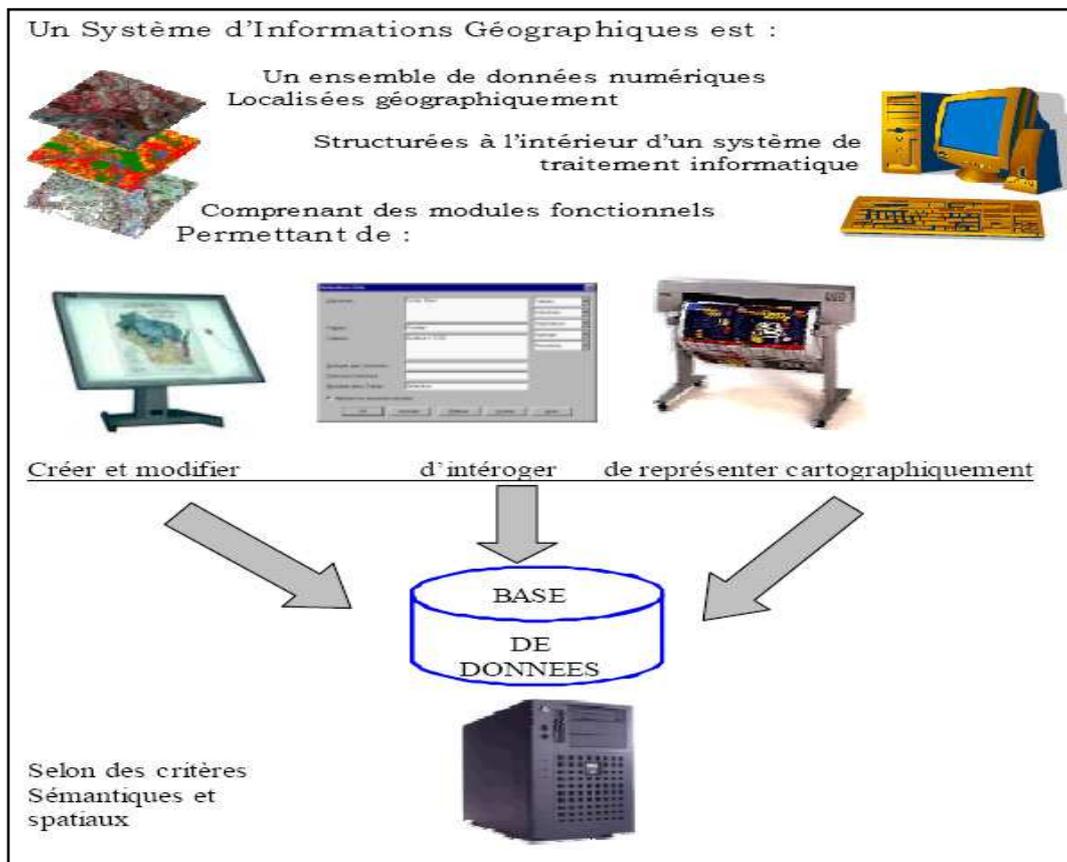


Figure N°23: Schéma d'un SIG.

Dans le cas de notre étude, le processus de préparation de notre base de données géographiques peut être schématisé ainsi (figure 24) :

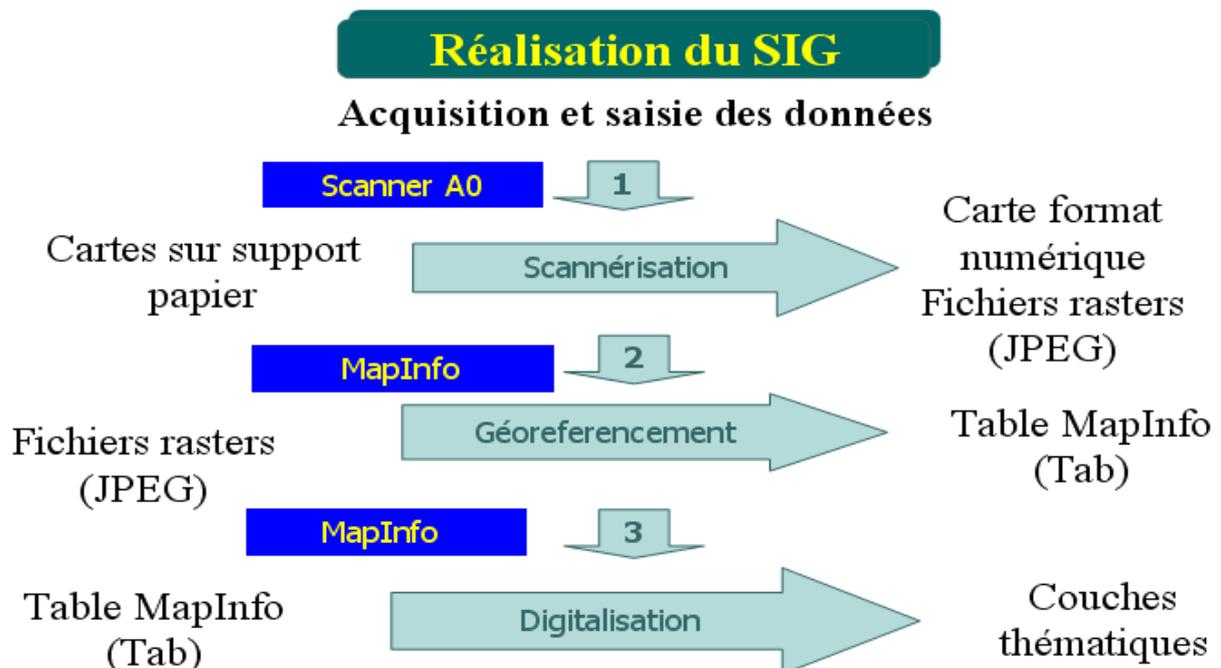


Figure 24 : Réalisation du SIG.

Chaque couche thématique représente un facteur de l'équation adopté pour le calcul de l'aléa ou celle de la vulnérabilité. La combinaison selon les modèles donne les cartes de l'aléa érosion hydrique, de la vulnérabilité et du risque d'érosion hydrique dans le bassin versant.

Pour la **téledétection**, elle a été utilisée pour établir la carte de l'occupation des sols comme base nécessaire pour l'analyse de la vulnérabilité du milieu.

### **Conclusion:**

L'érosion hydrique est composée d'un ensemble de processus complexes et interdépendants, pour l'étude et la l'analyse du risque provenant de ce phénomène, on utilise les nouvelles techniques de la géomatique qui est un domaine qui fait appel aux sciences, aux technologies de mesure de la terre ainsi qu'aux technologies de l'information pour faciliter l'acquisition, le traitement et la diffusion des données sur le territoire.

# *Chapitre 02*

## *L'Aléa*

### *" érosion hydrique des sols"*

Ce chapitre est consacré à l'application du modèle adopté pour évaluer l'aléa de l'érosion hydrique des sols, puis l'intégrations des résultats de calcul dans un système d'information géographique, en utilisant le logiciel Map Info 7.5, pour une spatialisation du degré de risque.

### 2.1- Etude d'érodibilité des sols "K":

La spatialisation du facteur K nécessite une carte des types de sols et malheureusement nous n'avons pas trouvé cette carte, nous avons effectué des prélèvements de douze (12) échantillons de sol entre (0 et 20 cm) de profondeur couvrant presque la totalité du bassin versant étudié tout en tenant compte des types de sol et la lithologie du terrain. (La localisation des échantillons est faite par un GPS et présentée sur la carte)

Pour la détermination de ce paramètre nous avons baser sur l'équation de Wischmeier:

$$100K = 2,2.M^{1,14}.10^{-4} (12-a) + 3,25 (b-2) + 2,5 (c-3) \quad (1)$$

Ainsi des analyses de granulométrie ont été faites au niveau du laboratoire pour déterminer la composition texturale « M » de chaque échantillon de sol et le pourcentage de la matière organique « a ».

Le code de la structure des sols « b » varie entre 1 et 4, 1 pour une structure grenue très fine et 4 pour une structure massive ou en bloc.

Le code de la perméabilité « c » de 1 à 6, allant de 1 pour les sols à drainage rapide à 6 pour les sols à drainage très lent.

Les résultats des analyses sont présentés dans les tableaux suivants:

**Tableau 31:** Résultats des analyses granulométriques

Échantillon	Argile (%)	Limons (%)	Sable (%)	a	b	c
01	0.28	1.02	55.09	1.8	2	4
02	0.32	1.12	51.76	2	2	4
03	0.17	1.70	45.87	1.4	2	4
04	0.06	0.75	50.37	1.4	2	4
05	0.12	1.62	68.12	1.9	2	4
06	0.05	1.47	29.47	1.3	2	4
07	1.02	1.55	30.94	1.4	2	4
08	0.19	1.75	32.87	1.2	2	4
09	0.04	2.04	53.12	1.2	2	4
10	0.5	3.31	89.37	1.2	2	4
11	0.6	0.37	59.8	1.3	2	4
12	1.12	0.42	61.42	1.8	2	4

**Tableau 32 : Résultats de calcul de K**

<b>Échantillon</b>	<b>Coordonnées X</b>	<b>Coordonnée Y</b>	<b>100K</b>	<b>K</b>
<b>01</b>	6.1351	35.2533	22.11	0.22
<b>02</b>	6.1291	35.2581	32.49	0.32
<b>03</b>	6.1129	35.2576	46.16	0.46
<b>04</b>	6.1297	35.2717	44.13	0.44
<b>05</b>	3.1461	35.2852	28.23	0.28
<b>06</b>	6.1936	35.2160	38.17	0.38
<b>07</b>	6.1530	36.3136	36.10	0.36
<b>08</b>	6.2165	35.3250	26.24	0.26
<b>09</b>	6.1690	35.2798	49.38	0.49
<b>10</b>	6.0190	35.2197	48.21	0.48
<b>11</b>	6.0416	35.2163	48.16	0.48
<b>12</b>	6.0356	35.2029	24.42	0.24

La valeur moyenne de l'érodibilité sur la totalité du bassin versant est de 0.36, ce qui signifie que les sols sont d'une érodibilité élevée.

La spatialisation cartographique de cette érodibilité est basée sur une détermination de quatre classes:

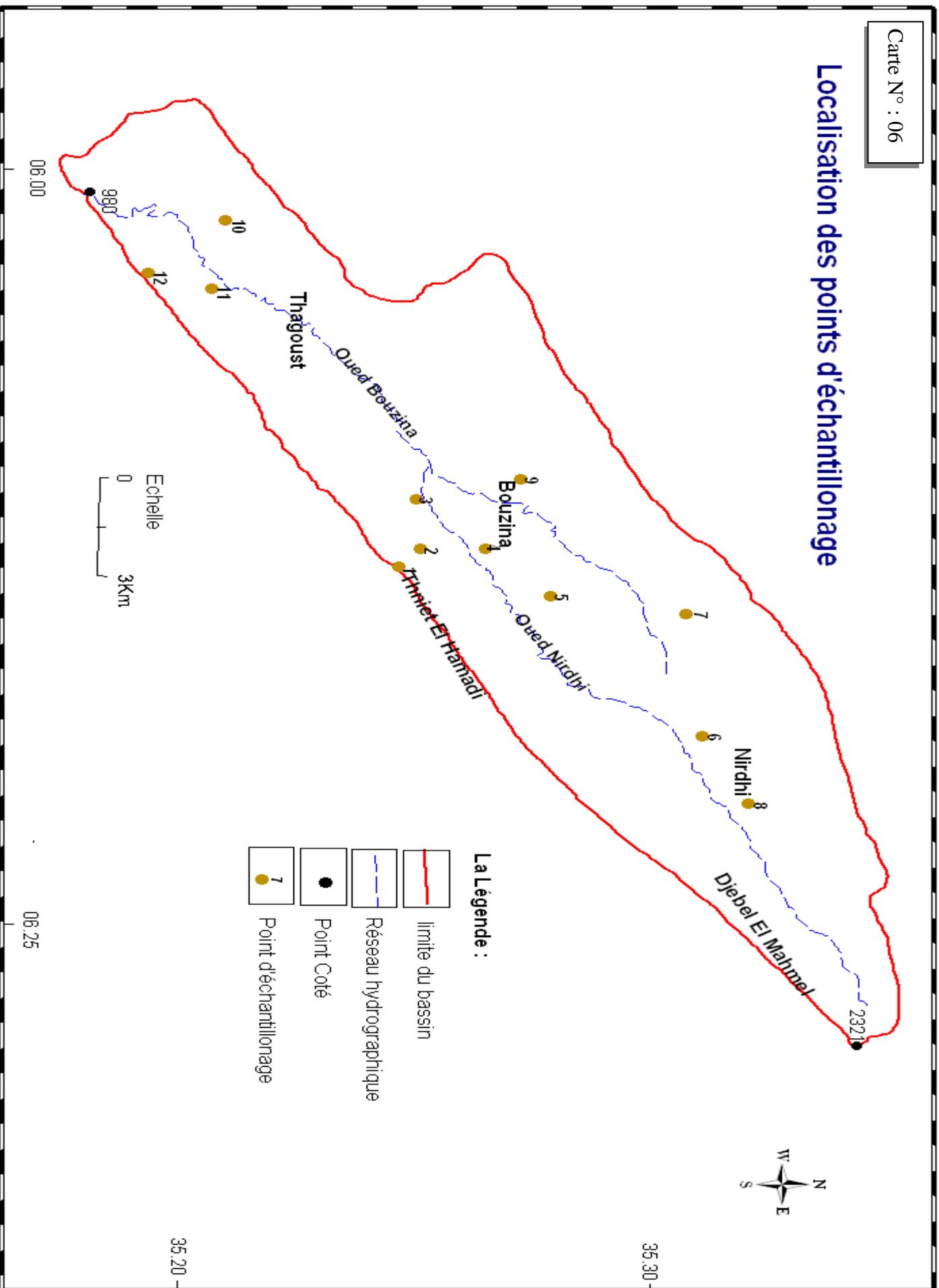
Classe 1 :  $K \geq 0,45$  qui indique une érodibilité très élevée

Casse 2 :  $0,45 \geq K \geq 0,35$  donc une érodibilité élevée

Classe 3 :  $0,35 \geq K \geq 0,25$  L'érodibilité est moyenne

Classe 4 :  $K < 0,25$  valeur d'une érodibilité faible à très faible

# Localisation des points d'échantillonnage

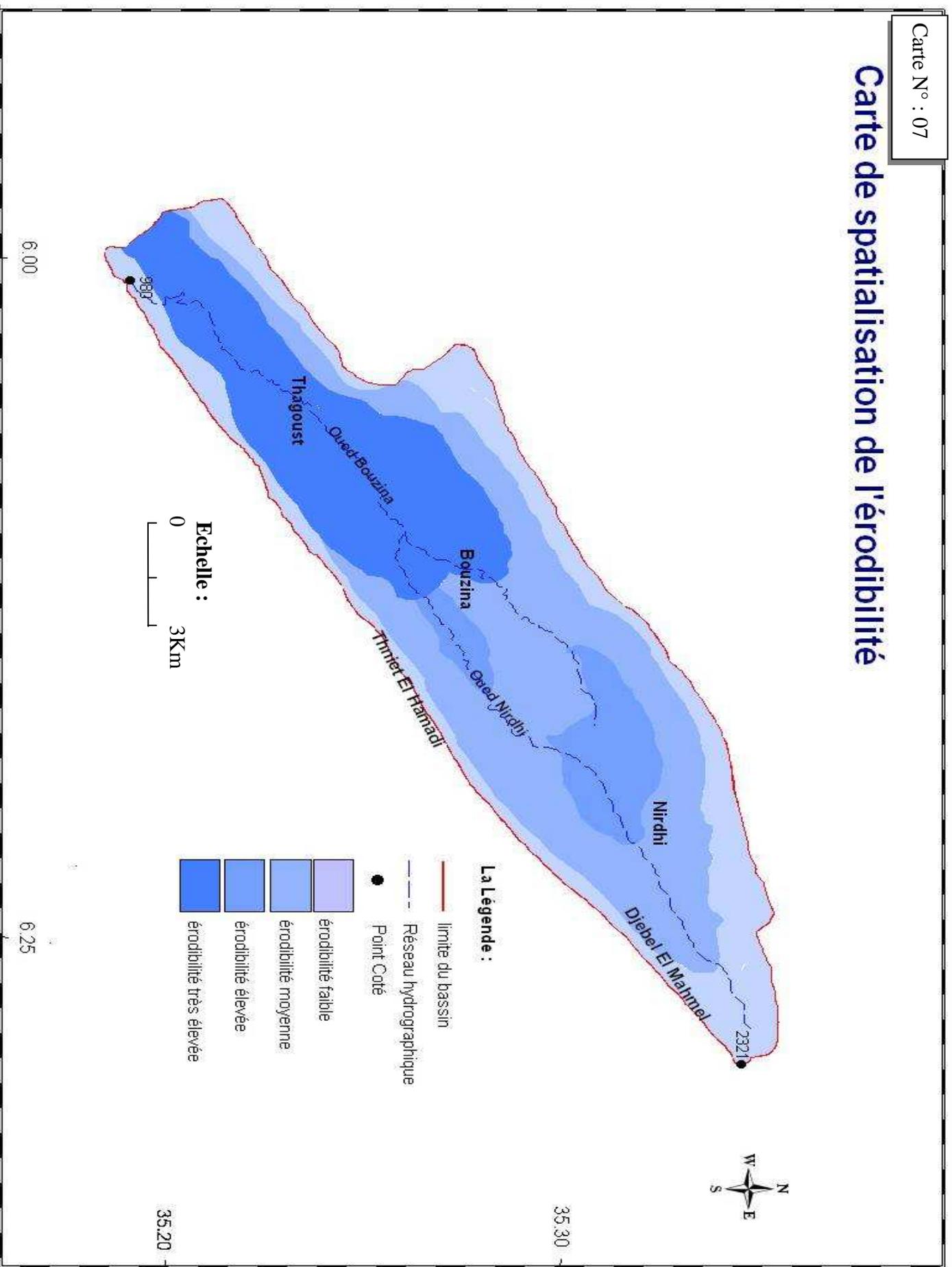


### La Légende :

-  limite du bassin
-  Réseau hydrographique
-  Point Coté
-  Point d'échantillonnage

Echelle  
0 3Km

# Carte de spatialisation de l'érodibilité



## 2.2- Etude d'érosivité des pluies "R":

Pour le calcul de ce paramètre nous avons utilisé la relation :

$$R = (k.c)^n \quad (2)$$

Avec :

$$C = h_1 \times h_{24} \times H \quad (3)$$

Où :

$h_1$  : Hauteur maximale de pluie tombée en 1 heure avec une période de Retour de 2 ans (cm).

