



## Remerciements

Avant tous, je remercie Dieu tout puissant qui m'a guidé tout au long de ma vie, qui m'a permis de m'instruire et d'arriver aussi loin dans mes études, qui m'a donné courage et patience pour passer tous les moments difficiles, et qui m'a permis d'achever ce travail.

Je tiens à présenter mes humbles et sincères remerciements ainsi que toute ma reconnaissance et ma profonde gratitude à mon promoteur **DRIDI Hadda**, pour tous son dévouement lors de mon encadrement, pour toute son aide et ses précieux conseils ainsi que pour l'attention soutenue qu'elle m'a manifesté par ses encouragements incessants quand, et surtout pour sa patience et sa compréhension.

Mes remerciements vont également à **M. KALLA Mahdi** pour m'avoir fait l'honneur et l'immense plaisir d'accepter de présider le jury.

Je remercie chaleureusement **M. GUETTOUCHE Mohamed Saïd** qui a accepté de faire partie du jury.

Je tiens également à remercier **M. AMIRECHE Hamza** qui a bien voulu être membre de ce jury.

Je remercie les cadres du parc national de Belezma, et particulièrement le directeur **M. ELABED A.**, et **M. HAMCHI**, **M. RIGHI** pour toutes leurs aides matériels et morales.

Enfin j'aimerais remercier tous mes amis et mes collègues pour leur amitié, leur soutien, et tous ceux qui se sont intéressés à mon travail et à mon bien être.

**KHENTOUCHE A.**

## Sommaire

Introduction.....	1
<b>Chapitre 1 : Présentation du bassin versant de oued Nafla</b>	
1. Situation géographique .....	3
2. Présentation générale du bassin .....	3
3. Hypsométrie .....	3
4. Les pentes .....	9
5. La perméabilité .....	11
6. Géologie .....	11
7. Comportement structural et litho stratigraphique .....	13
7.1. La stratigraphie .....	13
7.1.1. Le crétacé inférieur .....	13
7.1.2. Le Crétacé supérieur .....	13
7.1.3. Tertiaire .....	18
7.1.4. Quaternaire.....	18
8. Le couvert végétal.....	18
8.1. Cédretum .....	18
8.2. Maquis et garigues .....	20
9. Hydrographie .....	20
Conclusion .....	22
10. L'étude socio-économique .....	23
10.1. Economie .....	23
10.2. Habitants et habitat .....	24
10.2.1. Habitants .....	24
10.2.2. Habitat .....	26
10.3. Le statut foncier .....	27
Conclusion .....	27

## **Chapitre II : Les caractéristiques morphométriques**

Introduction.....	28
1. Morphométrie .....	28
1.1. La surface .....	28
1.2. Le périmètre .....	28
1.3. Indice de Gravi lus Kc .....	28
1.4. Longueur du rectangle équivalent.....	29
1.5. Caractéristiques hypsométriques .....	29
1.5.1. Le relief .....	29
1.5.2. Altitude moyenne ( $\bar{H}$ ) .....	30
1.5.3. la déniveler simple "D" .....	30
1.6. Les pentes .....	31
1.6.1. Indice de pente globale .....	31
1.6.2. Indices de pente de ROCHE .....	31
1.6.3. La dénivelée spécifique "Ds" .....	31
1.7. Les caractéristiques du réseau hydrographique .....	32
1.7.1. Classification des talwegs .....	32
1.7.2. Densité de drainage (Dd) .....	32
1.7.3. Coefficient de torrentialité (Ct).....	33
1.7.4. Temps de concentration .....	33

1.7.5. Formule de GIANDOTTI .....	33
1.7.6. Vitesse de l'écoulement de l'eau (Ve) .....	34
Conclusion .....	34

### ***Chapitre III : Etude climatologique***

Introduction.....	35
1. Equipement du bassin .....	35
2. Etude des paramètres climatologiques.....	36
2.1. Les vents .....	36
2.2. Humidité relative .....	36
2.3. Correction des données pluviométriques .....	37
2.3.1. Méthode de double cumulé .....	37
2.3.2. Méthode d'extensions des données .....	38
2.3.3. Précipitations annuelles .....	39
2.3.4. Répartition mensuelle des précipitations .....	43
2.3.5. Analyse des données pluviométriques (mensuelles) station par station .....	43
2.3.6. Répartition saisonnière des précipitations .....	45
2.4. Les températures .....	46
2.5. Le régime thermique .....	50
2.6. Le climagramme d'EMBERGER .....	50
2.7. Estimation de la lame d'eau précipitée .....	53
2.7.1. Méthode de THEISSEN .....	53
2.7.2. La moyenne arithmétique.....	55
2.7.3. La carte de CHAUMONT et PAQUIN.....	55
2.8. Les pluies journalières maximales .....	55
2.8.1. Ajustement des précipitations journalières maximales.....	63
2.8.1.1. Loi de GUMBEL .....	63
2.8.1.2. Loi de Gauss .....	64
2.8.1.3. Test de $x^2$ .....	70
3. Facteurs du bilan hydrique.....	71
3.1. Evapotranspiration potentiel .....	71
3.1.2. Formule de THORNTHWATE.....	71
3.1.3. Méthode de Turc .....	72
3.1.4. Estimation l'ETR.....	73
3.1.4.1. Formule de TURC.....	73
3.1.4.2. Formule de COUTAGNE .....	74
3.1.4.3. Abaque de VERDEIL .....	75
Conclusion .....	77

### ***Chapitre IV : Etude quantitative et qualitative de l'érosion***

1. Evaluation de la lame d'eau écoulée .....	78
1.1. Formule de SOGREAH (1989).....	78
1.2. Formule de SAIDI (1990) .....	78
1.3. Formule de ADJEL- SMAIL (1985).....	79
1.4. Formule de l'ANRH .....	79
1.5. Formule de SAMIE.....	79
2. Détermination de l'apport annuelle .....	80
3. Crues de projet (débit maximum) .....	80
3. 1 Estimation de la crue de projet.....	81
3.1.1 Méthode de TURAZZA .....	81

4 .Transport solide .....	82
4 .1 Evaluation du transport solide .....	82
4 1.1. Formule de SOGREAHA .....	82
4.1.2. Formule de TIXIRONT .....	83
4.1.3. Formule de FOURNIER .....	83
4.1.4. Formule de l'ANRH (1982) .....	83
4.2. Calcule de l'érosivite .....	84
4.2.1. Indice De FOURNIER.....	84
4.2.2. Indice d'ARNOLDUS – FOURNIER.....	84
4.2.3. Indice de WISCHMEIER.....	85
5. L'étude géomorphologique .....	86
5.1. Terrasses .....	86
5.2. Méandres.....	86
5.3. Le dynamisme des courants (fluviaux).....	88
5.3.1. Les formes des lits .....	88
5.3.2. Lit ordinaire (lit apparent).....	88
5.3.3. La multiplicité des chenaux .....	88
5.3.3.1. Cours d'eau a chenaux anastomosés .....	88
5.3.3.2. Cours d'eau A Chenaux En Tresses .....	89
5.3.3.3. Cours d'eau a chenaux rectilignes .....	89
5.4. Formes élémentaires d'accumulation .....	89
5.4.1. Forme d'accumulation .....	89
6. Les glacis .....	93
7. Dynamisme des versants .....	93
7.1. Cône de déjection .....	93
7.2. Cône d'épandage .....	94
7.3. Plaine alluviale.....	94
8. Les formes d'érosion .....	94
8.1. Erosion en nappe.....	95
8.2. Erosion par ravinement concentré .....	95
8.3. Ravinement généralisé (bad lands) .....	95
8.4. Erosion par dislocation des matériaux .....	95
8.5. Erosion par mouvement de masse.....	96
8.6. Erosion par sapement des berges .....	96
8.7. Erosion régressive.....	96

### ***Chapitre V : propositions et Aménagement***

1. La protection contre le vent .....	99
2. Amélioration des parcours .....	99
3. Gestion et drainage des eaux.....	101
3.1. Drainage des eaux .....	101
3.2. Les principaux avantages du drainage .....	101
3.3. Gestion et protection des cours d'eau .....	101
3.3.1. Voies d'eau enherbées .....	102
3.3.2. Bande riveraine de végétation .....	102
4. Formule de WISCHEMEIER .....	102
5. Le reboisement.....	104
6. Orientation du chois des profils d'ouvrages .....	106
7. Correction torrentielle.....	107
8. Gabions .....	108
8.1. Caractéristiques des gabions proposés .....	108

8.2. Murs de soutènements .....	108
8.2.1. Mur à parement vertical .....	108
8.2.2. Mur a parement incliné (en gradins).....	108
Conclusion générale.....	113