$h_{24}$  : Hauteur maximale de pluie tombée en 24 heures avec une période de retour de 2 ans(cm).

$H$  : Hauteur moyenne annuelle de pluie (cm)

$k$  et  $n$  sont des coefficients relatifs aux climats :

Pour le cas du bassin versant de Bouzina, le domaine est semi-aride à aride donc :

$$K = 0.751 \text{ et } n = 0.80.$$

En vue de déterminer les précipitations tombées pendant des averses de différentes durées (t) et de fréquence voulue, la formule suivante est appliquée :

$$P_{t\%} = \overline{P_{j\%}} (t/24)^b \dots\dots\dots(4). \text{ (IN Sarvary. I .1985)}$$

Avec:

$P_{t\%}$  = Hauteur de pluie de fréquence et durée donnée.

$\overline{P_{j\%}}$  = La moyenne des pluies journalières maximum annuelles.

$t$  = Le temps de concentration.

$b$  = L'exposant climatique relatif à chaque station.

Les pluies journalières maximum d'une fréquence donnée sont déterminées grâce à la formule suivante :

$$P_{j\%} = \frac{\overline{P_j}}{\sqrt{Cv_2+1}} e^{\mu \sqrt{\ln(Cv_2+1)}} \dots\dots\dots (5). \text{ IN Sarvary. I .1985}$$

$P_{j\%}$  = Pluie journalière maximum de fréquence voulue.

$\overline{P_j}$  = La moyenne des pluies journalières maxima annuelles.

$Cv$  = Le coefficient de variation.

$\mu$  = variable de Gauss dont les valeurs sont indiquées dans le tableau suivant :

**Tableau N° 33 : Variable de Gauss selon les fréquences**

<b>Fréquence au non dépassement</b>	<b>50</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>Période de retour (années)</b>	2	5	10	20	50	100
<b>Variable de Gauss (<math>\mu</math>)</b>	0	0.841	10282	1.645	2.057	2.327

Pour les pluies fréquentielles  $h_1$  et  $h_2$  la relation (5) devient alors :

$$\bar{P}_j = \frac{P_j}{\sqrt{Cv^2+1}} \dots\dots\dots(6)$$

$P_j$  peut être estimé à partir d'une régression faite avec les pluies annuelles. Pour le cas de l'Algérie, 3 relations ont été citées IN Sarvary, 1985. Déduites graphiquement par Booy.K, 1981.

$$\bar{P}_j = 0.0525 \times P_{an} + 18.6 \quad (r = 0.97) \text{ relation} \dots\dots\dots (7).$$

$$\bar{P}_j = 0.088 \times P_{an} + 9.2 \quad (r = 0.92) \text{ relation} \dots\dots\dots (8).$$

$$\bar{P}_j = 0.233 \times P_{an} + 6.1 \quad (r = 0.86) \text{ relation} \dots\dots\dots (9).$$

D'où :  $P_{an}$  = les pluies annuelles moyennes.

D'après Sarvary, il est judicieux de préciser que la relation (8) s'applique uniquement sur la partie Ouest de l'Algérie (Macta, Tafna, Oran). Cependant tous les autres bassins appartiennent à la relation (7), sauf la partie centrale du Sahara. Donc, la relation (7) est certes la mieux appropriée à notre zone d'étude.

L'application de cette relation sur les stations étudiées nous donne les résultats présentés dans les tableaux suivants :

**Tableau N° 34 : Les stations étudiées :**

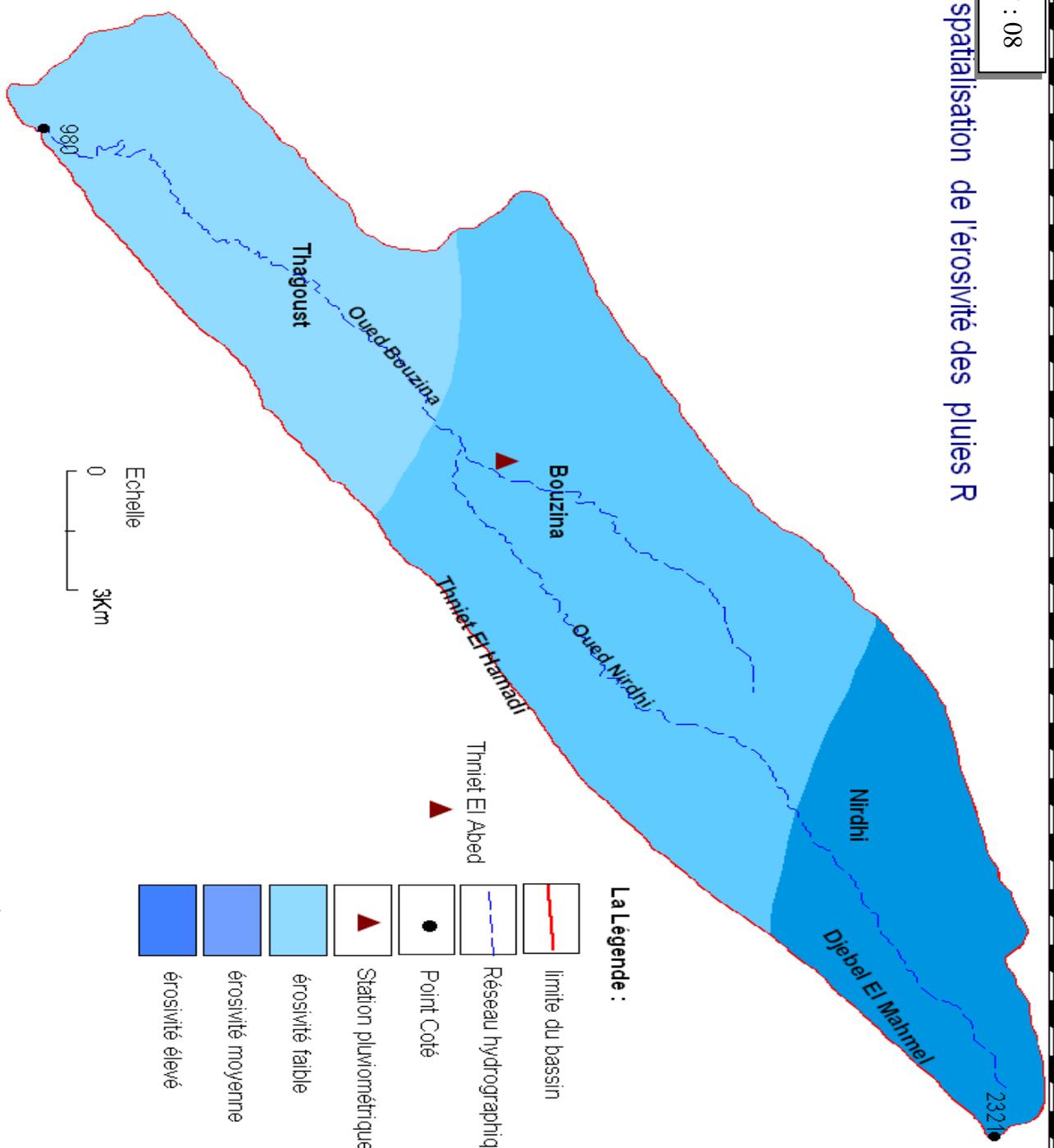
<b>Code</b>	<b>Station</b>	<b>Altitude (m)</b>
<b>061204</b>	S'gag	1660
<b>061302</b>	Bouzina	1350
<b>061303</b>	Theniet El Abed	1330
<b>061304</b>	Menâa	983

**Tableau N° 35:** Le calcul de l'érosivité des pluies :

<b>Station</b>	<b>H (cm)</b>	<b>h<sub>24</sub> (cm)</b>	<b>h<sub>1</sub> (cm)</b>	<b>C (cm)</b>	<b>R(t/ha)</b>
S'gag	47,82	5.2	3.7	920.05	<b>186.87</b>
Bouzina	26.17	3.7	3.1	300.16	<b>76.27</b>
Theniet El Abed	21.23	3.2	3.0	203.80	<b>55.95</b>
Menâa	15.04	2.7	2.1	85.27	<b>27.87</b>

L'érosivité moyenne des pluies du bassin versant est de 86.74 t/ha, la répartition de ce facteur sur l'ensemble du bassin était présentée dans une carte de spatialisation.

# La spatialisation de l'érosivité des pluies R



**La Légende :**

-  limite du bassin
-  Réseau hydrographique
-  Point Coté
-  Station pluviométrique
-  érosivité faible
-  érosivité moyenne
-  érosivité élevée



6.00 Menaâ

Echelle  
0 3km

6.25

35.30

35.20

### 2.3- Etude du facteur pente et longueur de pente "LS"

Le facteur S est traité à partir du MNT converti en carte des pentes. Il est estimé grâce à deux régressions simples appliquées en fonction de l'angle d'inclinaison de la pente ( $\theta$ ).

- $S = 10.8 \sin \theta + 0.03$  si la pente est inférieure à 9%. (10)

- $S = 16.8 \sin \theta - 0.50$  si la pente est supérieure ou égale à 9%. (11)

Théoriquement, les longueurs d'écoulement sont intégrées dans le modèle en rapportant la longueur  $\lambda$  (m), calculée entre le sommet du versant et le début de la zone concave (Renard et al. 1997), à la longueur de la parcelle expérimentale de RUSLE (22,1m). L'ensemble est élevé à l'exposant m sans dimension, intégrant l'inclinaison de la pente ( $\theta$ ) et la rugosité du sol ( $0,5 < \xi < 2$ ) aux calculs du facteur:

$$L = \frac{[\lambda]^m}{221} \text{ avec } m = \frac{\xi\beta}{(1+\beta)} \text{ et } \beta = \frac{(\sin(\theta/0.0896))}{3.0 (\sin(\theta))^{0.8} + 0.56} \quad (12)$$

Dans la spatialisation du modèle par l'application à des cellules de 50 m, seulement deux possibilités de longueur existent: 50 m pour les axes horizontaux et verticaux (nord, sud, est et ouest) et 70,7 m pour les diagonales des pixels (4 directions intermédiaires). Le facteur L évolue entre 1 et 2,1.

Rapporter les dimensions de la parcelle d'étude aux dimensions des parcelles qui ont servi à établir l'équation (22,13m et 9%).

$$L.S = (\lambda / 22,13)^m \cdot (65,41 \cdot \sin^2\theta + 4,56 \cdot \sin\theta + 0,065) \quad (13)$$

Où

- $\lambda$  est la longueur de pente [m]
- $m$  est l'exposant fonction de l'inclinaison de la pente
- $\theta$  est l'inclinaison de la pente [%]

#### Remarque:

La longueur de pente doit être comprise entre 9 et 90 m.

La pente doit être comprise entre 3 et 18%.

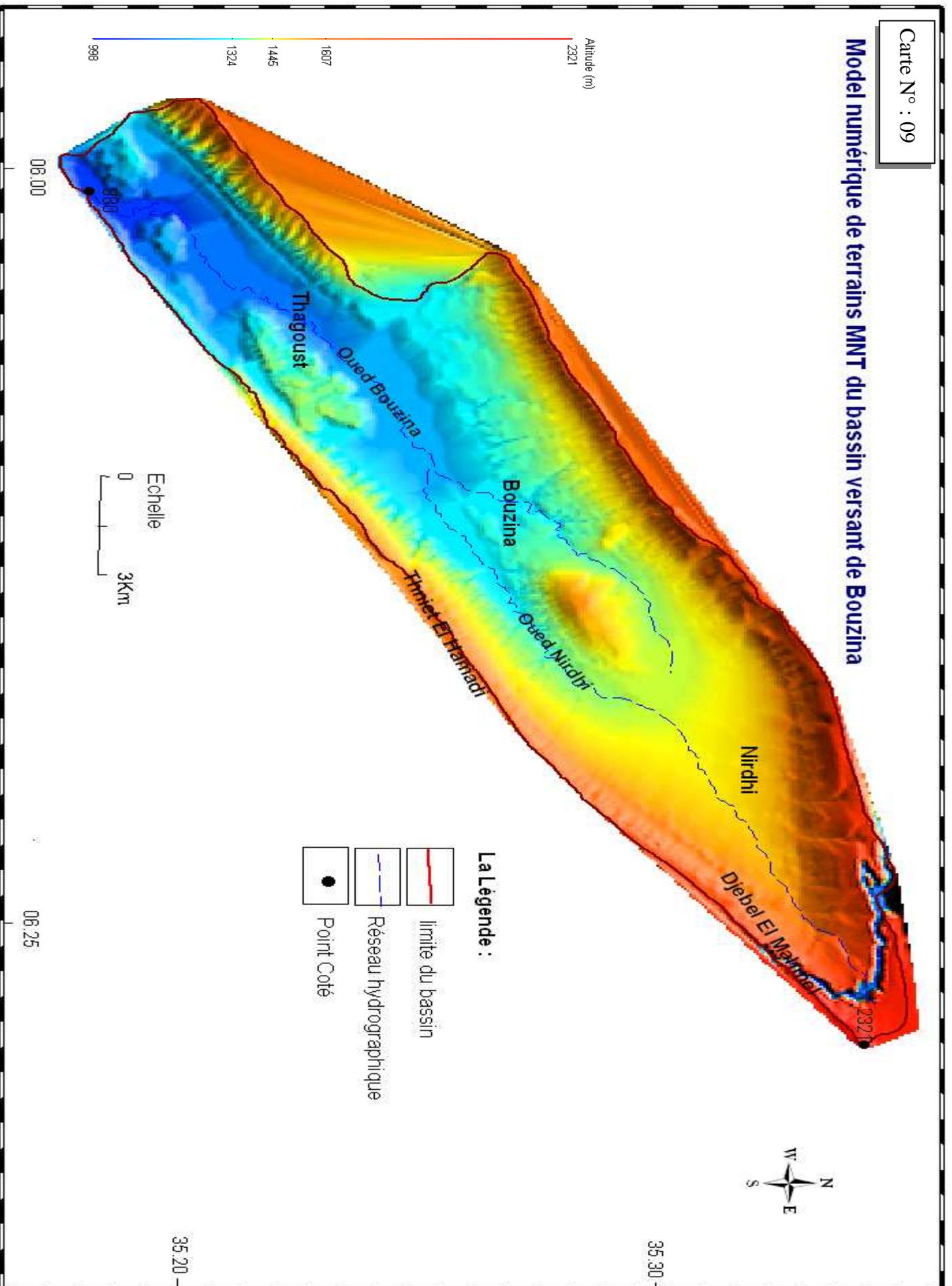
**(L): 80 m**

**( $\lambda$ ): 6%**

$$L.S = (80/22,13)^{0,5} \cdot (65,41 \cdot \sin^2 6 + 4,56 \cdot \sin 6 + 0,065) = 2,380$$

Carte N° : 09

### Model numérique de terrains MNT du bassin versant de Bouzina



Altitude (m)

2321

1807

1445

1324

998

Echelle  
0 3km

La Légende :

limite du bassin

Réseau hydrographique

Point Coté



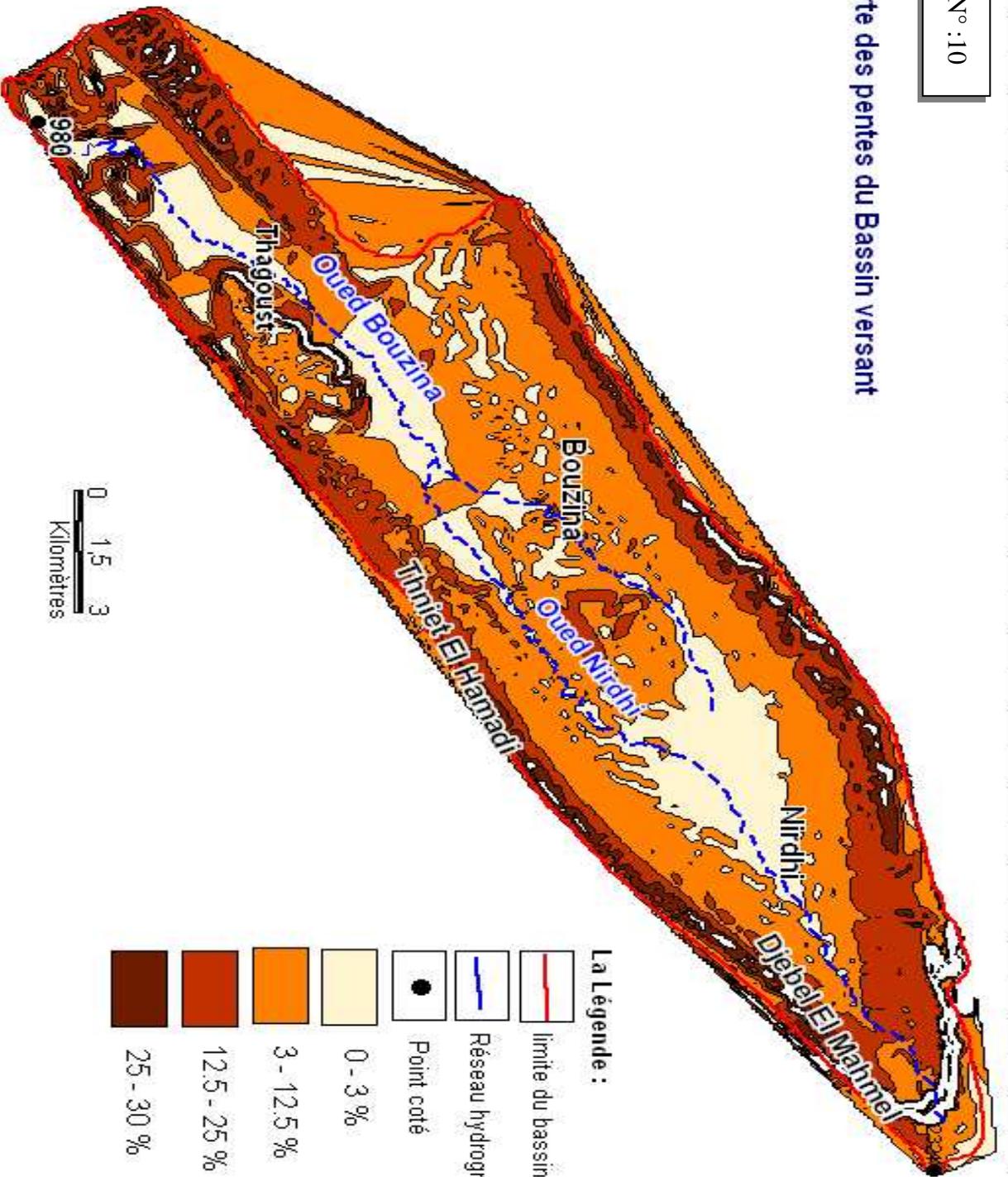
35.30

35.20

08.00

08.25

### Carte des pentes du Bassin versant



La Légende :

-  limite du bassin
-  Réseau hydrographique principal
-  Point coté
-  0 - 3 %
-  3 - 12.5 %
-  12.5 - 25 %
-  25 - 30 %

0 1,5 3  
Kilomètres

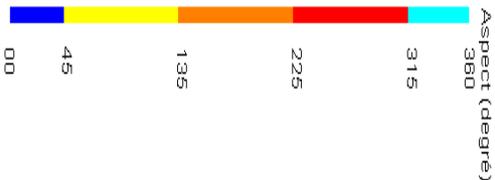
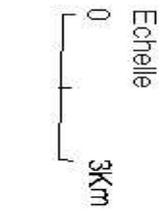
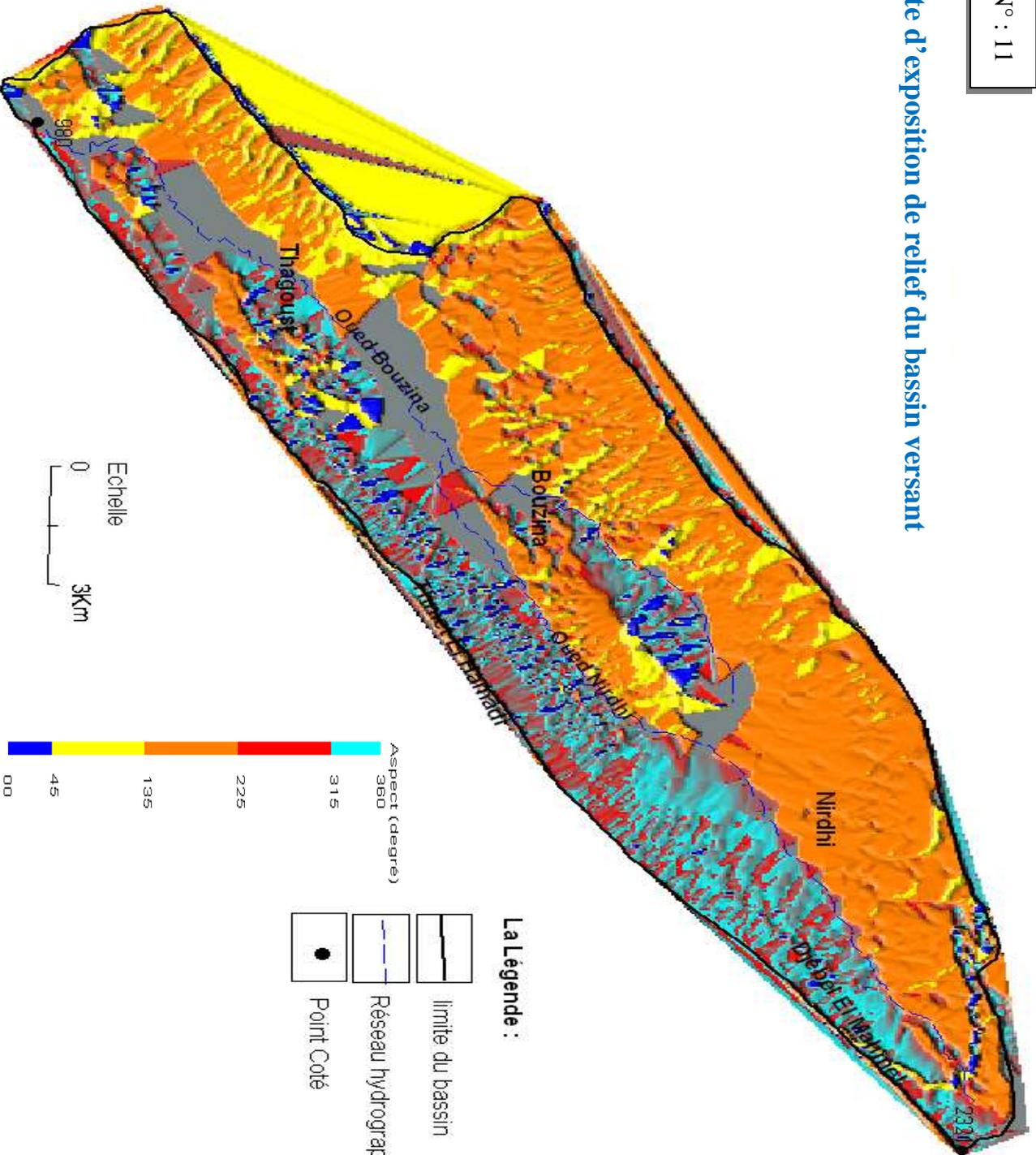
06.00

06.25

35.30

35.20

### Carte d'exposition de relief du bassin versant



- La Légende :
- limite du bassin
  - Réseau hydrographique
  - Point Coté



06.00

06.25

35.20

35.30

## 2.4- L'indice "C" :

Pour faire figurer ce facteur dans notre étude, une carte du couvert végétal a été créée.

Cette couche d'information ne comporte que deux éléments :

- Des zones de couvert végétal faible
- Des jardins d'arboriculture et pommiers
- Et les autres espaces sont des sols nus

Roose (in Roose 1977) estime que  $C = 1$  pour les sols nus. Afin de prendre en compte l'effet du couvert végétal dans les zones boisées, la valeur attribuée au facteur C pour ces espaces est donc de 0.5. Et pour la totalité du bassin versant les sols nus occupent une grande partie donc on estime la valeur de ce facteur :  $C = 0.8$

## 2.5- L'indice "P":

Sur la totalité du bassin versant on trouve quelques zones aménagées contre le phénomène d'érosion avec des murettes de pierres en sèches pour diminuer la vitesse de ruissellement, Ainsi d'autres pratiques pour le labour en courbes de niveau sur les terres accidentées.

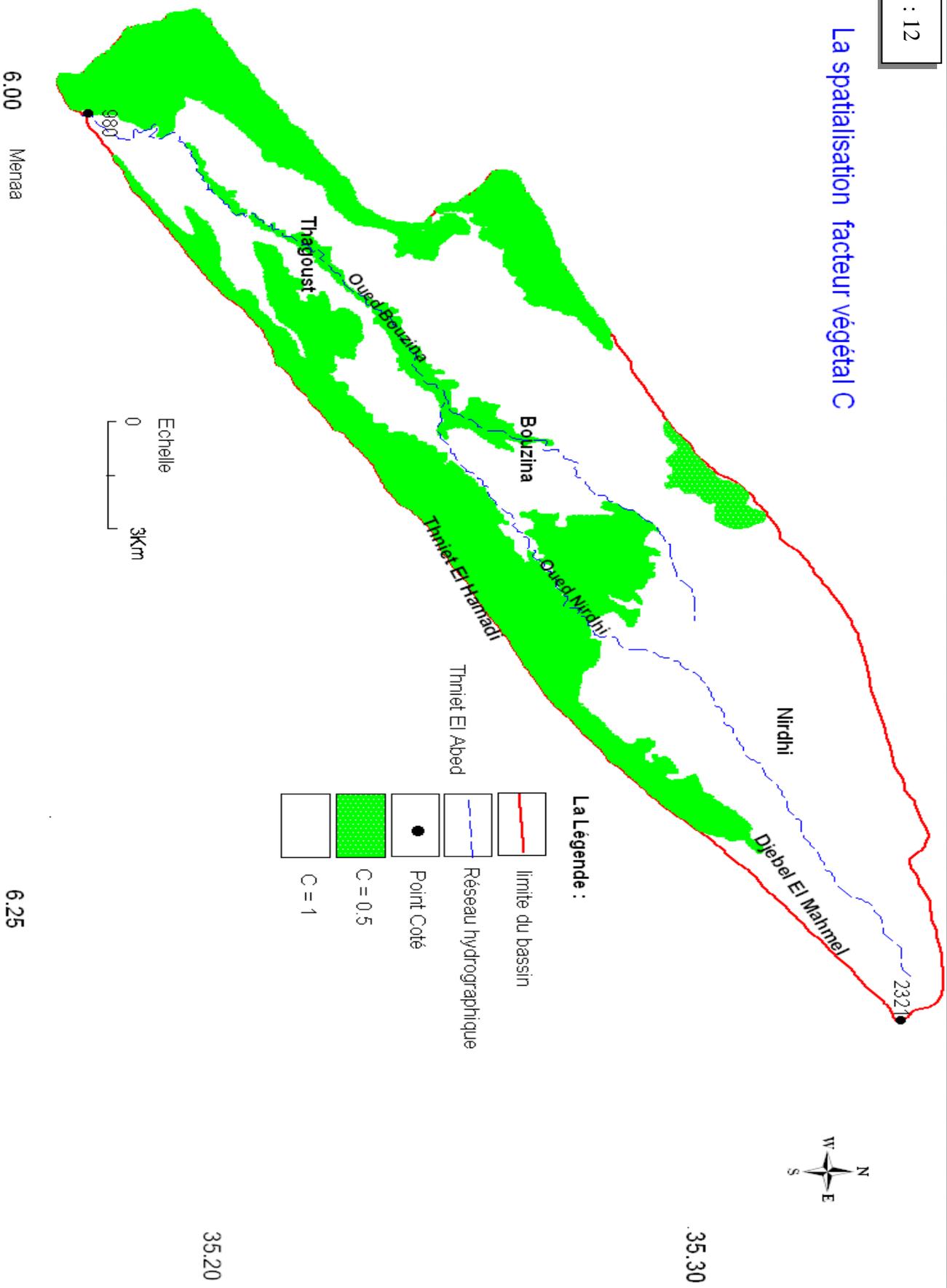
Le calcul montre que l'introduction de structures antiérosives n'est pas suffisante: il faut modifier les pratiques culturales. Dans le meilleur des cas, avec un système intensif, des cordons de pierres tous les 25 mètres et le labour en courbe de niveau, les risques d'érosion sont encore doubles de la tolérance. On prend  $P = 0.9$ .