## *Liste des tableaux*

	<b>Page</b>
<b>Tableau N° 1</b> : Bassin versant de Nafla : répartition des tranches d'altitudes .....	9
<b>Tableau N° 2</b> : Bassin versant de Nafla : classe des pentes.....	9
<b>Tableau N° 3</b> : Nombre d'agriculteurs par commune (1998).....	23
<b>Tableau N° 4</b> : L'élevage dans le bassin versant.....	23
<b>Tableau N° 5</b> : Total des populations du bassin versant.....	24
<b>Tableau N° 6</b> : Agglomérations du bassin par commune .....	26
<b>Tableau N° 7</b> : Répartition des différentes tranches d'altitudes.....	30
<b>Tableau N° 8</b> : Caractéristiques des stations pluviométriques du bassin étudié.....	35
<b>Tableau N° 9</b> : Vitesse moyenne mensuelle des vents.....	36
<b>Tableau N° 10</b> : Moyenne mensuelle de l'humidité : Stations (Batna, Merouana) .....	37
<b>Tableau N° 11</b> : coefficients de corrélation du chaque station .....	38
<b>Tableau N° 12</b> : Caractéristique de la régression linéaire .....	39
<b>Tableau N° 13</b> : Répartition annuelle des précipitations (1969-2000) .....	41
<b>Tableau N° 14</b> : Modules pluviométriques mensuelles et annuelles (1969-2000) .....	43
<b>Tableau N° 15</b> : Répartition saisonnière des précipitations (1969-2000).....	45
<b>Tableau N° 16</b> : moyennes mensuelles des températures (1969-2000).....	47
<b>Tableau N° 17</b> : Moyennes mensuelles des précipitations et des températures (1969-2000) (Station Merouana).....	47
<b>Tableau N° 18</b> : Moyennes mensuelles des températures : station (HAMPLA) (1969-2000) .....	49
<b>Tableau N° 19</b> : Moyenne des précipitations et des températures (1969-2000) (Station : Hamla).....	49
<b>Tableau N° 20</b> : Valeurs de l'indice de DE MARTON.....	50
<b>Tableau N° 21</b> : Lamme d'eau précipitée .....	53
<b>Tableau N° 22</b> : Les caractéristiques des lois de l'ajustement .....	57
<b>Tableau N° 23</b> : Pluies journalières maximales (1969-2000).....	58
<b>Tableau N° 24</b> : pluies maximales journalières ajustées : Station de Merouana (1969-2000).....	63
<b>Tableau N° 25</b> : Pluies maximales journalières ajustées : station de N'GAOUS .....	63
<b>Tableau N° 26</b> : Pluies maximales journalières ajustées station de HAMPLA .....	64
<b>Tableau N° 27</b> : les pluies maximales journalières ajustées : station de BATNA .....	64
<b>Tableau N° 28</b> : Pluies maximales journalières pour différentes fréquences (1969-2000).....	64
<b>Tableau N° 29</b> : Pluies maximales journalières pour différentes fréquences (1969-2000) : Station de HAMPLA .....	65
<b>Tableau N° 30</b> : Pluies maximales journalières pour différentes fréquences (1969-2000) : Station de N'GAOUS .....	65
<b>Tableau N° 31</b> : Pluies maximales journalières pour différentes fréquences (1969-2000) : Station de BATNA.....	65
<b>Tableau N° 32</b> : Équations d'Ajustement obtenues. ....	65
<b>Tableau N° 33</b> : Test de $X^2$ : Station de Merouana (loi GAUSS) .....	70
<b>Tableau N° 34</b> : Test de $X^2$ : Station de MEROUANA (loi GUMBEL).....	70
<b>Tableau N° 35</b> : valeur de l'ETP <sub>c</sub> mensuelle selon THORNTHWAITE : Station de MEROUANA.....	72
<b>Tableau N° 36</b> : Valeur de l'ETP mensuelle selon THORNTHWAITE : Station de MEROUANA (1969-2000) .....	72
<b>Tableau N° 37</b> : Evaluation de L'ETP selon TURC .....	73
<b>Tableau N° 38</b> : Résultats de l'ETP et de l'ETR selon les méthodes utilisées.....	77
<b>Tableau N° 39</b> : Les débits maximales fréquentielles (formule de TURAZZA) .....	82
<b>Tableau N° 40</b> : Résultats de calcul du transport solide selon les formules utilisées.....	84

<b>Tableau N° 41:</b> Indice d'érosivité de WISCHMEIR .....	85
<b>Tableau N°42 :</b> Caractéristiques des secteurs étudiés.....	98
<b>Tableau N°43 :</b> Plantes proposées comme brise-vent .....	99
<b>Tableau N° 44 :</b> Amélioration, au niveau des parcours .....	100
<b>Tableau N° 45 :</b> Plantes utilisées pour l'amélioration des parcours.....	100
<b>Tableau N° 46 :</b> Protection des parcours .....	100
<b>Tableau N° 47 :</b> Caractéristiques des zones étudiées .....	103
<b>Tableau N° 48 :</b> Valeurs moyennes de l'érosion selon la méthode de WHISCHMEIR .....	104
<b>Tableau N° 49 :</b> Plantes utilisées dans le reboisement .....	105
<b>Tableau N° 50 :</b> Orientation du choix des profils d'ouvrages .....	106
<b>Tableau N° 51 :</b> Correction torrentielle dans le site étudié.....	107

## *Liste des figures*

Page

<b>Fig. (1)</b> : Plan de situation de la zone d'étude .....	4
<b>Fig. (2)</b> : Carte des altitudes.....	5
<b>Fig. (3)</b> : Bassin versant de oued Nafla : Courbe hypsométrique.....	6
<b>Fig. (4)</b> : Bassin versant de oued Nafla : Profil topographique (Dj Mhassoure).....	7
<b>Fig. (5)</b> : Bassin versant de oued Nafla : Profil topographique (Oued Nafla).....	8
<b>Fig. (6)</b> : Bassin versant de oued Nafla : Carte des pentes .....	10
<b>Fig. (7)</b> : Bassin versant de oued Nafla : Carte lithologique.....	14
<b>Fig. (8)</b> : Formation calcaire inférieur : Coupe du Dj Refaa.....	15
<b>Fig. (9)</b> : Formation calcaire inférieur : Coupe du Dj Thougurt.....	16
<b>Fig. (10)</b> : Comportement structural du Crétacé supérieur sur le Crétacé inférieur .....	17
<b>Fig. (11)</b> : Bassin versant de oued Nafla : Carte des formations végétales .....	19
<b>Fig. (12)</b> : Bassin versant de oued Nafla : Carte du réseau hydrographique .....	21
<b>Fig. (13)</b> : Bassin versant de oued Nafla : Carte des agglomérations.....	25
<b>Fig. (14)</b> : Moyennes des précipitations (1969 – 2000) .....	42
<b>Fig. (15)</b> : Moyennes des précipitations mensuelles (1969-2000).....	44
<b>Fig. (16)</b> : Répartition saisonnière des précipitations (1969-2000).....	46
<b>Fig. (17)</b> : Moyennes mensuelles des températures (1969-2000) (station de Merouana).....	47
<b>Fig. (18)</b> : Diagramme Ombro thermique (1969-2000).....	48
<b>Fig. (19)</b> : Diagramme Ombro thermique (1969-2000) (Station de Hamla) .....	49
<b>Fig. (20)</b> : Climagramme d'EMBERGER.....	52
<b>Fig. (21)</b> : Bassin versant de oued Nafla : polygonation .....	54
<b>Fig. (22)</b> : Carte pluviométrique .....	56
<b>Fig. (23)</b> : Ajustement statique des précipitations (Station de N'Gaous) (Loi de Gauss).....	59
<b>Fig. (24)</b> : Ajustement statique des précipitations (Station de Hamla) (Loi de Gauss).....	60
<b>Fig. (25)</b> : Ajustement statique des précipitations (Station de Batna) (Loi de Gauss) .....	61
<b>Fig. (26)</b> : Ajustement statique des précipitations (Station de Merouana) (Loi de Gauss).....	62
<b>Fig. (27)</b> : Ajustement statique des précipitations (Station de Batna) (Loi de Gumbel) .....	66
<b>Fig. (28)</b> : Ajustement statique des précipitations (Station de Merouana) (Loi de Gumbel) .....	67
<b>Fig. (29)</b> : Ajustement statique des précipitations (Station de N'gaous) (Loi de Gumbel).....	68
<b>Fig. (30)</b> : Ajustement statique des précipitations (Station de Hamla) (Loi de Gumbel).....	69
<b>Fig. (31)</b> : Calcul du déficit de l'écoulement.....	76
<b>Fig. (32)</b> : Terrasses étagées (Oued Nafla).....	87
<b>Fig. (33)</b> : Morphométrie des lits.....	90
<b>Fig. (34)</b> : Formes élémentaires d'accumulation dans des chenaux des oueds étudiés.....	91
<b>Fig. (35)</b> : Dynamique des oueds .....	92
<b>Fig. (36)</b> : Bassin versant de oued Nafla : Carte d'érosion .....	97
<b>Fig. (37)</b> : Murs de soutènement.....	109
<b>Fig. (38)</b> : Plan d'aménagement : Secteur 3 .....	110
<b>Fig. (39)</b> : Plan d'aménagement : Secteur 1 .....	111
<b>Fig. (40)</b> : Plan d'aménagement : Secteur 2 .....	112
<b>Fig. (41)</b> : Carte des propositions.....	113

# INTRODUCTION

L'érosion représente un risque naturel multidimensionnel, qui résulte en premier lieu de l'agressivité des pluies torrentielles et de la socialisation des géosystèmes. Elle ne présente pas seulement un facteur aggravant, mais le plus souvent, constitue une cause directe pour la dégradation de l'écosystème.

Les unités physiques se distinguent par leurs altitudes et leurs expositions, qui jouent un rôle déterminant dans la répartition des précipitations et des températures ainsi ces deux facteurs contrôlent les bilans hydriques.

Les pertes de la couche arable ou du sol de surface par l'érosion ont des effets immédiats et à long terme. Ces effets se traduisent par une réduction de la qualité des sols et des rendements de cultures assez faible ; ainsi que par une augmentation des coûts de production. La surface du sol est la couche la plus fertile, contenant la plus riche provision d'éléments nutritifs, de matière organique et d'intrants pour les cultures. L'eau, le vent et les pratiques de préparation du sol telles que les labours sont les trois principaux causes de l'érosion.

L'insuffisance des études dans ces milieux marginaux, leur importance écologique, ainsi que l'aggravation de ce risque d'érosion, nous a incité à préciser l'ampleur de cette érosion et à mettre en évidence son aspect qualitatif et quantitatif. Par ailleurs, nous verrons dans quelle mesure il est possible de lutter contre ce fléau et sauvegarder le patrimoine naturel de ces espèces montagneuses, en tenant compte des aptitudes et des contraintes liées aux spécificités des géosystèmes et leur anthropisation.