**Photo N°09** : Quelques pratiques d'aménagement anti-érosifs



### La spatialisation facteur végétal C



**La Légende :**

- limite du bassin
- Réseau hydrographique
- Point Cote
- C = 0.5
- C = 1

Echelle

0 3km

6.00 Menaâ

6.25

35.20

35.30



### 3 – L'ÉVALUATION DE L'ALÉA D'ÉROSION :

L'application de l'équation connue USLE dont  $A = R * K * LS * C * P$  sur notre zone d'étude nous donne un taux annuel de perte en sol A égale à 98.02 t/ha/an, cette valeur a été spatialisée cartographiquement après une superposition des couches thématiques des différents paramètres intervenant dans le phénomène, cependant trois zones d'aléa :

- Zones d'Aléa élevée
- Zones d'Aléa moyenne
- Zones d'aléa faible

En se basant sur les caractéristiques tirées de l'étude de faisabilité du futur barrage on peut estimer la durée de pérennité du barrage ;

La formule de Wood Burn n°2

$$Sp = 2.492 * A^{0.9152} * St^{0.8308} * Tn^{0.7329} \quad (14)$$

Ou :

Sp : Quantité déposée en (t)

A : La superficie du bassin versant (ha)

St : Quantité d'érosion (t/ha)

Tn : Temps de vie du barrage (Année)

$$Sp = 2.492 * 17050^{0.9152} * 98.02^{0.8308} * 50^{0.7329}$$

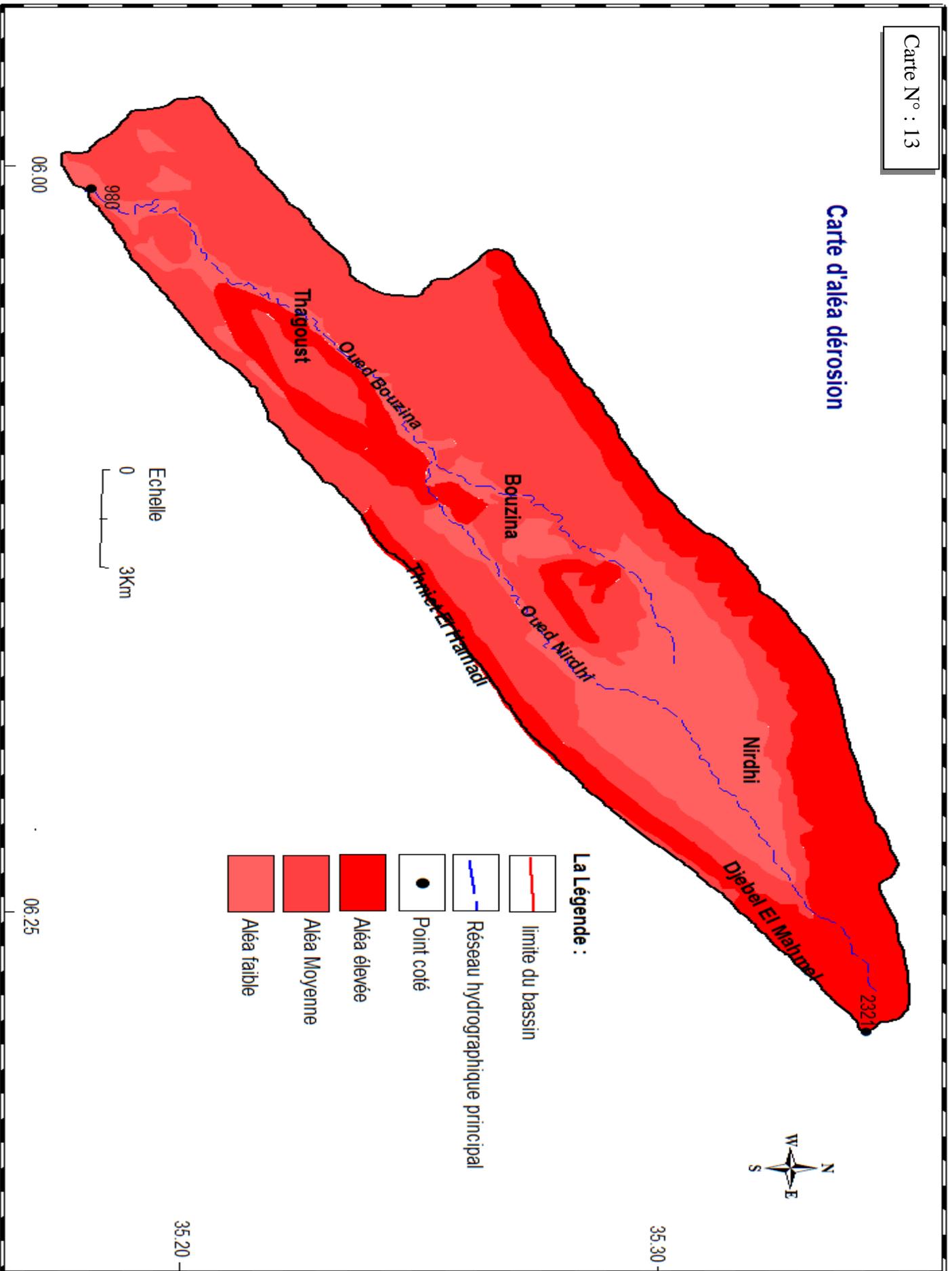
$$Sp = 14755913.94 \text{ t}$$

Le transport solide spécifique Ts

$$Ts = Sp/A \quad (15)$$

$$\text{Donc } Ts = 865.44 \text{ t/ha}$$

### Carte d'aléa dérosion



**La Légende :**

-  limite du bassin
-  Réseau hydrographique principal
-  Point coté
-  Aléa élevée
-  Aléa Moyenne
-  Aléa faible

Echelle



06.00

06.25

35.20

35.30

**Conclusion :**

L'évaluation de l'aléa de l'érosion hydrique des sols basée sur une méthode intégrant les facteurs d'érosion de l'équation des pertes de sols de Wischmeier dans un système d'information géographique SIG.

La méthodologie adoptée nous a permis d'avoir une spatialisation de cet Aléa à travers le bassin versant, résultant une carte d'aléa déterminant la différenciation dans l'intensité d'aléa.

# *Chapitre 03*

## *Vulnérabilité et cartographie du risque d'érosion*

La vulnérabilité d'une zone ou d'un point donné est l'appréciation de la sensibilité des cibles présentes dans la zone à un type d'effet donné. [INERIS - Glossaire grand public (2004)]. Pour connaître la vulnérabilité du bassin versant au phénomène d'érosion hydrique, il faut déterminer l'occupation du sol.

La réalisation de cette carte nous oblige d'utiliser la télédétection comme outil adéquat qui offre la possibilité de découvrir le terrain avec les images satellitaires. Dans notre cas nous avons utilisé les images du satellite LANDSAT.

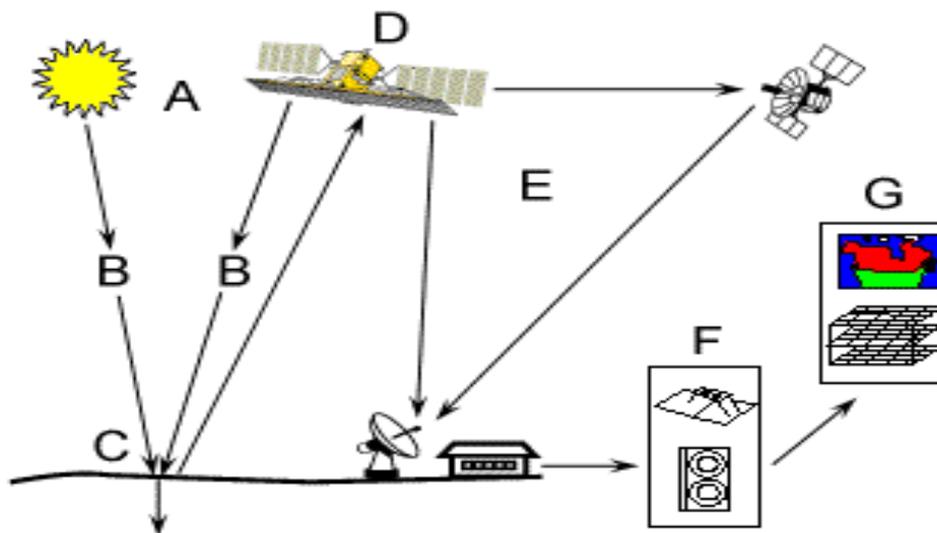
## 1- DEFINITION DE LA TELEDETECTION :

**Lilles et Kiefer (1994) :**

« Ensemble des techniques permettant d'obtenir de l'information sur un objet territoire ou un phénomène géographique à travers l'analyse des données acquises à distance sans contact direct avec cet objet, ce territoire ou ce phénomène géographique. »

**F. Bon 1992 :**

« Est la discipline scientifique regroupant l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour l'observation, l'analyse, l'interprétation et la gestion de l'environnement à partir des mesures et des images obtenues à l'aide des plates formes aéroportées, spatiales, terrestres ou marines sans contact direct. »



**Figure N°25: Le système télédétection**

## **2- PRESENTATION GENERALE DES SATELLITES (LANDSAT) :**

Le programme d'observation de surface terrestre « Landsat » est le plus ancien des Etats Unis, sept satellites Landsat ont été lancés depuis juillet 1972. Le dernier d'entre eux, Landsat 7, marque une nouvelle orientation dans le programme afin de réduire le coût des données et d'augmenter la couverture globale de la terre.

### **2.1- Caractéristiques orbitales :**

Les satellites Landsat évoluent à une altitude moyenne de 705 km, sur des orbites circulaires quasi polaire caractérisées par une inclinaison de  $98,2^\circ$  (ce qui permet l'héliosynchronisme). Un tour de la terre leur prend 98,9 min, si bien qu'ils décrivent 14,5 révolutions par jour. Un cycle orbital compte dure 16 jours.

Les caractéristiques orbitales ont des conséquences sur l'acquisition des images :

- La couverture est complète entre le parallèle  $81^\circ$  Nord et Sud.
- Le recouvrement des images s'accroît avec la latitude (7% à l'équateur, 54% pour  $60^\circ$  de latitude).

### **2.2- Systèmes embarqués :**

L'instrumentation embarquée a évolué au fil des satellites, depuis les cameras RBV (Return Beam Vidicon) et le radiomètre multi spectral MSS (Multi Spectral Scanner) de 1972 jusqu'au radiomètre ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) de 1999. La résolution spectrale est passée de 80m à 30m (ou 15m en mode panchromatique) et les domaines spectraux explorés concernent le visible, l'infrarouge proche et moyen ainsi que l'infrarouge thermique.

Le radiomètre ETM+ permet ainsi d'offrir des images couvrant un champ d'observation de 185 km x 185 km avec une résolution spectral de 30 m en mode multi spectral.

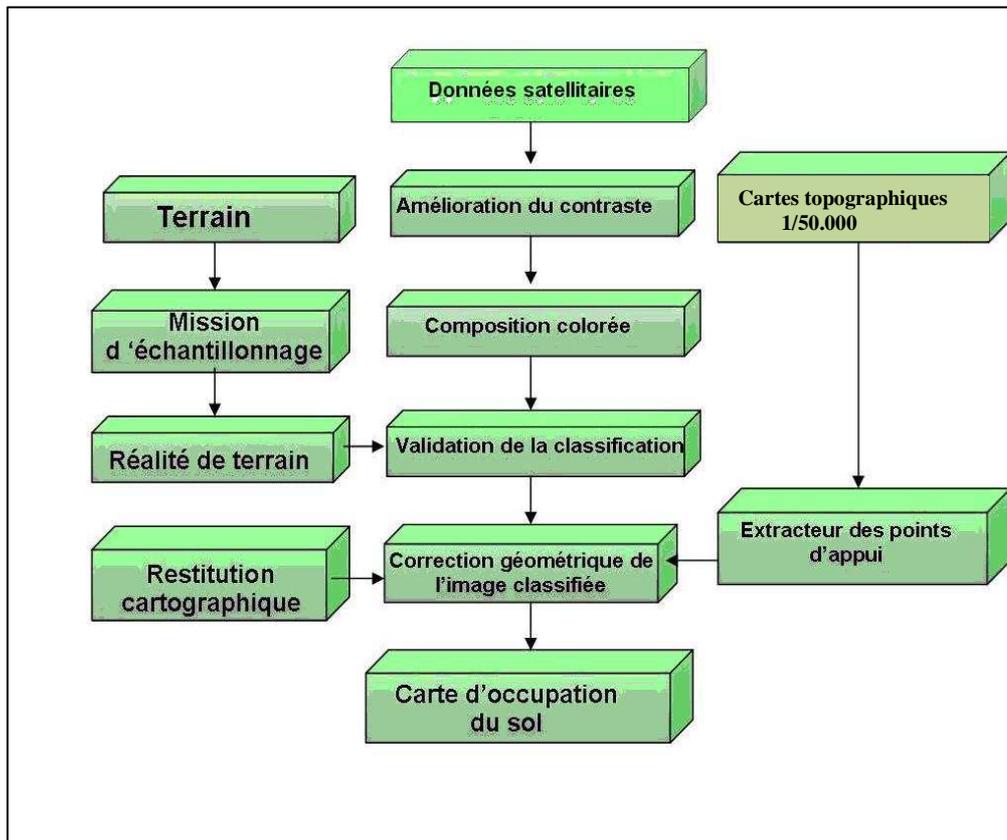
### 2.3 - Les satellites - LANDSAT-

**Tableau N°36 : caractéristiques des satellites LANDSAT**

Satellite	Date de lancement	Altitude moyenne	Cycle orbital	Fauchée	Capteurs canaux et résolution spatiale
Landsat 1	Juillet 1972	910 km	18 jours	185 km	Caméra RBV (3 canaux, 80m) Radiomètre MSS (4 canaux, 80 m)
Landsat 2	Janvier 1975	910 km	18 jours	185 km	Caméra RBV (3 canaux, 80m) Radiomètre MSS (4 canaux, 80 m)
Landsat 3	Mars 1978	910 km	18 jours	185 km	Caméra RBV (3 canaux, 80m) Radiomètre MSS (5 canaux, 80 m)
Landsat 4	Juillet 1982	705 km	16 jours	185 km	Radiomètre MSS (5canaux,80m) RadiomètreTM (7canaux, 30 m)
Landsat 5		705 km	16 jours	185 km	Radiomètre MSS (5canaux,80m) RadiomètreTM (7canaux, 30 m)
Landsat 6	Octobre 1993	Détruit après lancement			
Landsat 7	Avril 1999	705 km	16 jours	185 km	Radiomètre ETM+ (7 canaux, 30 m, plus canal panchro, 15 m)

### 3- METHODOLOGIE ADOPTEE :

La méthodologie générale de travail est exprimée par l'organigramme ci-dessous dont découlent les différentes phases d'analyse.



**Figure N°26 :** Organigramme des différentes étapes de la réalisation d'une carte D'occupation du sol.

### 3.1- Les différentes phases d'analyse d'image –LANDSAT- :

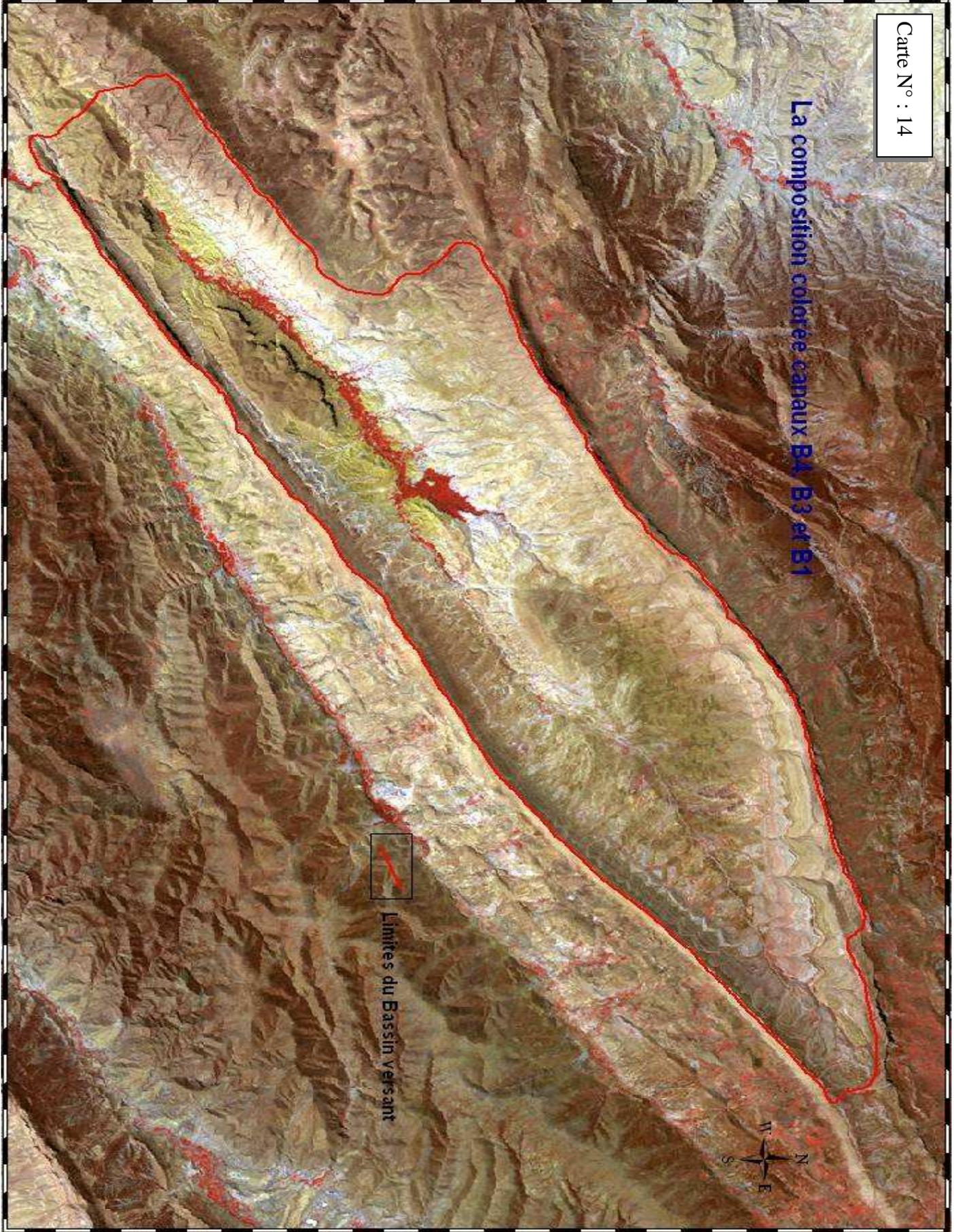
Le traitement d'image commence par l'extraction du secteur d'intérêt et la correction géométrique de l'image Landsat dans le système de référence UTM/WGS 84, fuseau 32. Les techniques d'amélioration de contraste permettent ensuite d'augmenter la qualité visuelle de l'image.

#### c- La composition colorée :

La composition colorée a été obtenue à partir d'une superposition de trois canaux (B4B3, B1) de la scène.

Elle a été utilisée comme une image de départ afin de guider les traitements d'images, l'échantillonnage au sol et l'extraction des points d'appui pour une éventuelle correction géométrique.

La composition colorée canaux B4, B3 et B1



Limites du Bassin versant



#### **d- Correction géométrique :**

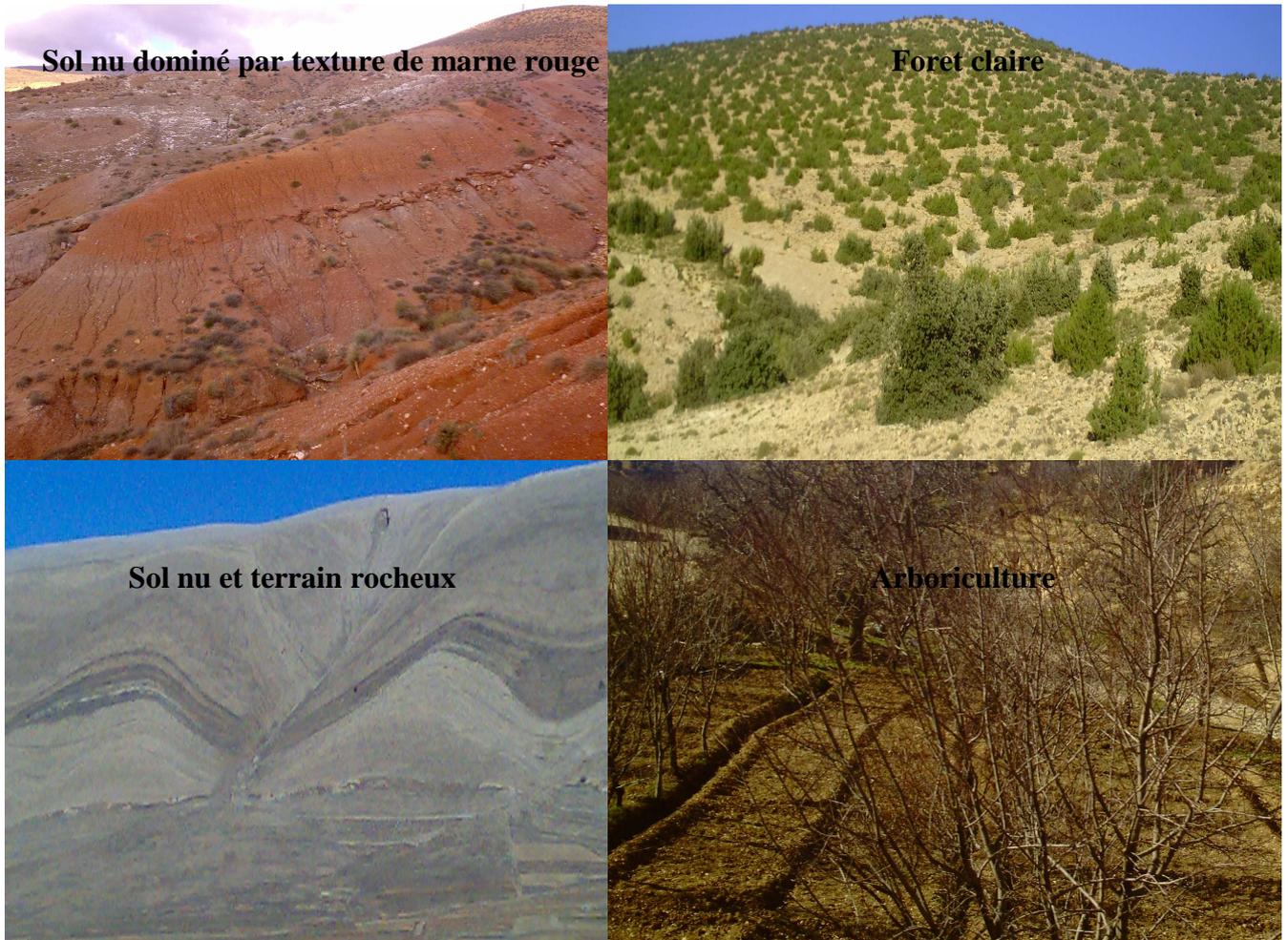
Les corrections géométriques permettent de compenser en totalité ou une partie ces déformations de distorsion. Pour rendre le résultat superposable à un système de représentation cartographique, il est nécessaire d'appliquer une correction géométrique. Dans cette étude, la rectification est effectuée par l'acquisition des points amers figurant à la fois sur la composition colorée et sur les cartes topographiques (projection UTM fuseau 31).

#### **C- Classification de l'image :**

Les méthodes de classement ont pour objectif commun la découverte d'un estimateur assurant l'affectation d'une classe parmi  $c$  classes disponibles à un individu inconnu sur la base de la connaissance d'un ensemble de  $m$  caractères le décrivant (appelés attributs descripteurs) (BROSTAUX, 2005). La classification appliquée est de type dirigé, c'est-à-dire basée sur la connaissance de la zone d'entraînement, ou parcelles-test, à travers des données de terrain. La signature d'une classe d'objets n'étant pas unique, dans la réalité, mais composée d'un certain nombre de signatures plus ou moins fréquentes, il peut être opportun de traiter celles-ci à partir de lois probabilistes : cette approche permet d'effectuer alors une segmentation du spectre suivant des règles de décision où les risques d'erreur sont minimisés par calcul de probabilités. La méthode de maximum de vraisemblance (règle de BAYES) est ici utilisée pour classer notre image LANDSAT daté en 2001 en fonction de la nature de l'occupation du sol. Cette méthode est considérée comme une technique puissante de classification. La règle de décision de cette méthode est basée sur la probabilité qu'un pixel d'appartenir à une classe particulière.

#### **3.2- Missions d'échantillonnages et réalité de terrain :**

Pour la réalisation et la conception de la carte d'occupation du sol du bassin versant, nous nous sommes appuyés sur les données de contact de terrain qui ont été récoltées lors des missions d'échantillonnages. Ces missions ont été effectuées pour le repérage et la connaissance d'un certain nombre de parcelles représentatives des différents types d'occupation du sol que l'on rencontre sur la zone d'étude en relation avec leur signature spectrale.



**Photo N°10** : Les différentes parcelles représentatives de l'occupation du sol.

Cependant, les relevés des parcelles d'entraînement de la classification supervisée in situ ont pu être menés. Ils ont porté sur plusieurs parcelles suffisamment homogènes, avec reconnaissance de la nature de l'occupation des sols. L'usage d'un GPS (Global Positionnement System) a facilité la collecte des coordonnées des centres des parcelles.

La matrice de confusion permet d'obtenir les précisions du traitement afin de valider le choix des parcelles d'entraînement. Après plusieurs essais, la meilleure classification (reflétant le mieux la réalité du terrain) est conservée et sa validation est obtenue par le calcul des précisions cartographiques, des précisions d'inventaire, de la précision globale et des erreurs d'omission et de commission.

Cette opération est réalisée à l'aide du logiciel de traitement d'images (EN.V.I : *Environment for visualising image*)

### 3.3- Validation de la classification :

Il est possible d'évaluer les performances de cette classification en évaluant le pourcentage et le nombre de pixels correctement classés à l'intérieur de chaque polygone test.

La matrice de confusion illustre cette performance (Tableau 37).

**Tableau .N°37 :** Matrice de confusion de la classification de l'image LANDSAT 2001 (bassin versant de Bouzina)

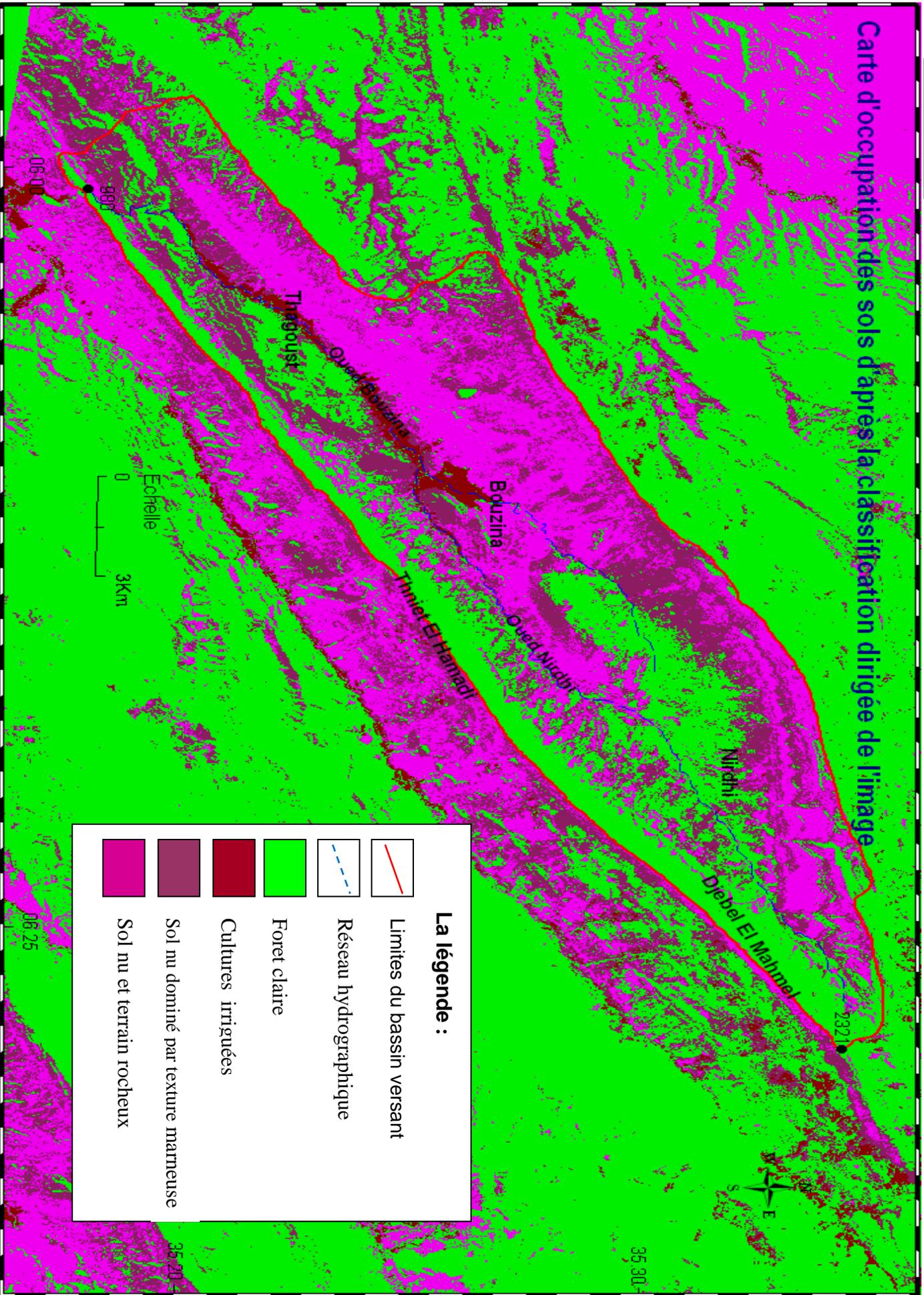
Classes	Culture irriguée	Terrains rocheuse nu	Maquis claire	Terrains marneuse nu	Total
Nom classé	0	0	0	0	0
Culture irriguée	281	0	0	0	281
Terrains rocheuse nu	0	623	30	9	662
Maquis claire	0	141	55	3	199
Terrains marneuse nu	0	7	0	192	199
<b>Total</b>	<b>281</b>	<b>771</b>	<b>85</b>	<b>204</b>	<b>1341</b>
<b>Indice kappa = 0.77</b>					
<b>Précision générale de la classification = 85.83 %</b>					

**Tableau N° 38:** L'occupation et l'utilisation des sols

Unité d'occupation et d'utilisation du sol	Superficies en (%)	Superficies en Ha
Forêt Claire	14,83	252851,5
Cultures irriguées	20,95	357197,5
Sol nu dominée par texture marneuse	14,83	252851,5
Sol nu et terrain rocheux	49.36	841588
<b>Total</b>	<b>100.00</b>	<b>1705000</b>

Les résultats obtenus par la classification supervisée du maximum vraisemblance ont servi à dresser la carte d'occupation et d'utilisation du sol géoréférencée après l'étape de correction géométrique.

# Carte d'occupation des sols d'après la classification dirigée de l'image



#### 4/ LA CARTE DE VULNERABILITE AU RISQUE D'EROSION :

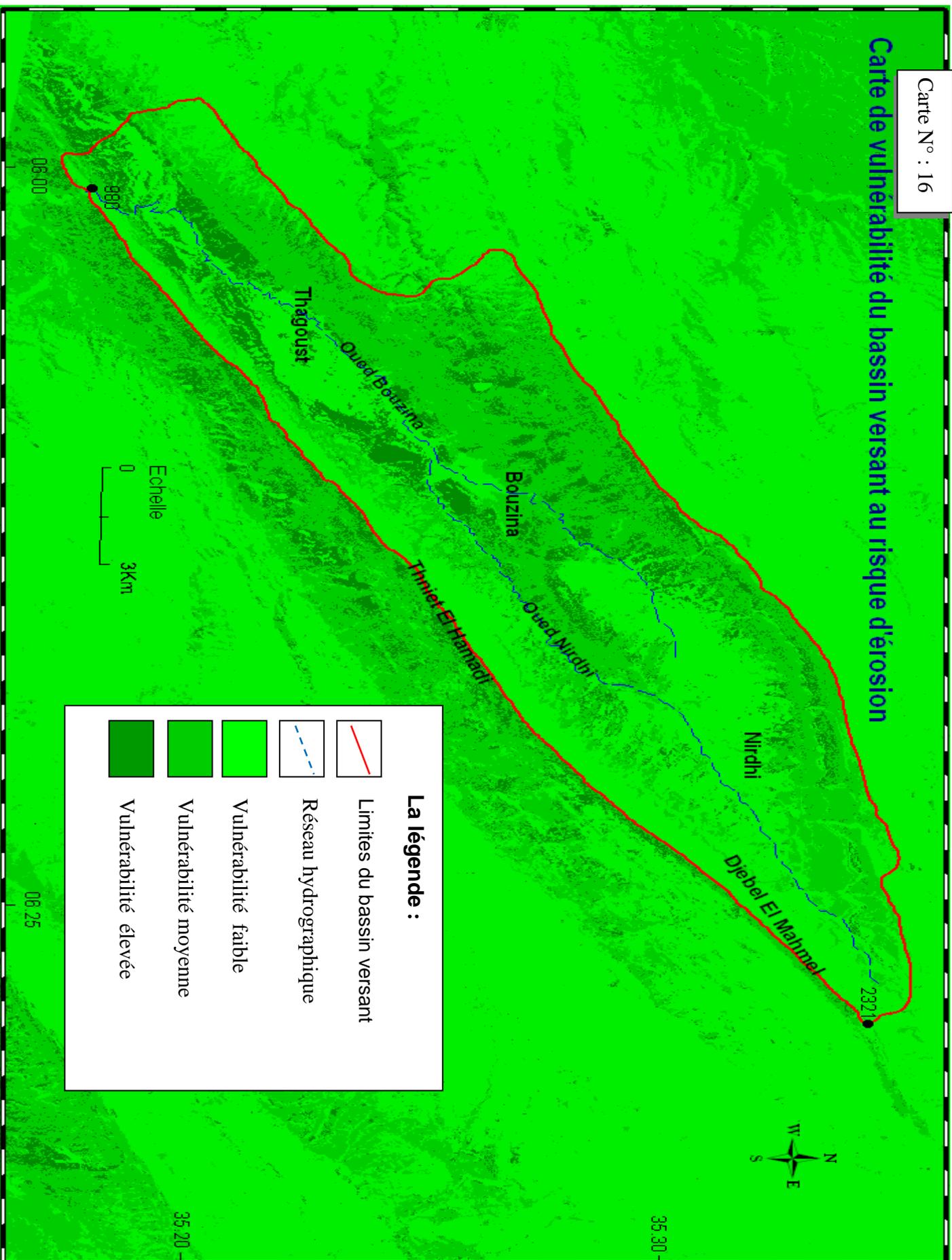
La réalisation de cette carte prend en compte l'occupation des sols et leurs vulnérabilités au phénomène d'érosion hydrique, Cependant les sols nus sont plus vulnérable à l'érosion que d'autres sols par un couvert végétal.