La démarche de travail s'articule autour de trois phases:

La phase théorique: est consacré a la collecte des données, documents et consultation des institutions concernées .

La phase pratique: elle comporte des sorties répétitives et réalisation des profils (lithologiques, végétales).

La dernière phase est consacrée pour le traitement et analyse des données afin de mieux rédiger et encadrer les articulations de travail.

Notre travail est structuré en cinq chapitres selon le plan suivant :

- Le premier chapitre est concrétisé par la présentation du bassin étudié en expliquant l'effet de chaque facteur dans le bilan érosif.
- Un autre chapitre destiné à l'étude des caractéristiques du bassin et pour faire apparaître la relation entre l'érosion et la forme du bassin.
- les deux notions suivantes ; les pluies journalières maximales, débits journaliers maximaux pouvant exprimer l'agressivité des pluies et des écoulements.
- Un quatrième chapitre est consacré à l'évaluation de l'érosion :

1 - évaluation quantitative : passe par l'utilisation de certaines formules ; qui ont été appliquées en Algérie.

2 -L'évaluation qualitative : on détermine d'après la morpho dynamique les modelés et les différentes formes de l'érosion. Nous terminons ce chapitre par zonage du risque.

- Le dernier chapitre est réservé aux propositions d'aménagement, qui conviennent le mieux à notre terrain en vue de diminuer ou empêcher l'évolution de ce fléau.

# Chapitre 1 : Présentation du bassin versant de oued Nafla

## 1. Situation géographique :

Notre terrain d'étude fait partie de la wilaya de Batna, qui appartient au bassin du HODNA.

Ce terrain d'étude occupe une surface planimétrie de 162,5 Km<sup>2</sup> et un périmètre de 52 Km.

Le bassin est délimité par les coordonnées Lambert suivantes :

X1 = 260,5 Km , y<sub>1</sub> = 787 Km

X2 = 249,5 Km , y<sub>2</sub> = 800 Km

## 2. Présentation générale du bassin :

Le bassin étudié présente sensiblement une forme carré, l'oued principal qui coule suivant une direction Nord- Sud- Ouest est alimenté par deux affluents principaux.

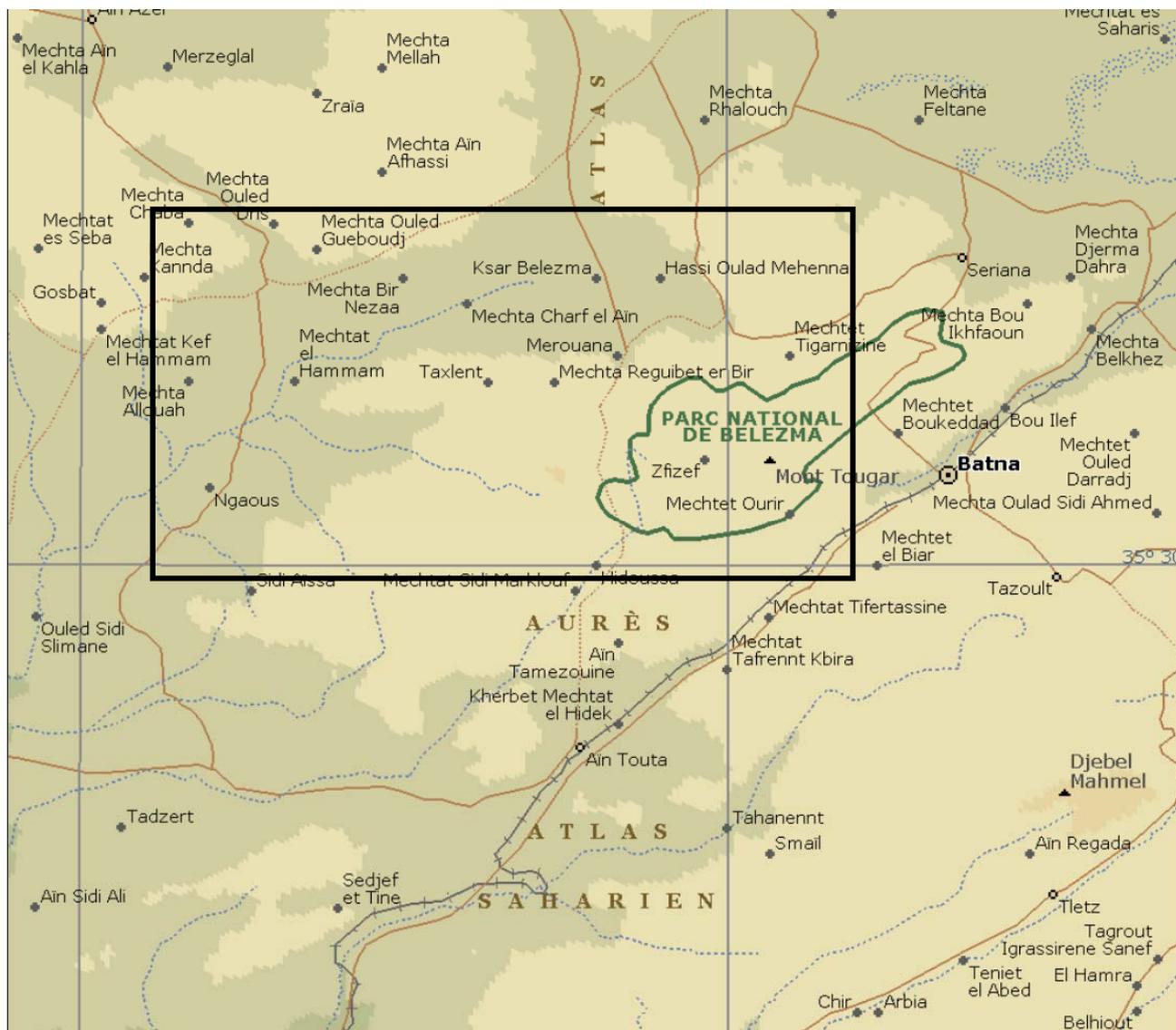
Le bassin est entouré par les unités physiques suivantes : Monts des Bellezma d'Est, anticlinal Mâafa de l'Ouest, Th<sup>et</sup> El Arar du Nord.

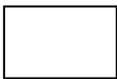
Selon le découpage administratif, notre terrain d'étude est centré dans le périmètre commun de quatre communes (Merouana, Hidoussa, Oued Chaaba et N'Gaous).

## 3. Hypsométrie :

La carte des altitudes représentée sur la figure (3) illustre une des principales caractéristiques du bassin, en relation avec l'érosion :

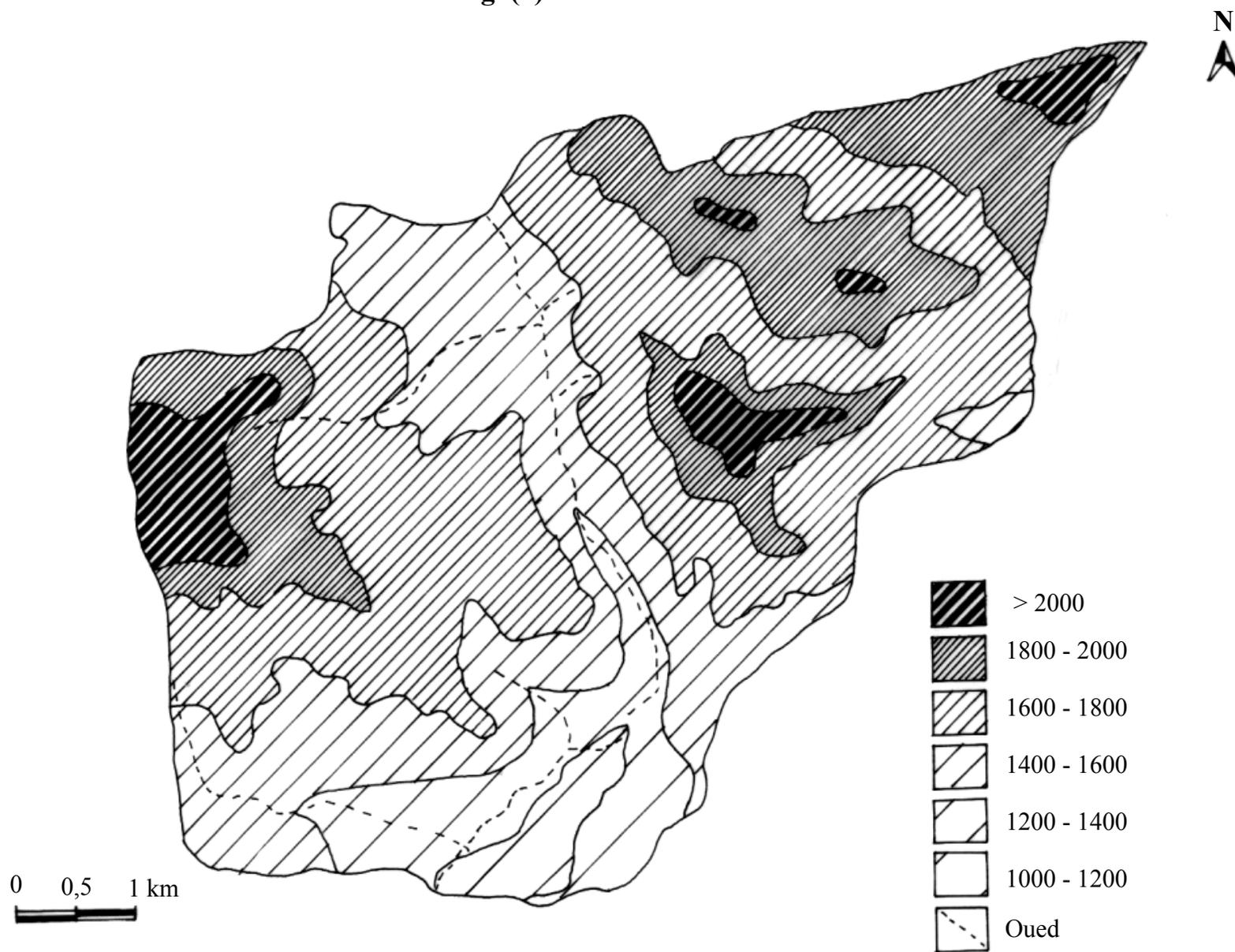
- les deux tranches suivantes [1400, 1600], [1600, 1800], occupent plus de 60 % de la surface du bassin. Ce qui montre le caractère montagneux du bassin.
- Les altitudes les plus basses s'étendent sur la partie aval du bassin.