Le tableau suivant récapitule le niveau de vulnérabilité des unités d'occupation des sols :

**Tableau N° 39:** La vulnérabilité des sols à l'érosion

<b>Unité d'occupation et d'utilisation du sol</b>	<b>Superficies en Ha</b>	<b>La vulnérabilité au risque d'érosion</b>
<b>Forêt Claire</b>	252851,5	Faible
<b>Cultures irriguées</b>	357197,5	Faible
<b>Sol nu dominée par texture marneuse</b>	252851,5	Elevée
<b>Sol nu et terrain rocheux</b>	841588	Moyenne
<b>Total</b>	<b>1705000</b>	

# Carte de vulnérabilité du bassin versant au risque d'érosion



## La légende :

- Limites du bassin versant
- - - Réseau hydrographique
- Vulnérabilité faible
- Vulnérabilité moyenne
- Vulnérabilité élevée

Echelle

0 3km

## 5 - LA CARTOGRAPHIE DU RISQUE D'ÉROSION :

L'évaluation du risque d'érosion hydrique des sols nécessite une combinaison entre l'aléa du phénomène et la vulnérabilité des terrains à ce phénomène, la superposition des deux cartes (carte d'aléa et carte de vulnérabilité) nous donne une carte de spatialisation du risque.

La carte ainsi obtenue servira de base pour l'élaboration du Plan d'Aménagement de Protection de notre zone d'étude, mentionnant les zones à risques et leurs amplitudes auxquelles sont proposées des actions d'aménagement.

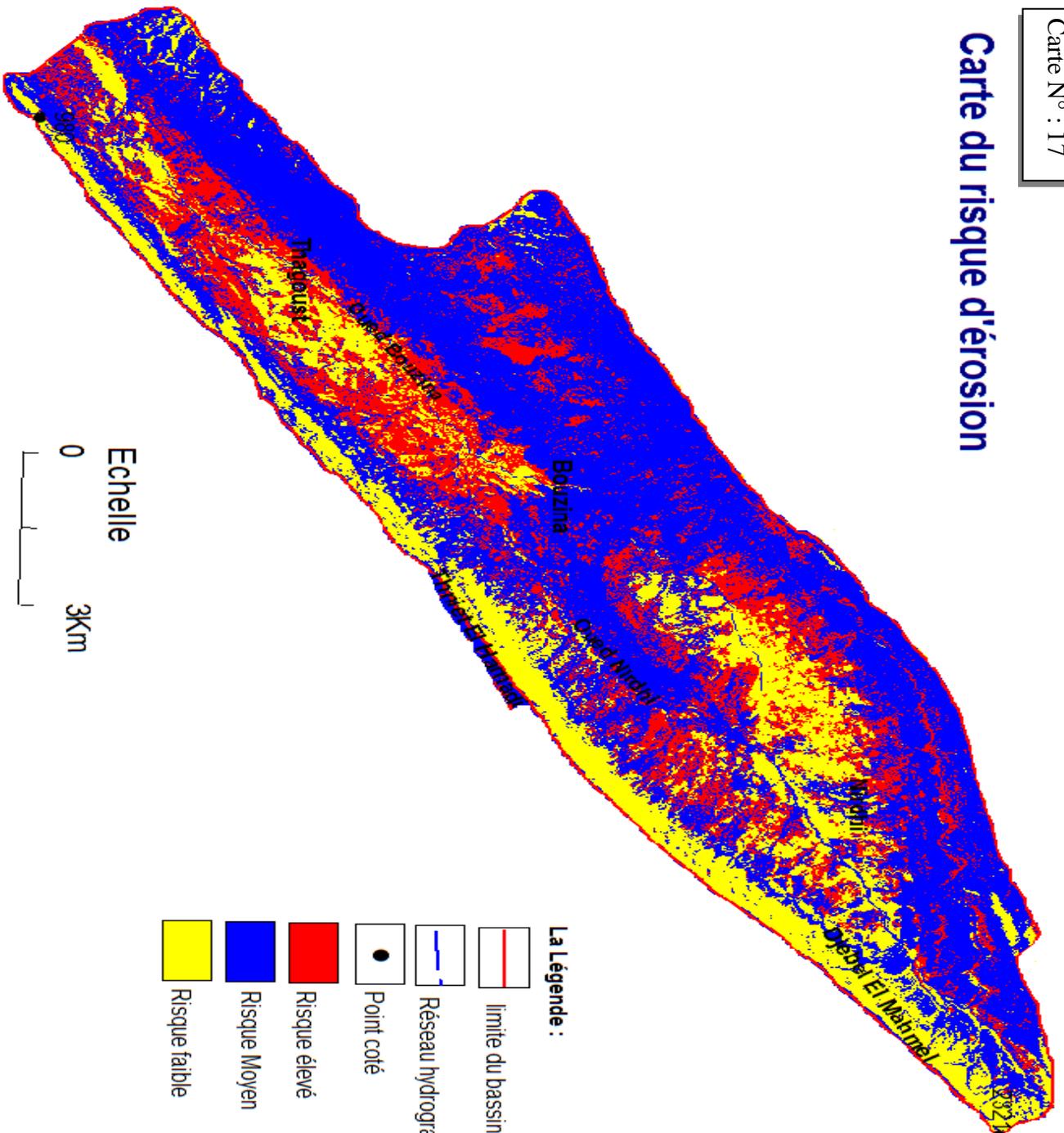
La méthode adoptée pour la spatialisation du risque consiste à combiner entre la carte d'aléa et celle de la vulnérabilité

La carte de spatialisation classe le risque en degrés de danger. Ce degré est représenté par un code de couleur : jaune pour un risque faible, bleu pour un risque moyen et rouge pour un risque élevé. Le risque est évalué par l'intensité du phénomène étudié et intègre la notion de vulnérabilité des sols.

**Tableau N°40** : Diagramme du degré de risque.

<b>Vulnérabilité</b> <b>Aléa</b>	<b>Elevée</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Faible</b>
<b>Elevée</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>7</b>
<b>Moyenne</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>4</b>
<b>Faible</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>

# Carte du risque d'érosion



**La Légende :**

-  limite du bassin
-  Réseau hydrographique principal
-  Point coté
-  Risque élevé
-  Risque Moyen
-  Risque faible

**Echelle**



06.00

06.25

35.20

35.30

**Conclusion :**

L'érosion hydrique des sols constitue un symptôme inévitable de la dégradation de l'environnement et une menace de celui-ci.

Ce phénomène par son danger qu'il présente nous oblige à l'étudier et à l'évaluer, et l'utilisation de la géomatique comme outil d'analyse et d'étude du risque par le biais de la combinaison entre l'aléa et la vulnérabilité des terrains à ce phénomène nous présentent clairement les zones à risque élevé nécessitant des interventions et des aménagements anti-érosifs.



*Partie 03*  
*résultats et*  
*recommandations*

# *Chapitre 01*

## *Validation des résultats*

Après la spatialisation du risque d'érosion des sols sur la totalité du bassin versant de Bouzina en utilisant la géomatique (SIG, télédétection...), Nous allons essayer, dans ce chapitre, de valider nos résultats et de confirmer ainsi l'apport et l'efficacité de ses outils dans l'évaluation de tel phénomène.

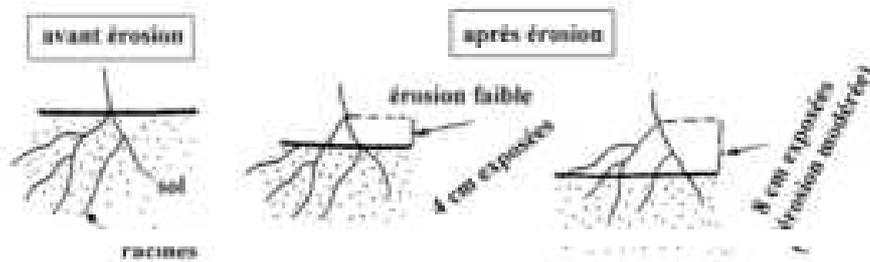
## **1- Paramètres de terrain :**

En se basant sur un échantillonnage stratifié, plusieurs sites, observés sur le terrain d'étude, ont permis la validation des résultats. En effet, le repérage des sites-test sur terrain, a été effectué à l'aide de la carte du risque établie, des cartes topographiques et d'un système de positionnement par satellite (GPS).

Les sites-tests ont été décrits par 14 variables qui sont :

- 1) la pente,
- 2) la lithologie,
- 3) la matière organique du sol,
- 4) la compaction du sol,
- 5) l'épaisseur du sol,
- 6) le type de végétation,
- 7) la densité de végétation,
- 8) l'utilisation des sols,
- 9) l'exposition des racines à l'air,
- 10) les pédicules d'érosion,
- 11) les glissements de sols,
- 12) les mouvements de sols,
- 13) les ravines
- 14) les buttes de sol résiduel.

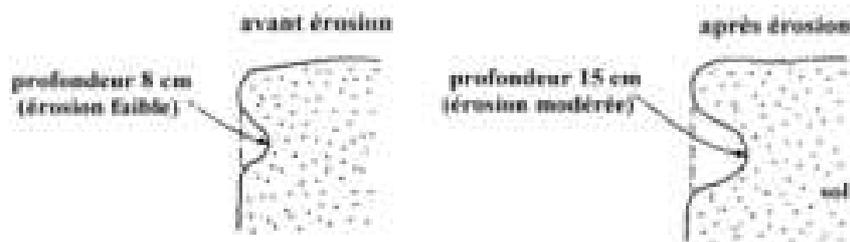
• Exposition des racines



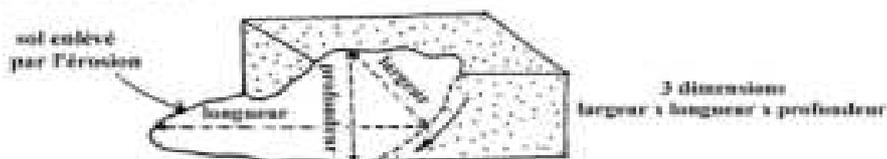
• Buttes de sol résiduel



• Glissement de sol



• Mouvement du sol



• Ravine

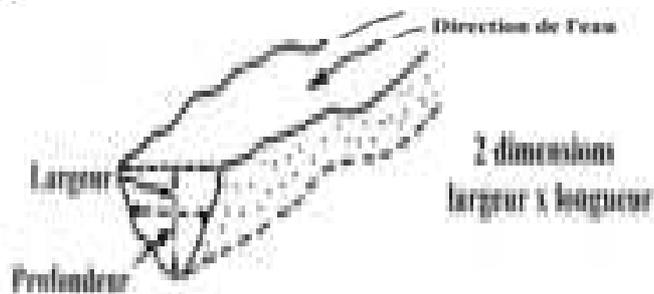


Figure N°27 : Les variables de terrain permettant d'apprécier l'érosion hydrique des sols.

À partir de ces variables, trois classes du risque d'érosion ont été définies ainsi :

La **classe d'érosion forte** est caractérisée par des racines d'arbres et d'arbustes exposées à l'air sur plus de 20 cm, des pédicules d'érosion de plus de 20 cm, des buttes de sol résiduel de plus de 20 cm, des glissements de sols de plus de 25 cm de profondeur, des mouvements des sols d'un volume de plus de 1 m<sup>3</sup> et des ravines d'une surface de plus de 0,16 m<sup>2</sup>.

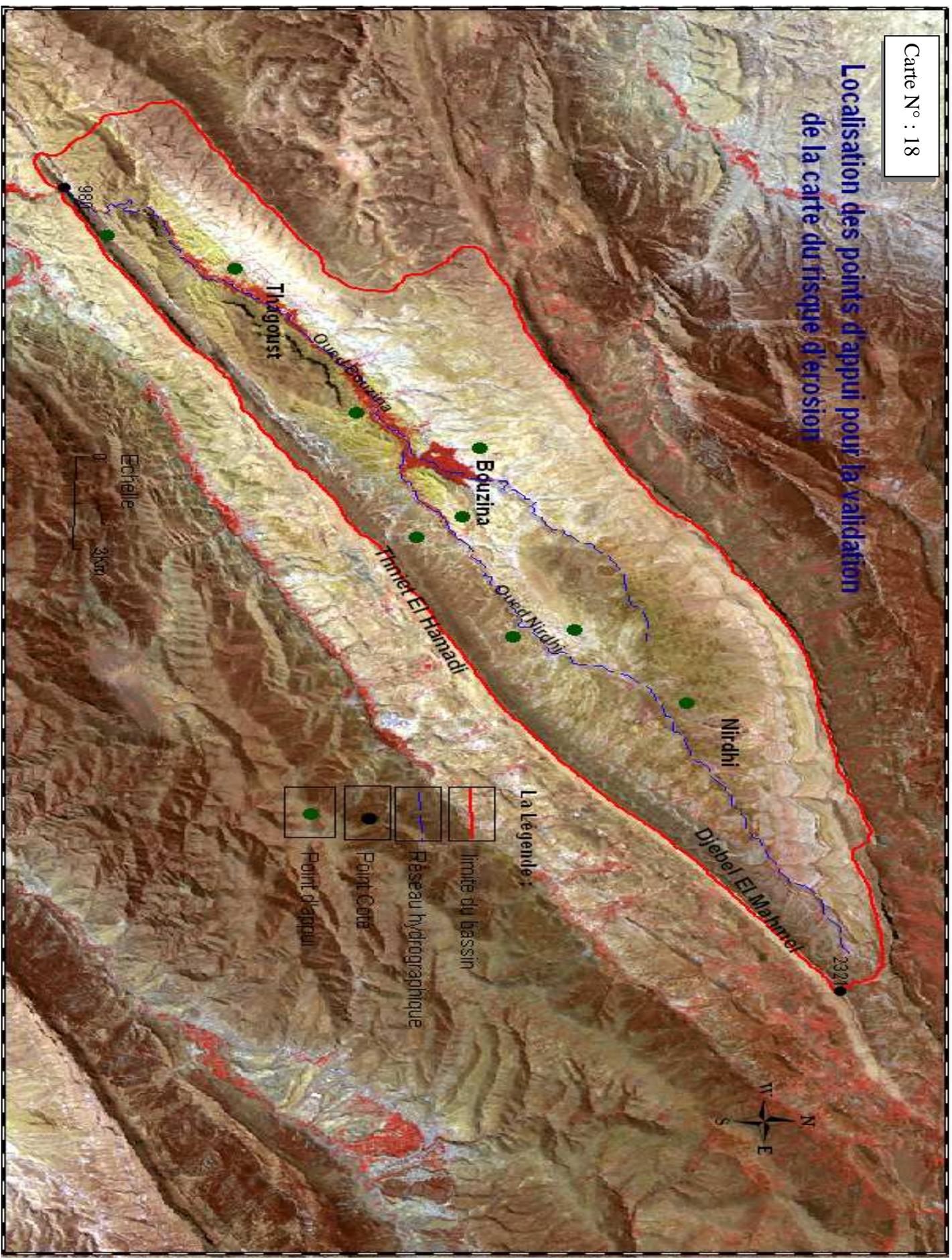
La **classe d'érosion modérée** est caractérisée par des racines d'arbres et d'arbustes exposées à l'air sur 5 à 20 cm, des pédicules d'érosion de 10 à 20 cm, des buttes de sol résiduel de 15 à 20 cm, des glissements de sols de 10 à 25 cm de profondeur, des mouvements des sols d'un volume de 0,125 à 1 m<sup>3</sup> et des ravines d'une surface de 0,01 à 0,16 m<sup>2</sup>.

La **classe d'érosion faible** est caractérisée par des racines d'arbres et d'arbustes exposées à l'air sur moins de 5 cm, des pédicules d'érosion de moins de 10 cm, des buttes de sol résiduel de moins de 15 cm, des glissements de sols de moins de 10 cm de profondeur, des mouvements des sols d'un volume de moins de 0,125 m<sup>3</sup> et des ravines d'une surface de moins de 0,01 m<sup>2</sup>.