 Secteur d'étude

**Fig. (1) : plan de situation de la zone d'étude  
(Zone de Nafla)**

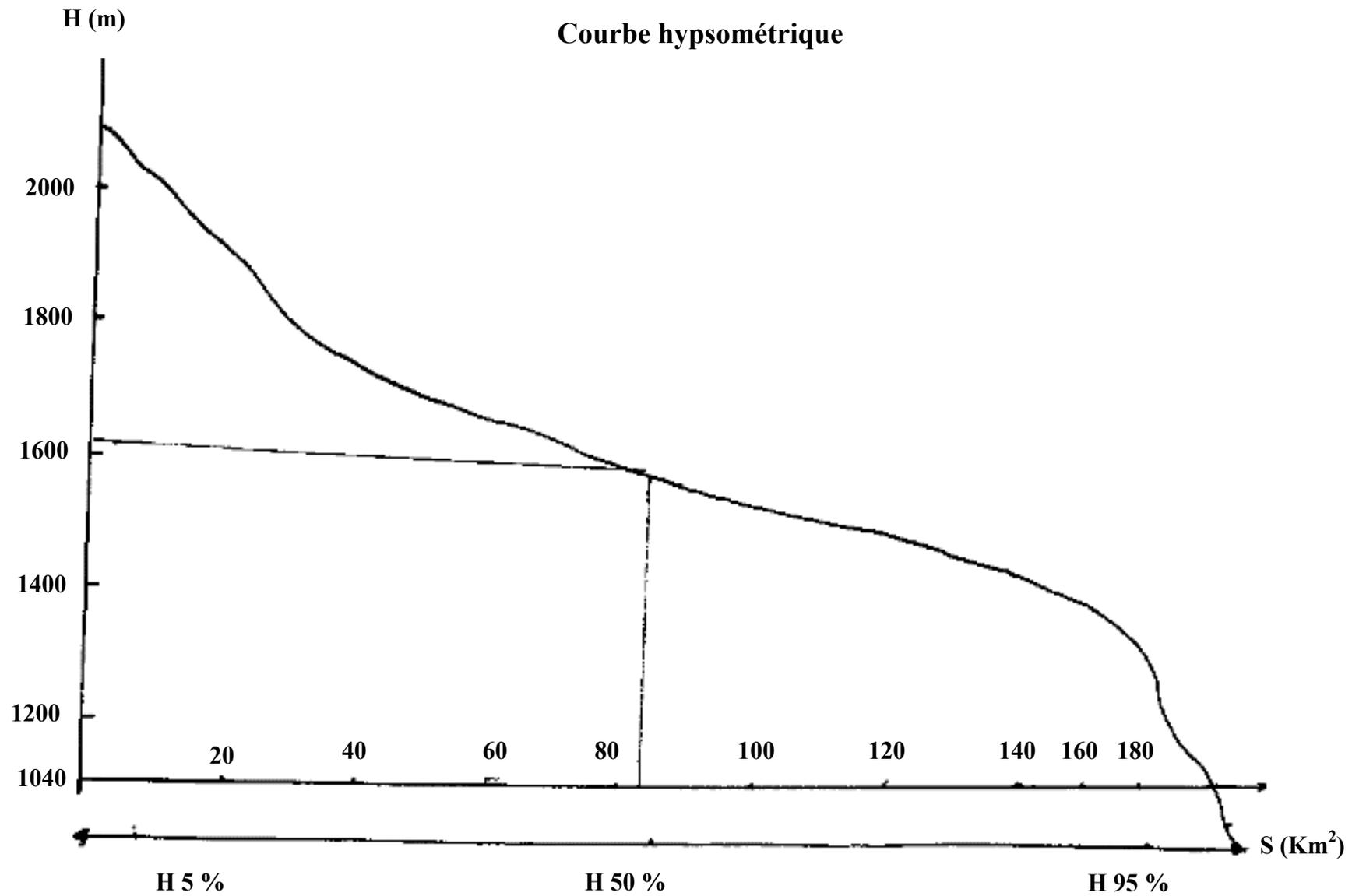
**Fig. (2) : Carte des altitudes**



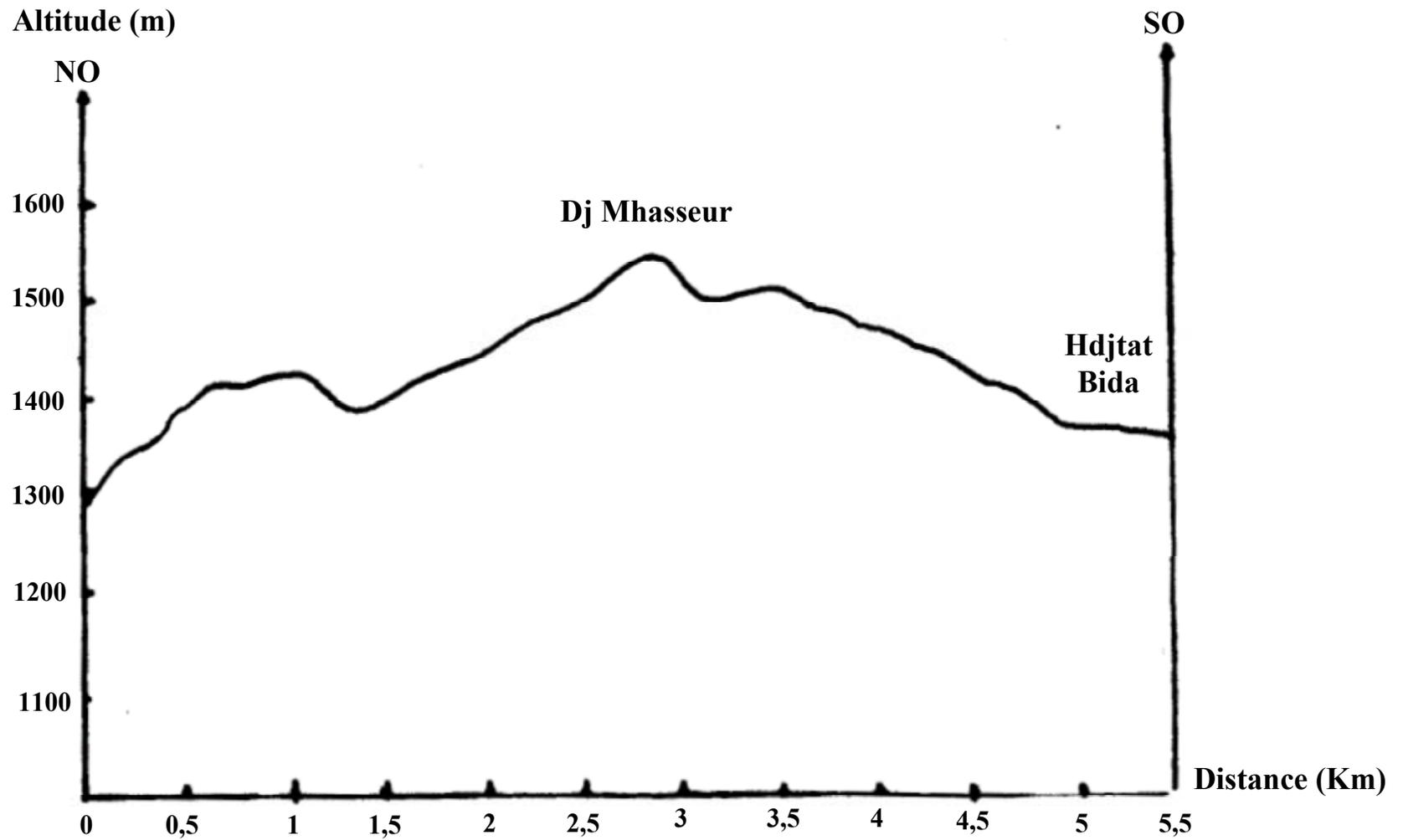
Source : carte topographique 1/50.000

**Fig. (3) : Bassin versant de Oued Nafla :**

**Courbe hypsométrique**

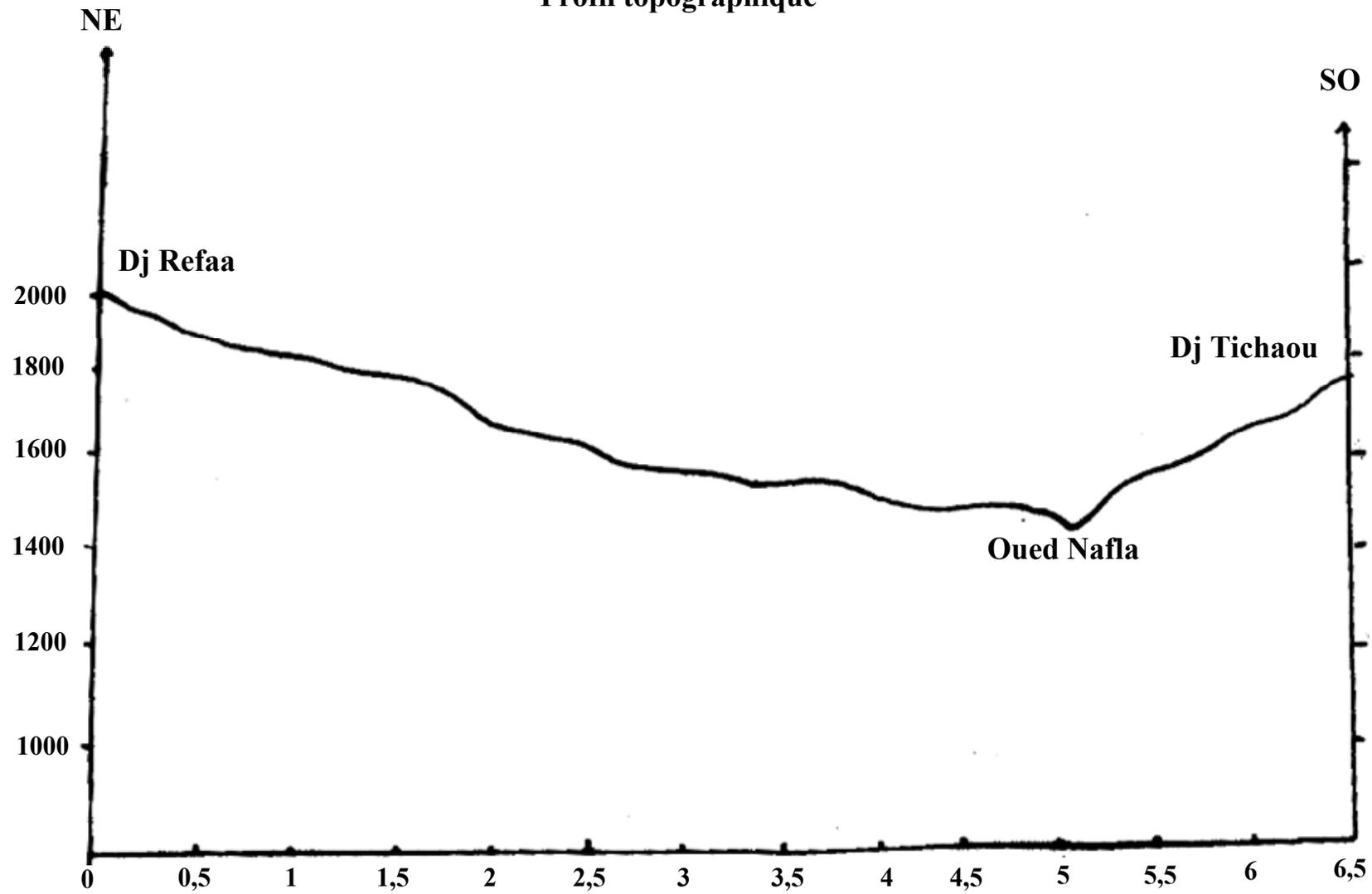


**Fig. (4) : Bassin versant de Oued Nafla :  
Profil topographique (Dj Mhasseure)**



Source : Carte topographique 1/50.000

**Fig. (5) : Bassin versant de Oued Nafla :  
Profil topographique**



Source : Carte topographique 1/50.000

Le tableau ci-dessous présente les différentes tranches des altitudes :

**Tableau N° 1 : Bassin versant de Nafla : répartition des tranches d'altitudes**

Tranche d'altitude	Surface en Km <sup>2</sup>	Surface en %
1000 – 1200	2,5	1,53
1200 – 1400	14	8,60
1400 – 1600	69,625	42,81
1600 – 1800	49,90	30,43
1800 – 2000	27,00	16,60

#### 4. Les pentes :

La pente est un facteur capital dans la dynamique érosive.

Selon la carte des pentes, réalisée à l'échelle de 1/50.000 :

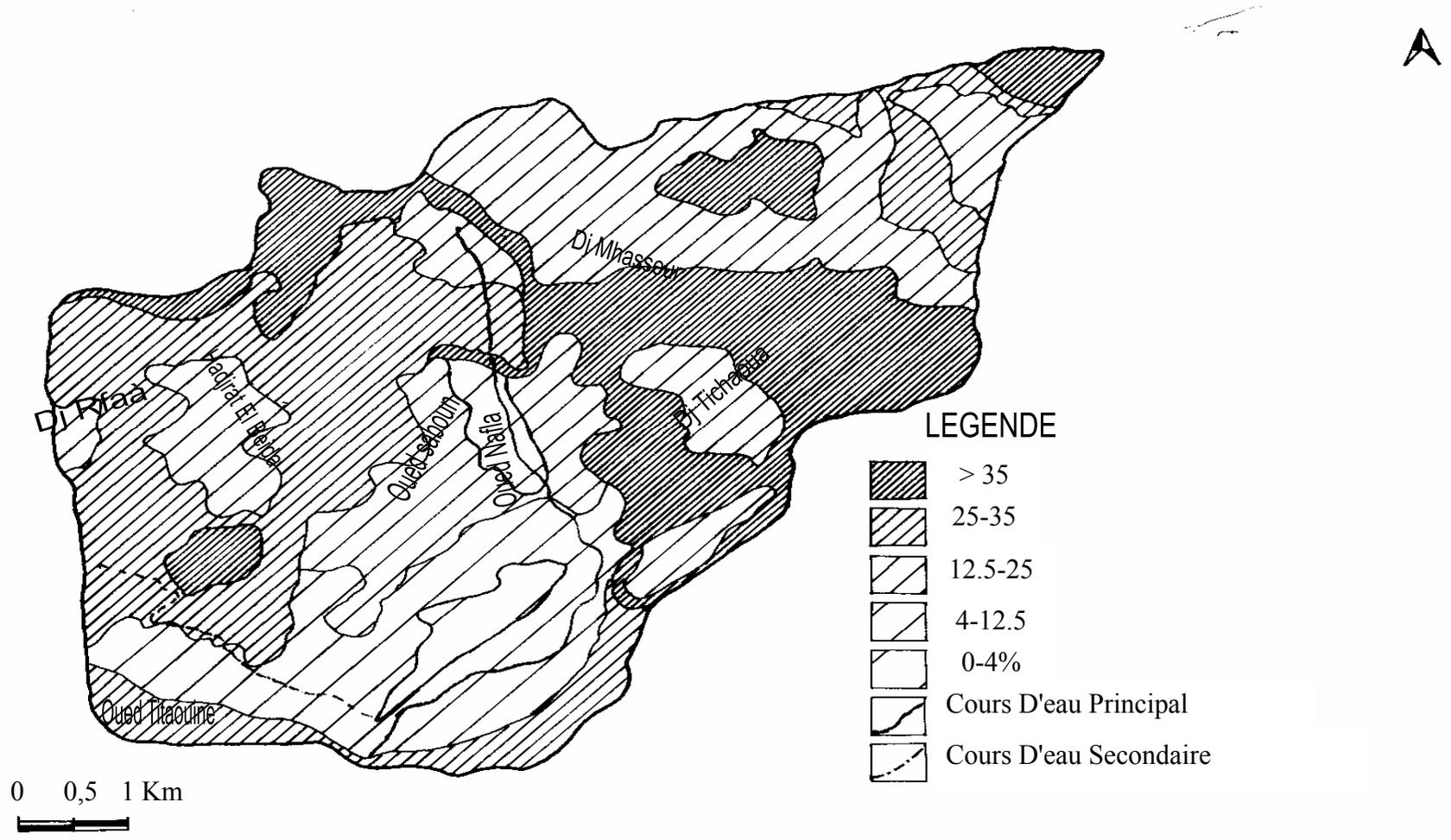
- Les classes : [12 - 25], [25 - 35], représentent plus de 55 % des pentes du bassin.
- Les fortes pentes apparaissent dans les zones des formations résistantes à prédominance calcaires, calcaires- marneux.

L'état des pentes est présenté dans le tableau ci-dessous :

**Tableau N° 2 : Bassin versant de Nafla : classe de pentes**

Tranche des pentes (%)	Surface en Km <sup>2</sup>	Surface en %
0 – 4	7,75	4,76
4 – 12,5	22,50	13,83
12,5 – 25	60,50	37,20
25 – 35	42,25	25,98
> 35	29,75	18,29

FIG N° (6) : BASSIN VERSANT DE NAFLA : CARTE DES PENTES



## **5. La perméabilité :**

On distingue cinq classes de terrains selon la perméabilité :

### **La classe 1** (terrains perméables) :

Ce sont les formations de synclinal et de piémonts : composées de graviers, d'éboulis, de conglomérat du Barrémiens, calcaire fissuré du Cénomaniens et de Autervien.

Ce sont des roches qui présentent des réservoirs potentiels d'eau.

Les formations sont à faible résistance.

### **La classe 2** : (terrains semi -perméables)

Caractérisés par l'alternance de calcaire et de marnes, ce sont les terrains du Turonien et de l'Aptien. Le ruissellement est très actif et le gel participe rigoureusement à la cryoclastie.

Ce Sont des formations plus au moins résistante.

### **La classe 3** : (Moyenne à faible perméabilité) :

Regroupe les formations suivantes :

Les grès marneux et les marnes de l'aptien, sont des formations a faible résistante.

### **La classe 4** : (terrains à faible perméabilité)

Ce sont les marnes qui représentent un domaine de ravinement actif.