## **2- Le choix des stations d'observation:**

La gravité de l'érosion hydrique peut être évaluée sur terrain ; et pour cela plusieurs sites ont été visités pour valider les résultats obtenus en utilisant un GPS et un appareil photos. Ses stations sont près de la voirie pour des conditions de sécurité, leur localisation est présentée sur la carte suivante :

# Localisation des points d'appui pour la validation de la carte du risque d'érosion



La légende :

- limite du bassin
- Réseau hydrographique
- Point Centre
- Point d'appui

Echelle



### 3- Résultats et observations enregistrés :

#### 3.1- Les zones à risque élevé :

Dans ces zones le phénomène d'érosion a atteint des degrés élevés et représentent des espaces qui nécessitent des interventions et des solutions d'aménagements antiérosifs avant la réalisation du projet du barrage, les images suivantes indiquent l'ampleur du phénomène :





**Le glissement de terrains**

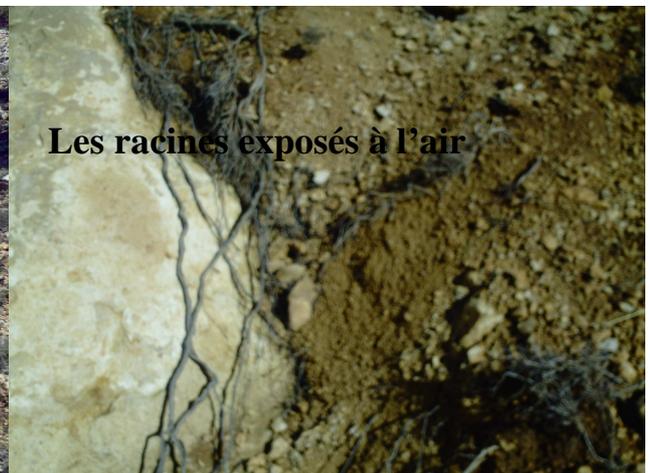
**Photo N°11:** L'ampleur de l'érosion en zone à risque élevé

### **3.2- Les zones à risque modéré :**

Dans ces zones le risque d'érosion commence à prendre des formes d'aggravation par le déracinement des plantes et ainsi l'ampleur de la surface et la profondeur des ravines :



**Erosion par ravinement**



**Les racines exposés à l'air**

**Photo N° 12:**L'ampleur de l'érosion en zone à risque moyen

### **3.3- Les zones à risque faible :**

Malgré que ces zones ont connu quelques aménagements antiérosifs mais le phénomène d'érosion nécessite toujours plus de pratiques et de techniques pour continuer à préserver les sols contre le ruissellement

**Photo N° 13:** Les zones à risque faible avec des aménagements



**Gabionnage contre le ravinement**



**Le labour contre la pente**

## **Conclusion**

De cette analyse de terrain, nous pouvons confirmer les résultats déjà cartographie et donc l'apport considérable des techniques géomatiques, en l'occurrence la télédétection et les SIG. Cet apport se voit dans le temps et le coût réduit pour arriver à de telle spatialisation du risque d'érosion des sols.



*Chapitre 02*  
*propositions*  
*d'aménagement*

De nombreux facteurs, tant physiques qu'humains, font du sous bassin de Bouzina une zone particulièrement érodée à cause de la nature de ces terrains certes, mais aussi de l'action anthropique, de l'effet du relief et du climat. En effet, la régression du couvert végétal au profit de la céréaliculture en pente qui a touché une grande partie de la région, est l'une des activités la plus néfaste. Cette transformation de l'occupation du sol rend les versants très vulnérables à l'action érosive de la pluie et du ruissellement entraînant des ravinements et des glissements du terrain très fréquents.

Tous ses phénomènes font de l'érosion hydrique un problème majeur pour l'environnement qui nécessite des interventions sous formes d'aménagements anti érosifs pour la préservation du sol qui restera un capital irremplaçable ainsi la protection du projet du futur barrage de l'envasement.

Ses interventions peuvent prendre la forme de:

- protection mécanique
- protection biologique

## **1- LA PROTECTION MECANIQUE :**

La protection de sol par les procédés mécanique est une technique qui vise à diminuer la vitesse d'écoulement et stopper en même temps le phénomène d'érosion qui déduit les terres agricoles. Elle augmente aussi l'infiltration des eaux de ruissellement, étale l'écoulement au lieu de la concentrer et favorise la capture des sédiments.

Cette protection consiste la construction d'un certain nombre d'ouvrages en montagne, le long des oueds et sur les versants ainsi que dans la plaine, les ouvrages à proposer sont :

- Ouvrages de stabilisation des ravines
- Les murettes en pierres sèches
- Les rideaux
- Les banquettes

### **1.1- Stabilisation des ravines:**

Deux types de ravines sont reconnaissables : les ravines en V dues au ruissellement, les ravines en U dues au sapement de berges. Pour l'aménagement hydraulique des ravines, différents types d'ouvrages sont à distinguer :

- Le seuil en gabion : ce type d'ouvrage n'est pas nouveau dans la région, il a fait l'objet d'un traitement des ravines du sous-bassin versant du fait de sa robustesse, il est placé en tête de ravine.

- Le seuil en pierres sèches : ouvrage simple, sa construction consiste à utiliser des matériaux non poreux, non friables, de préférence des roches éruptives, sédimentaires.
- Le seuil en sac plastique : le principe est la superposition de sacs en plastique remplis de sable filtrant ou de terre avec une teneur nulle ou faible en argile.
- Le seuil en traverses de bois, en grillage métallique et les digues en terres.

Ces différents ouvrages doivent s'adapter aux différents types de ravines.

La correction des ravines profondes passe d'abord par la stabilisation mécanique du fond et des berges avant de réimplanter la végétation, sauf en milieu marneux trop souple, trop mobile pour supporter des barrages rigides. On fait alors appel à une correction biologique qui fait intervenir à la fois des lignes d'arbres très serrées et des graminées à croissance rapide supportant d'être couvertes par des séries de sédiments.

Ces seuils doivent être efficaces, moins coûteux et réalisables avec les populations locales car la prise en compte des expériences des populations locales en matière d'aménagement antiérosives du milieu constitue à la fois un gage de réussite et une manière de rendre hommage au savoir-faire paysan souvent ignoré par les aménagements modernes importants et coûteux mais éphémères.

Dans une seconde étape, il faut réfléchir à la stabilisation des sédiments retenus par une fixation biologique. Les espèces à fort enracinement et à fort pouvoir recouvrant sont envisagées ; leur rôle est d'améliorer l'infiltration de l'eau dans le sol et de dissiper l'énergie du ruissellement et sa capacité de transport. Du fait également du comblement des seuils, les atterrissements sont constitués de terre meuble et fertile. Ils accumulent tout au long de l'année des quantités d'eau relativement importantes. Les plantations d'espèces à développement racinaire dense et profond peuvent contribuer à les stabiliser. Elles doivent être aussi économiquement valorisantes, afin de retenir l'intérêt des paysans qui auront par la suite la charge de les entretenir.

## **1.2 - Les murettes :**

Se sont des ouvrages adoptés aux fortes pentes (12.5 à 25%) en pierres sèches selon les courbes de niveau ; d'une hauteur de 50cm et 60cm pour la largeur avec une présentation en contre pente de 10% environ. Cette méthode concerne les zones à forte érosion.

Leur densité suit la loi de Saccardy:

$$N = L (P - I) / H.$$

N : nombre de murettes.

L : Largeur du versant (m).

P : pente du terrain (%).

I : pente de compensation (1à2%).

H : hauteur des murettes (50cm).

L'espace entre ces murettes peut être calculé comme suit:

$$E = L / N.$$

E : espacement moyen (m).

L : longueur du versant (m).

N : nombre de seuils.

### 1.3 - Rideaux:

Un rideau se forme à la limite d'un champ en pente quand le labour est fait parallèlement à cette limite. Des broussailles, puis des arbres y poussent et s'opposent au ruissellement et à l'entraînement du sol.

### 1.4 - Les banquettes:

Ces ouvrages concernent les zones à dominance de formations meubles

La dénivelée entre banquettes est calculée comme suit:

a)-les pentes < 25% :  $10 \pm H^3 / P. 260.$

b)-les pentes > 25% :  $H^3 / P = 64.$

H : dénivelée (m)

P : pente. (%)

Les banquettes doivent assurer l'évacuation des eaux vers l'exutoire sans risque de débordement, leur section est définie comme suit :

$$S = Q / V \dots \dots \dots (1).$$

S : section des banquettes (m<sup>2</sup>).

Q : débit drainant (m<sup>3</sup>/s).

V : vitesse d'écoulement (m/s).

La vitesse d'écoulement est définie par Bazin comme suit:

$$V = 87R\sqrt{P} / \sqrt{R + G}.$$

R = section mouillée (m<sup>2</sup>).

P : pente des banquettes (0.005).

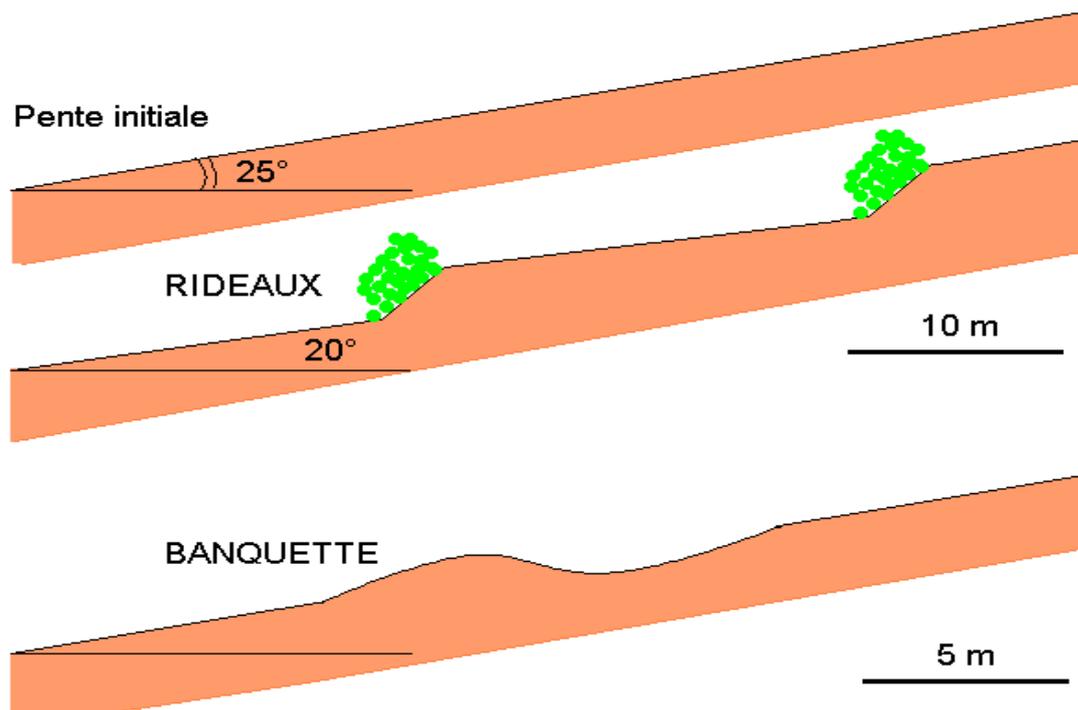
G : coefficient de rugosité (1.5).

Le débit (Q) dépend de la surface (S) de l'impluvium (m<sup>2</sup>), l'intensité des pluies (I) mm/s et du coefficient d'infiltration (K) selon la formule suivante :  $Q = S / 6 (I - K).$

Dans les conditions maximales d'écoulement (K = 0) alors :  $Q = S I / 6$

Dans des cas particuliers : I = 3mm/s ce qui implique que :  $Q = 0.5.S.$

En remplaçant dans (1) on aura :  $Sm^2 = 0.5.S / V$



**Figure N° 28:** Rideaux et banquette

## 2-LA PROTECTION BIOLOGIQUE :

Les procédés biologiques consistent à conduire les cultures de telle sorte que les plantes cultivées exercent une protection efficace contre l'érosion. C'est-à-dire qu'elles assurent une occupation du sol aussi étendue que possible dans l'espace et dans le temps.

Le couvert végétal aide à une fixation adéquate et final d'une zone érodée sa destruction nécessite la protection et la restauration des terres par le reboisement.

### 2.1-Reboisement :

Le reboisement devrait porter sur le choix d'espèces forestières xériques s'adaptant aux conditions édapho-climatiques de la zone. Les essences utilisées sont : Le Cèdre d'Atlas (*Cedrus atlantica*), Le pin d'Alep (*Pinus halepensis*), Le chêne vert (*Quercus ilex*), Le cyprès vert (*Cupressus sempervirens*) et le Frêne dimorphe (*Fraxinus xanthoxyloides*). Par contre, le peuplier noir, Thuya de barbarie (*Tetraclunis articulata*), Eucalyptus camaldulensis et l'Acacia (*Cynophylla*), sont utilisées pour la protection. Cela s'explique essentiellement de deux façons : la facilité de production de ces plantes en pépinières (disponibilité facilitant l'approvisionnement des chantiers) et la bonne reprise de ces essences dans la zone de Bouzina.

## **2.2-Plantations fruitières :**

L'introduction d'arbres fruitiers est recommandée. Ils jouent un rôle de protection du sol contre l'érosion tout en apportant un revenu à la population riveraine. La plantation et le développement d'arbres fruitiers (pommiers, oliviers, amandiers, figuier...) permettent d'apporter un soutien aux structures d'aménagement et une plus-value économique. Le choix des essences fruitières doit se faire en fonction des exigences agroclimatiques des espèces et des vœux des riverains.

Les espèces proposées en priorité sont les espèces rustiques telles que l'olivier, le figuier, l'amandier, le prunier, le grenadier. Les espèces non rustiques comme l'abricotier, le pommier, le pêcher et le poirier doivent être localisées dans les zones où l'irrigation est possible.

## **2.3-Amélioration des parcours:**

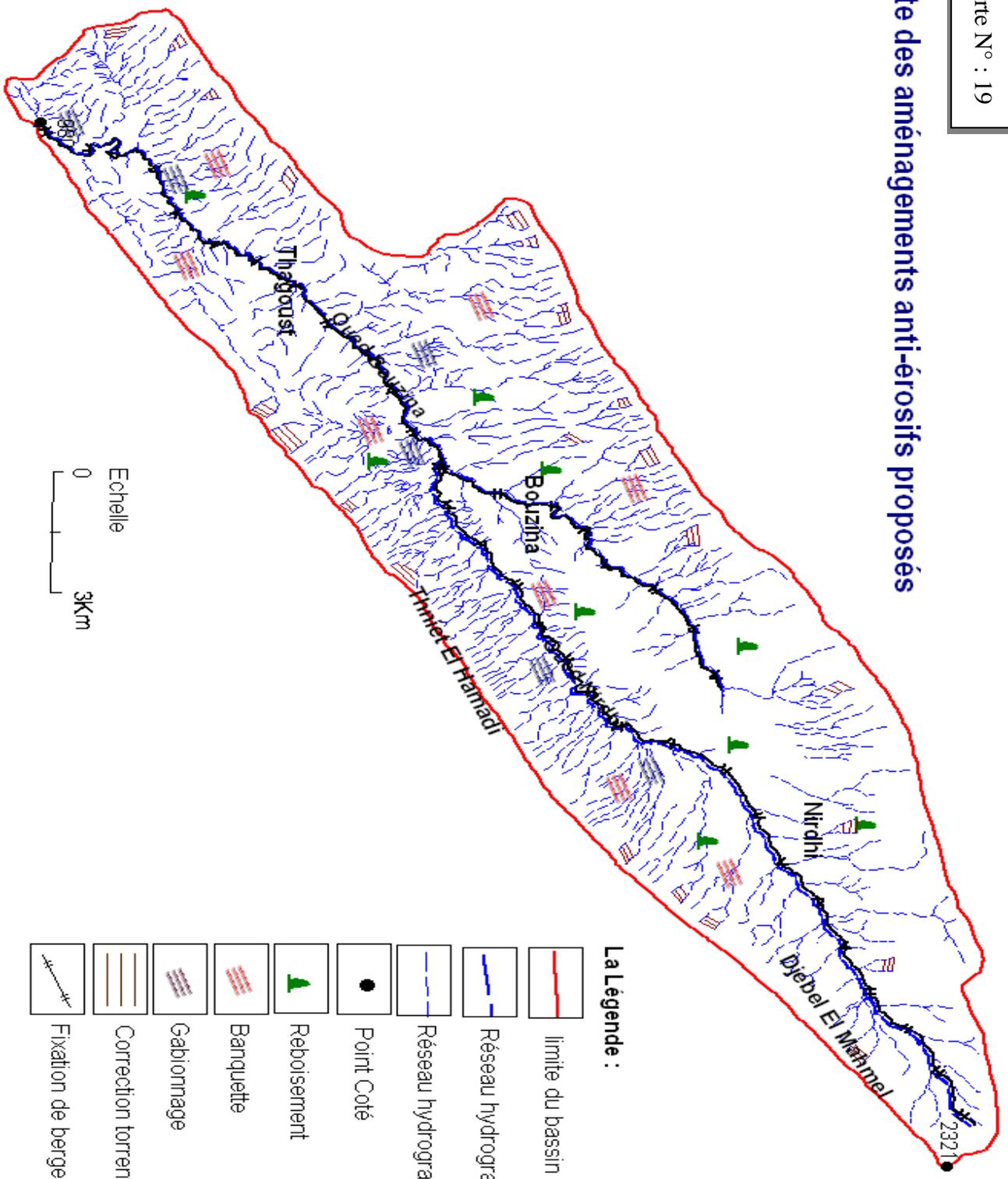
La protection des sols contre l'érosion ne peut se faire qu'à condition d'entretenir les plantations qui se trouvent au niveau des talwegs et des versants, au moins pendant les premières années et cela dans le but d'assurer la réussite des plantations et d'atteindre une densité et même de diminuer le débit solide.