### **La classe 5** : (terrains imperméables)

Ce sont les argiles, les argiles marneuses et les calcaires non fissurés, ce type de formations à faible résistance pour l'érosion.

## 6. Géologie :

L'essentiel de la zone étudiée est formé de roches sédimentaires du secondaire, du tertiaire, et du quaternaire. Le substratum géologique outre son importance comme matériel original (roche mère) joue un rôle déterminant dans le façonnement du relief.

- L'essentiel du matériel rocheux qui constitue le bassin est formé par un étagement qui va du Valangien au Quaternaire.
- Les formations géologiques sont le résultat d'une paléogénèse (paléotectonique, paléo-sédimentation).
- Les monts de Belezma se sont plissés à la suite de deux phases majeures,  
de compression subméridienne.
- la première se déroule de la fin de l'Eocène moyen au début de l'Eocène supérieur (phase alpine récente (D. Bureau, 1986).
- La seconde survient la fin du Pliocène (phase pyrénéenne).

Des manifestations tectoniques locales et d'intensité variable ont pu se produire pendant le Crétacé supérieur et le Danien, elles se traduisent au début du Sénonien par des mouvements de blocs de part et d'autre des grands accidents, ces mouvements accompagnés des plissements locaux importants.

- L'exhaussement lent des monts de Belezma est mis en évidence par le dépôt des sédiments littoraux soulignant une régression.
- Les phases pyrénéennes débutent par la surrection rapide et l'émersion du relief qui entraîne le comblement du bassin d'El Kantara par des conglomérats.
- Comblement suivi d'une tectogenèse intense.

La compression subméridienne et la contrainte maximale dirigée du nord vers le sud peut être un premier rapprochement du mole constantinois et des Aurès. Elles ont donné naissance à un bombement anticlinal d'orientation axiale pratiquement dentique coffré et à voûte faiblement ployée en synclinal, aux replis anticlinaux des : Dj Boughioul, Bouari et Refâa-Rached.

La phase Alpine récente annoncée par le changement de sédimentation du Pliocène inférieur, traduisant la surrection, s'est multipliée à la suite du serrage des monts de Belezma.

## 7. Comportement structural et litho stratigraphique :

Les structures des assises cénomano-turonniennes compétentes constituant le péri anticlinal Ouest des monts de Belezma s'expliquent par l'intercalation de la puissante série marneuse du Cénomaniens inférieur et moyen et le Crétacé inférieur essentiellement grésodolomitique.

- Les calcaires sont décalés par des failles à rejets verticaux.
- Les formations dolomitiques du Cénomaniens qui ont entraîné le décollement du Crétacé supérieur (Bellion, 1976).
- Le bassin est dominé par un réseau de failles (faille normale, décrochement, chevauchement, plissement de Dj Mhasseur, Dj Tissouresse, Dj Boughioul, Dj Refâa).

### 7.1. La stratigraphie :

#### 7.1.1. Le crétacé inférieur.

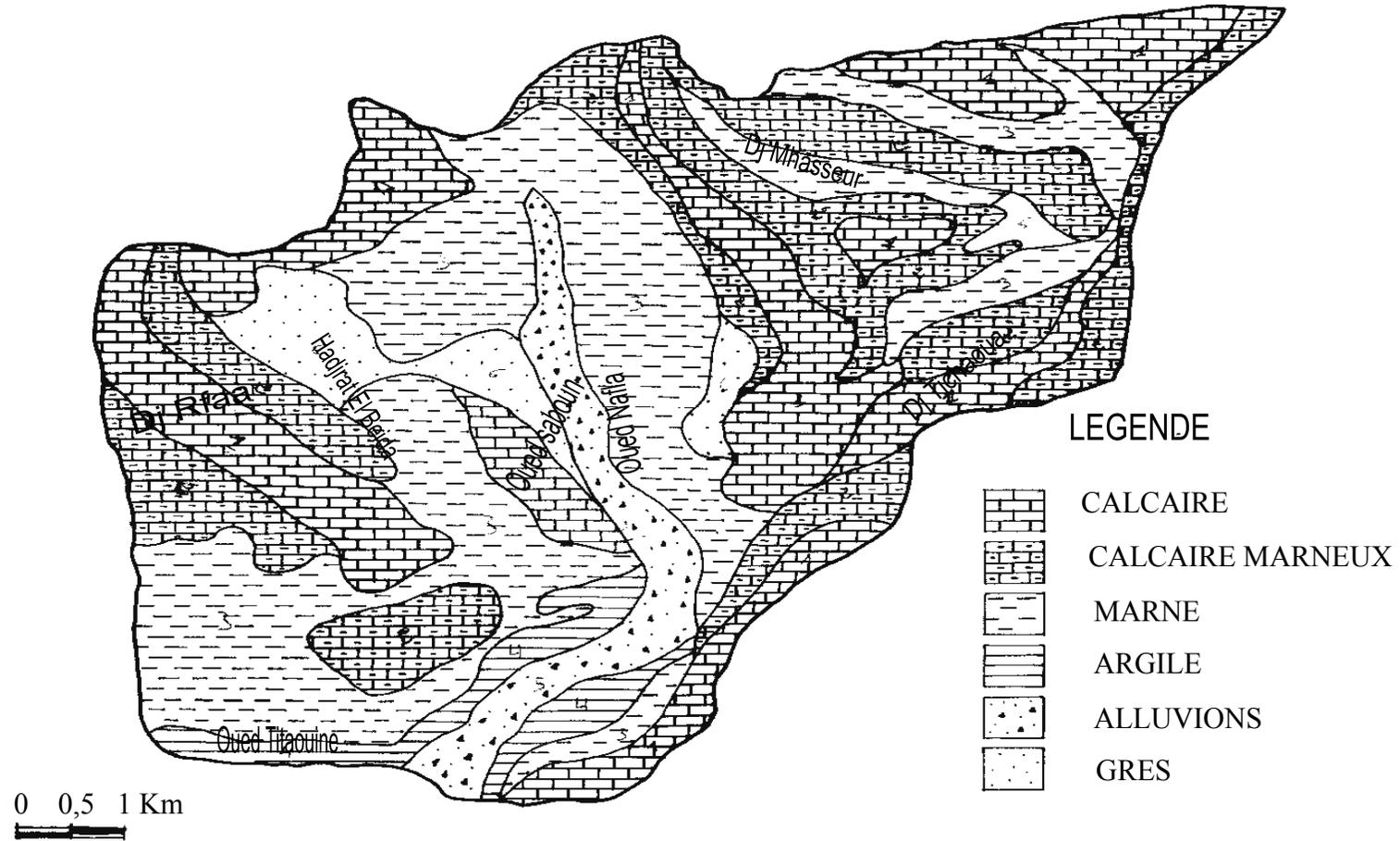
- **Le Valangien** : il peut atteindre 50 cm d'épaisseur est formé par des dolomies des calcaires dolomitiques en gros bancs, et de calcaires compacts rubéfiés (Dj. Mhasseur, Tissouresse, Bordjem).
- **L'Hutervien** : composé de calcaires marneux a gastéropodes et bivalves.
- **Le Barrémien** : s'étend sur de vastes superficies notamment sur Koudiat Tzouchent, Dj Tichaoua, il est surtout gréseux mais peut être formé aussi d'une série de marne et de calcaire.
- **L'Aptien** : très hétéromorphe, grès, marnes, calcaires. Cette formation s'étale sur les monts suivants : Dj Tichaou, Draa Tazalmat.

#### 7.1.2. Le Crétacé supérieur :

Il concerne de vastes superficies dans tout le bassin on distingue les sous étages suivants :

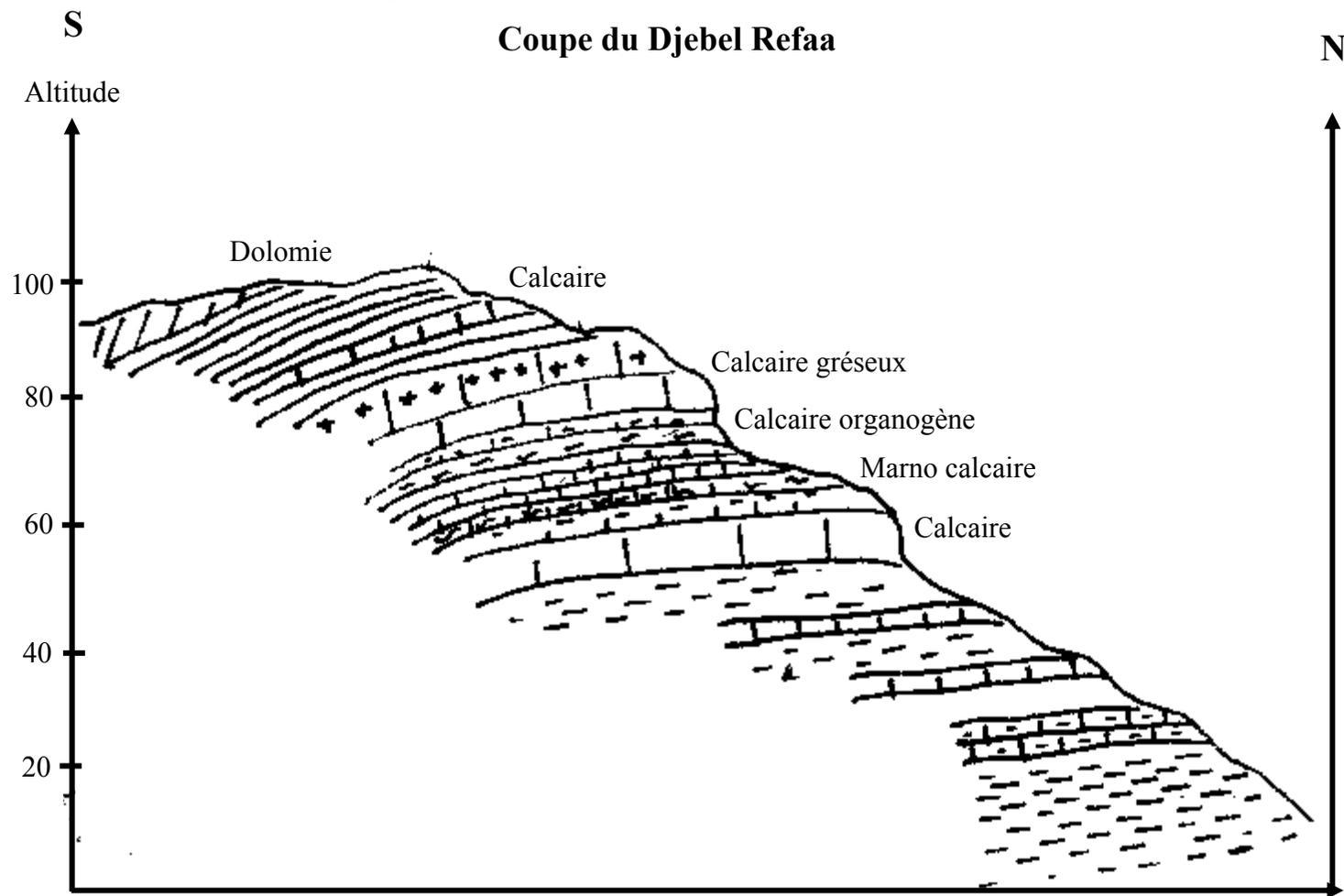
- **Cénomaniens** : constitué de marne et de calcaire.
- **Turonien** : regroupe les calcaires dolomitiques de : Refâa, Boughioul et El Hadjra El Beida.