L'élevage étant la ressource principale pour les riverains, il est donc indispensable d'améliorer les terres de parcours tout en veillant à éviter le surpâturage. Le cheptel pâture les céréales en cas d'années à faible production agricole et les chaumes ou les parcelles en jachère en années normales.

Les forêts et les matorrals, malgré les interdictions de pâturage, fournissent un complément très important pour les troupeaux. C'est la commercialisation des animaux qui fournit les revenus monétaires des paysans. Le choix des espèces fourragères doit tenir compte de leurs exigences écologiques. L'Atriplex est une espèce fourragère à enracinement très profond, utilisée pour la protection des berges et des talwegs.

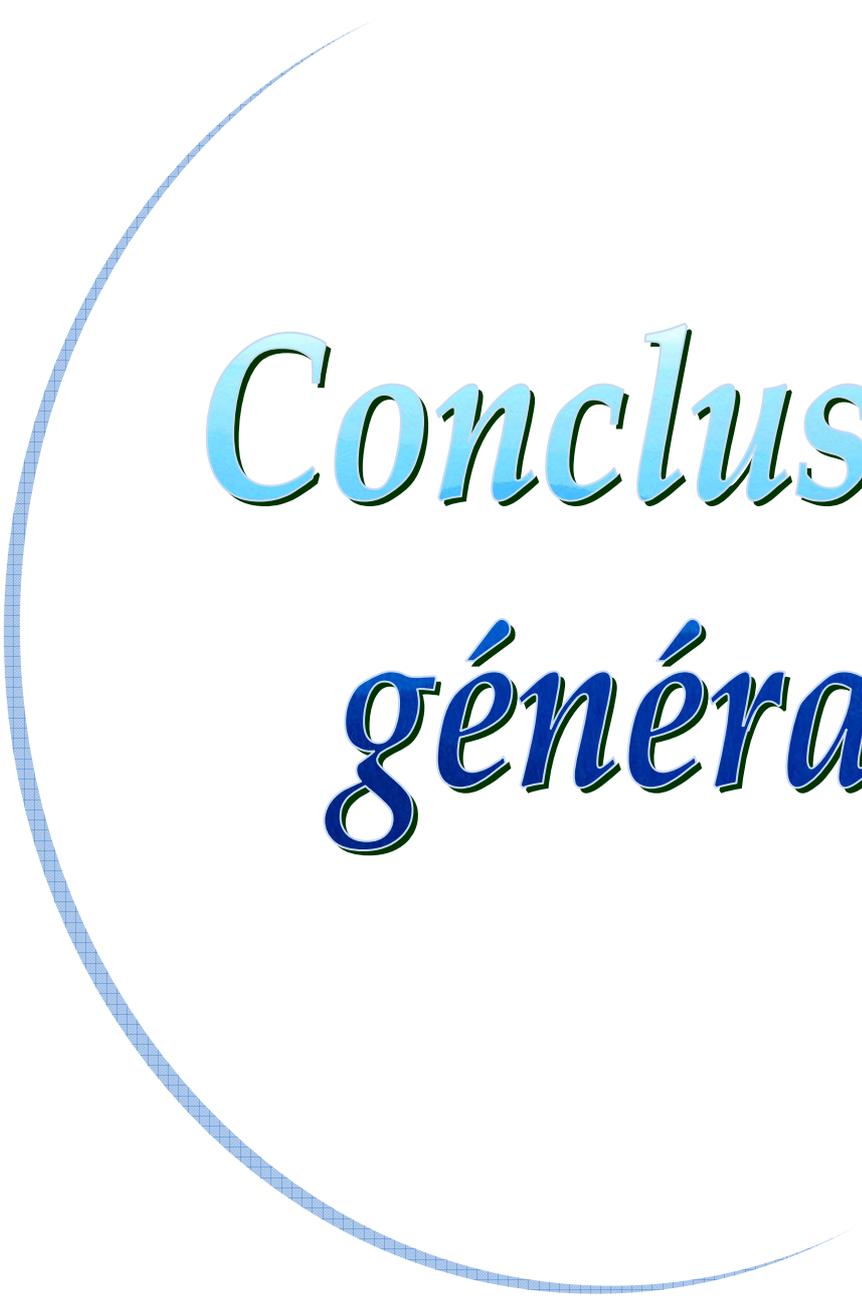
Pour les berges, la méthode de fixation biologique est la plus efficace, mais les mesures techniques (procédures mécaniques) sont indispensables afin de réduire la vitesse d'écoulement des eaux de ruissellement.

# Carte des aménagements anti-érosifs proposés



### La Légende :

-  limite du bassin
-  Réseau hydrographique principal
-  Réseau hydrographique secondaire
-  Point Coté
-  Reboisement
-  Banquette
-  Gabionnage
-  Correction torrentielle
-  Fixation de berges



*Conclusion*  
*générale*

L'érosion hydrique dans le bassin versant de Bouzina résulte de la conjonction de différents facteurs : érodibilité des sols, érosivité des pluies, raideur du relief et faiblesse du couvert végétal. Les facteurs analysés montrent bien la sensibilité du bassin versant à l'érosion.

Il est clair que la sensibilité à l'érosion du bassin obéit à l'interaction de ces différents facteurs et leur articulation dans l'espace et le temps. L'intégration d'autres paramètres comme le facteur anthropique aurait pu apporter une meilleure précision.

Cette sensibilité est particulièrement aggravée par le ruissellement provenant des versants, surtout durant les averses exceptionnelles tombant sur des terres battues et compactes. Cette érosion a des conséquences socio-économiques et environnementales désastreuses.

L'apport de la géomatique, comme outil d'étude de ce phénomène, se voit dans la combinaison du modèle de prévision des pertes en sol et le système d'information géographique qui a donné une dimension dynamique aux informations du terrain, mais aussi dans l'utilisation de l'imagerie satellitale et son apport dans la spatialisation du phénomène. La possibilité d'une simulation des situations les plus réalistes est très possible avec de tel outil.

La technique de SIG utilisée a permis l'évaluation rapide de l'érosion nette à l'échelle du bassin (Aléa) et l'identification des secteurs qui nécessitent des interventions pour lutter contre la dégradation des sols.

Les technologies d'observation de la Terre (Télédétection) jouent un rôle majeur dans l'étude, la modélisation et le suivi des phénomènes environnementaux tel que l'érosion hydrique des sols, à des échelles spatiales et temporelles variables, et sur une base objective, exhaustive et permanente. Cependant l'étude des niveaux de vulnérabilité, des différentes entités d'occupation des sols à l'érosion, n'a été établi que par le traitement d'image, surtout dans de telle zone.

Ces technologies ouvrent ainsi la voie à la mise en place de systèmes d'alerte précoce, et permettent aux politiques et décideurs de définir des stratégies adéquates dans le cadre d'un développement durable.

La réalisation du futur barrage nécessite une intervention précise et bien déterminée sur toutes les zones à risque d'érosion avec des aménagements anti-érosifs adéquats pour avoir une longue durée de pérennité de cet ouvrage.

Enfin, cette étude présente la première carte des risques d'érosion dans la vallée de Bouzina, où les enjeux environnementaux sont élevés, et qui reste un document d'aide à la décision.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

1. **Abdelbaki A.**, (2007) : Mise en place d'un Système d'Information Géographique pour l'élaboration d'un plan d'aménagement de protection -Cas du sous bassin versant de oued Bouguedfine (B.V Zahraz-CHLEF, PFE, INA, Alger, Algérie).
2. **Abdelbaki A., Abdelbaki C., Ouldache E., Semmar H.**, (2008) : Mise en place d'un système d'information géographique pour l'Aménagement d'un bassin versant - Cas Du Sous Bassin Versant de Oued Bouguedfine –Wilaya De Chlef – Algérie, Séminaire National d'Hydraulique, Chlef, Algérie.
3. **Abdelkader El Garouani, Hao Chen**(2008) : Cartographie des zones à risque d'érosion hydrique : exemple du haut atlas marocain, Revue Télédétection, vol. 8, n° 3, p. 193-201.
4. **Abdelwahab.H.** (2002): Mémoire (Contribution à l'étude de la dynamique de l'érosion et aménagement du bassin versant de l'Oued Labiod),
5. **Arabi M.** (2007) : Intensification de l'agriculture et réduction des risques érosifs en milieu semi aride algérien, Actes des JSIRAUF, Hanoi, 6-9 novembre 2007.
6. **Bachaoui B** (2007) : Cartographie des zones à risque d'érosion hydrique : exemple du haut atlas marocain. Revue Télédétection, 2007, vol. 7, n° 1-2-3-4, p. 393-404.
7. **Ballais J.L.** (1981) : Recherches géomorphologiques dans les Aurès (Algérie). Thèse doctorat- Université de Paris I, annexes + Cartes.
8. **Belhadj-Aissa M.** (2004) : Conception d'un SIG orienté objet. Mise en œuvre d'une application aux risques de feux de forêt. Thèse de Doctorat d'état, FEI, USTHB, 175p.
9. **Benmessaoud H.** (2009) : étude de la vulnérabilité a la désertification par des méthodes quantitatives numériques dans le massif des Aurès (Algérie) (Thèse de doctorat).
10. **Bensaid A.**, (2006) : SIG et télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone aride : le cas de la wilaya de Naâma (Algérie). (Thèse de doctorat en géographie), Université Es.Senia, Oran -Algérie-.
11. **Bensaid A. ; Smahi Z. ; Iftene T. et Benzineh S.**( 2003) : Utilisation de la télédétection et des SIG pour l'aide à la surveillance du risque de dégradation des parcours steppiques Télédétection, 2003, vol. 3, n° 5, p. 387–402.

12. **Bertois L.**(1974) : Les roches sédimentaire « étude sédimentologique des roches meubles » 278 p.
13. **Bet HYDRAMÉD**, (2008) : Schéma directeur de gestion des déchets solides urbains de la commune de Bouzina.
14. **BG Stuky** (2005) : Expertise et étude de complémentarité de la faisabilité du barrage de Bouzina w. Batna.
15. **Body.K.**, (1981) : Analyse fréquentielle des pluies de l'Algérie, Synthèse régionale (complétée et corrigée par SARVARY, 1985).
16. **Boudjadja A., Messahel M. et Pauc H.**, (2003) : Ressources hydriques en Algérie du nord. Revue des sciences de l'eau, 16 (3) : 285 – 304
17. **Bolline.A.**, (1982) : Etude des prévisions de l'érosion des sols limoneux cultivés en moyenne Belgique thèse de Doct.science. Belgique 365 P.
18. **Bonn, F.** (1998) : La spatialisation des modèles d'érosion des sols à l'aide de la télédétection et des SIG : possibilités, erreurs et limites. Sécheresse, vol. 9, no 3, p.185-192.
19. **Bou Kheir, R., Girard, M.-C., Khawlie, M. et Abdallah, C.** (2001) : Érosion hydrique des sols dans les milieux méditerranéens : une revue bibliographique. Étude et gestion des sols, vol. 8, n° 4, p. 231-245.
20. **Bouhata R.**( 2007) : Analyse de la dynamique des sebkhas et son impact sur la dynamique du risque d'inondation dans les dépressions endoréiques situé entre Zana et Madghassen à l'aide de l'imagerie satellitaire LANDSAT. (Mémoire de magister)
21. **Brunet.R.** (1957) : L'érosion accélérée dans le Terrefort toulousain. Revue de géomorphologie dynamique, N03.4, P 33.40.
22. **Cavallo, A. & Norese, M.F.** (1998) : GIS and multicriteria analysis to evaluate and map erosion and landslide hazards. Informatica, vol. 12, p. 25-44.
23. **Céline R.**(2003) : étude et analyse critique des méthodes d'évaluation des risques naturels par l'exploitation des SIG. Application au bassin versant de l'Avançon (Aigle, Vaud, Suisse), Mai – Septembre 2003,35p.
24. **Christien L. Jean-Luc S.** (2008), Les risques naturels majeurs, édition scientifique collection géosciences 306 p.

25. **Cote M.**, (2003). Société d'étude et de recherche sur L'Aurès antique, revues annuelle N° 1 Paris. Page 100.
26. **ENHYD**, (1997). Etude de faisabilité du barrage de Bouzina.W. de Batna.
27. **Ferdinand B.** (1996) précis de télédétection (volume 2) ; presses de l'université de Québec.
28. **Guettouche M.S.** (1991) : Apport de l'image SPOT à la cartographie de l'érosion. Appliquaction sur la zone de Méséa, Algérie. Thèse de Magister en Géomorphologie, USTHB, Alger (102p)
29. **Guettouche M.S.** (2003) : Du terrain à l'analyse numérique. Essai d'une typologie de l'espace géographique hodenéen (Algérie nord orientale). Thèse de doctorat d'Etat en géomorphologie, USTHB, Alger. 250p
30. **Haoues CH.** (2008) Evaluation par analyse multicritère du risque d'érosion dans la vallée de Oued Labiod ( Approche systémique), (Mémoire de magister)
31. **Le Bissonnais Y.** l'érosion hydrique des sols en France, INRA, IFEN, novembre 2002
32. **Lebrun P.** (2000) : Évaluation technico-économique des mesures anti-érosives installées sur un versant du Lauragais. Rapport de stage. Toulouse: INRA-SAD, 25 p.
33. **Morschel. J, Fox. D.** Une méthode de cartographie du risque érosif: application aux collines du Terrefort lauragais M@ppemonde N°76 (4-2004)
34. **Maamer S, Aksa A.** (2010) Spatialisation de l'aléa d'érosion dans le bassin versant de l'Oued Bouzina –Approche par les SIG- Mémoire.
35. **Oukil Y.** (2006) intégration des données physiques et socio-économiques dans un SIG pour la gestion des parcours steppiques cas de la wilaya de Djelfa ; mémoire de magister, USTHB Alger.
36. **Pascal B.** (2002), Cours Map Info, Ecole nationale des sciences géographique France, volume 1 ; Fonctionnalités de base.
37. **Pascal B.** (2002), Cours Map Info, Ecole nationale des sciences géographique France, volume 2 ; Fonctions spécialisées et utilisation du logiciel

38. **Pascal B.** (2002), Cours Map Info, Ecole nationale des sciences géographiques France, volume 3 ; Gestion de tables DBMS par lien ODBC
39. **Seltzer P.** (1946): Le climat de l'Algérie. Travaux de l'institut de météorologie et de physique du globe de l'Algérie. Univ- d'Algérie. 220 p
40. **SONATRACH** (1999) : Etude hydrogéologique de la vallée de Oued Abdi et Bouzina
41. **Touaibia b.** (1982) : Régularisation des eaux. INA, El Harrach, Alger.
42. **Yannick M.** (2000) : Analyse spatiale et mise en place de systèmes d'information pour l'évaluation de la vulnérabilité des territoires de montagne face aux risques naturels, (Thèse de doctorat), Université Joseph Fourier – Grenoble I.