**FIG N° (7) : Carte lithologique du bassin versant  
de oued Nafla**



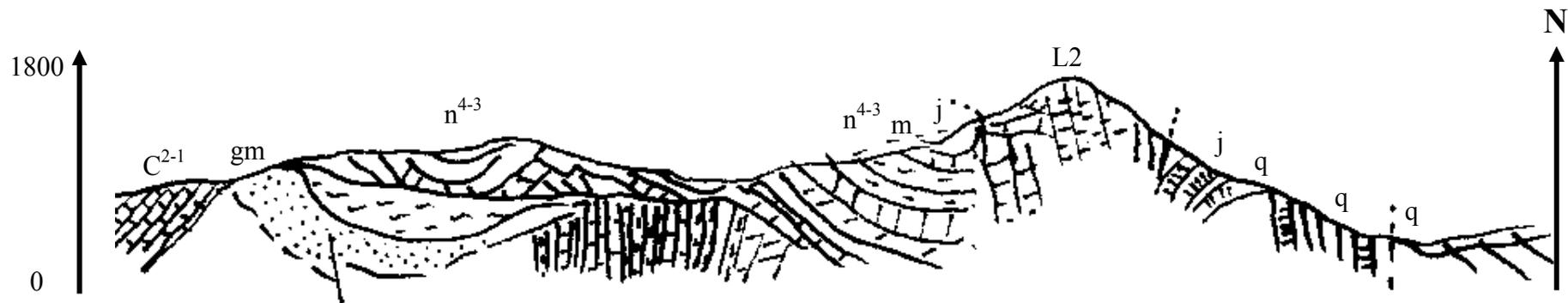
**Fig. (8) : Formation calcaire inférieur (C<sup>1c</sup>)**

**Coupe du Djebel Refaa**



Source : Billion (1982)

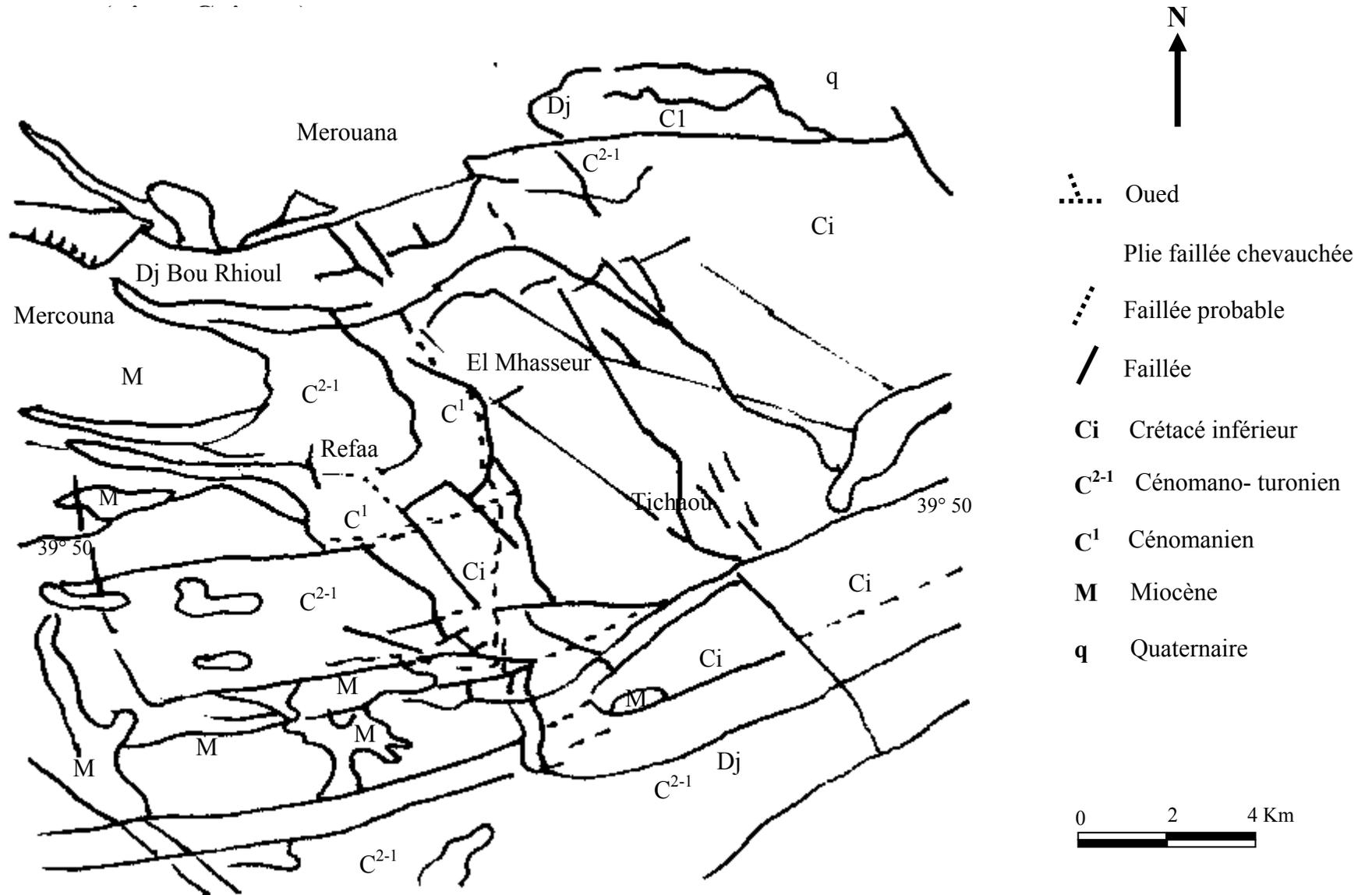
**Fig. (9) : Formation calcaire inférieur (C<sup>1c</sup>)**  
**Coupe géologique du Djebel Thuggurt**



q : quaternaire  
m : miocène  
C 2-1 : turonien  
n<sup>4-3</sup> : hautervien  
j : jurassique  
L2 : lias

Source : (D. Bureau1987)

**Fig. (10) : Comportement structural du crétacé supérieur sur le crétacé inférieur**



Source : Carte géologique 1/200.000

### 7.1.3. Tertiaire :

S'étend précisément sur les synclinaux suivants : synclinal de Merouna, Nafla, Tafrant. Les formations sont de nature détritique, gréseuse.

### 7.1.4. Quaternaire :

Composé de glaciaires, travertins, éboulis, terrasses; on le trouve dans le synclinal de Merouana, synclinal de Hidoussa, piedmont de Mhasseur, Refaa, Boughioul.

## 8. Le couvert végétal :

La couverture végétale est nettement variée, en particulier les forêts, qui viennent ajouter leur influence à celle de la nature géologique des terrains pour conditionner la rapidité du ruissellement superficiel, le taux de l'évaporation et la capacité de rétention du bassin.

- Dans notre terrain d'étude, la flore est répartie en fonction de l'altitude et de l'exposition, s'étalant surtout sur les versants dont la pluviométrie est importante.
- On distingue les ensembles (associations) végétaux suivants :

### 8.1. Cédretum :

Cette classe s'étale principalement sur les altitudes les plus élevées > 1600 m (Tichaoua, Bordjem, Refaa, Th<sup>et</sup> El Gontousse, sous deux formes :

1- Cèdre pure (forêt)

2- Cèdre-chêne vert (maquis), avec une superficie de 10000 ha, accompagnée des espèces suivantes : *Berberis hispanica*

*Viola odorata*

*Orchis elata*

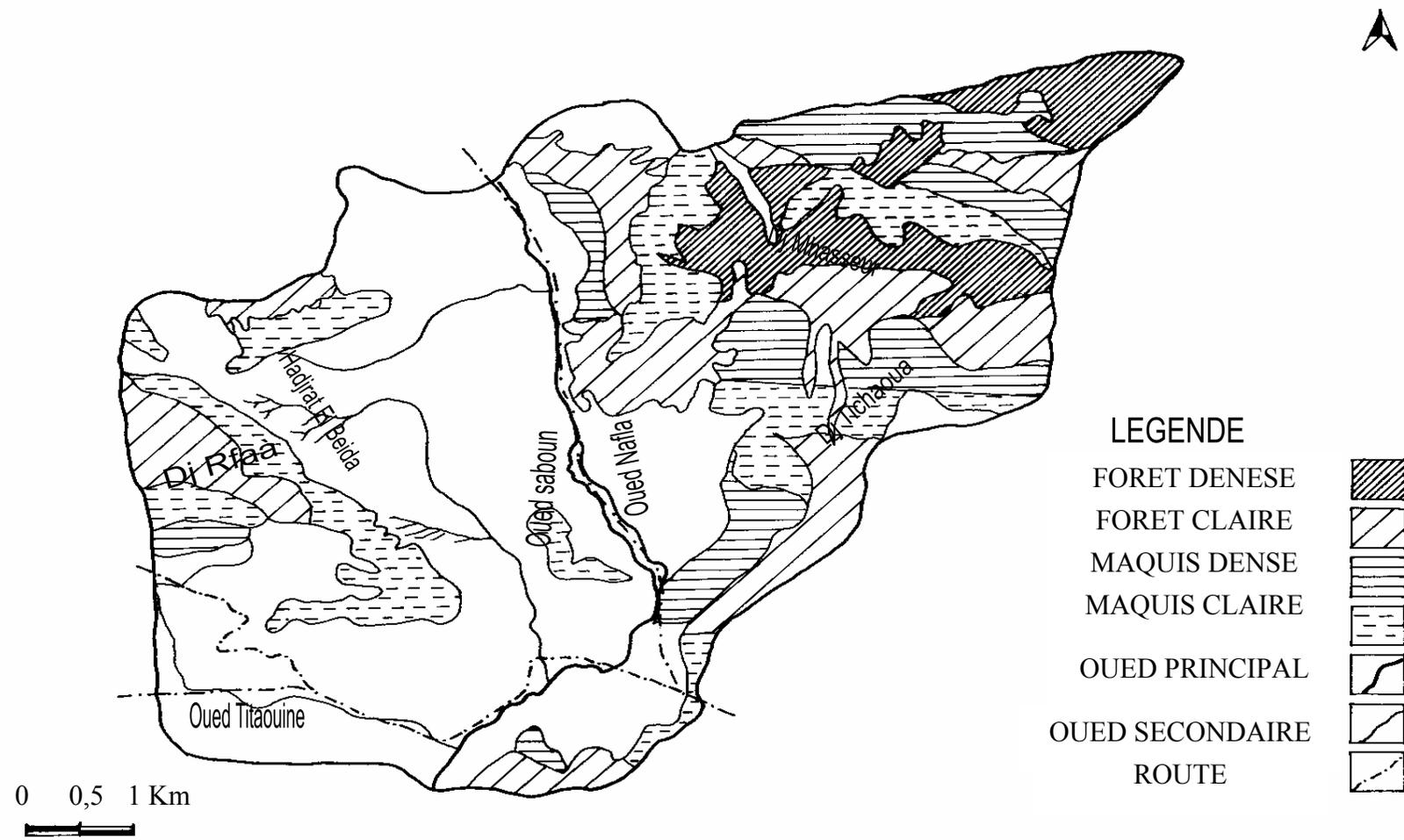
*Ampelodesma moritanica*

*Ilex aquifolium*.

*Génèpurus phoenicia*

Cette association repose sur un sol calcaire-gréseux ou calcaire-siliceux

FIG N° (11) : Bassin versant de oued Nafla : carte des formations végétales



## 8.2. Maquis et garigues :

Cette strate regroupe principalement le chêne vert, le genévrier, le frêne.

- Association chêne vert pur : s'étale sur les versants septentrionaux de Tichaoua.
- Association chêne vert – genévrier : s'étend sur les piémonts de Mhasseur Refaa, Tissouress, Tichaoua.
- Association chêne vert – frêne : domine les domaines des altitudes moyennes à exposition ubac
- - Association genévrier pur : présentée essentiellement à Th<sup>et</sup> El Arar Sud –Est du bassin de Nafla
- les garigues sont espacées, dispersées caractérisant les altitudes les plus basses avec une superficie de 8000 ha.Elles reposent sur un sol calcaire (brun calcaire, Renzine, sol Rouge).
- la classe des maquis est accompagnée des espèces floristiques suivantes :

*Ampelodesma mauritanica*

*Daucus carota*

*Rosmarinus officinalis*

*Itedera Helex*

*Juniperus oxycedrus*

*Orchis vulgata*

*Calycotum (spinosa)*

*Rumex acetosa*

*Jasminum frulicanus*

*Orchis elata*

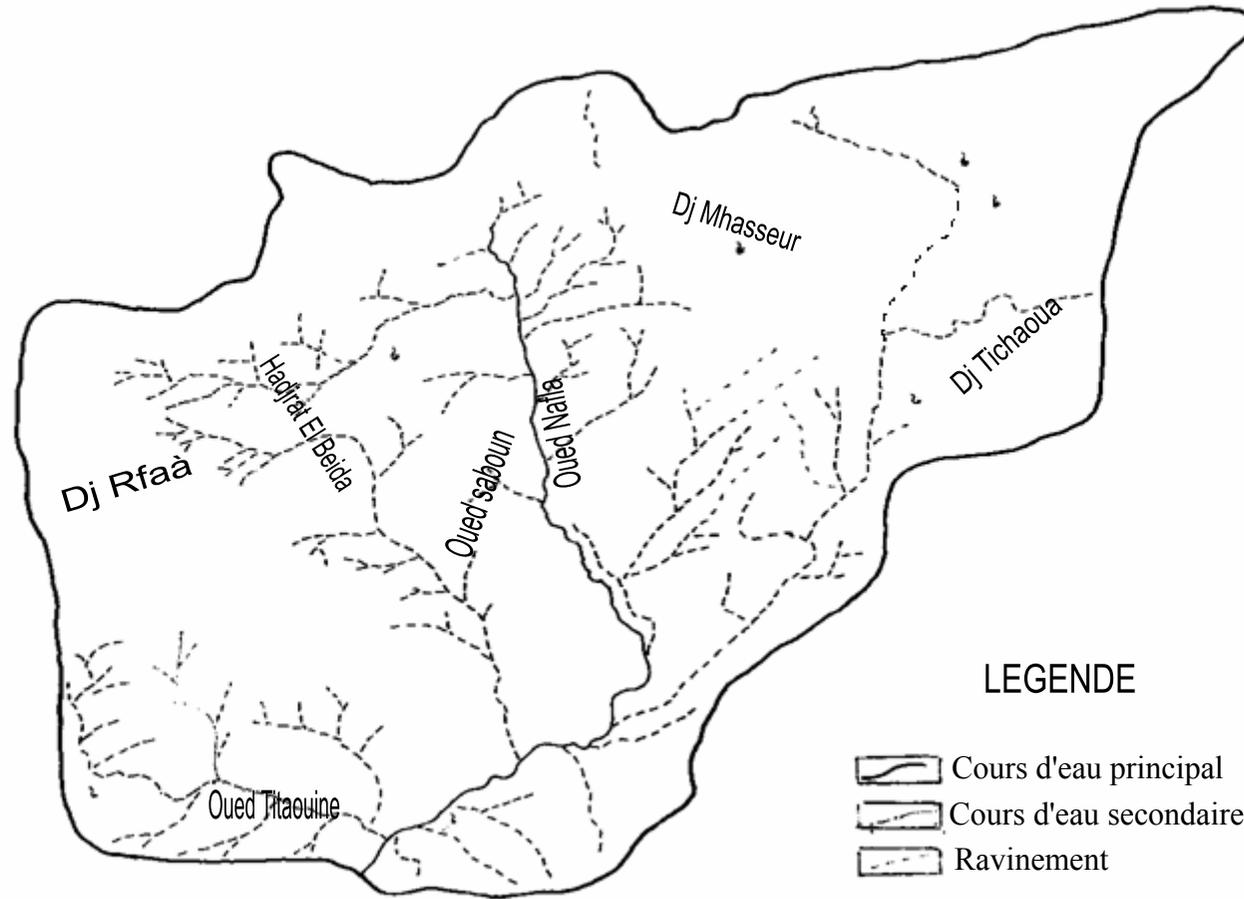
*Pistcia lentiscus*

## 9. Hydrographie :

La densité et le prolongement du réseau hydrographique dans le bassin sont très clairs.

- le cours d'eau principal est alimenté par deux affluents principaux (Titaouine, Saboune) avec un ravinement plus ou moins profond.
- le réseau hydrographique et son orientation sont le résultat conjugué de la structure et l'érosion linéaire.
- oued Nafla (cours d'eau principal) à débit faible mais permanent à cause de la présence d'un nombre de sources qui l'aliment et un enneigement important.

**FIG N° (12) CARTE DU RESAU HYDROGRAPHIQUE DU BASSIN VERSANT DE  
OUED NAFLA**



**LEGENDE**

-  Cours d'eau principal
-  Cours d'eau secondaire
-  Ravinement

0 0.5 1 km



Source : Carte topographique 1/50.000

**Conclusion :**

Nous pouvons dire comme résumé qu'il y a une grande complexité dans la structure géologique et une distinction claire dans l'alimentation en eau, la lithologie, et dans la répartition de la couverture végétale, ce qui présente un domaine où la dynamique prend un comportement distingué.

## 10. L'étude socio-économique :

### 10.1. Economie :

L'installation des habitants est très diversifiée, l'occupation des terres est fonction de l'opposition des versants et des zones biogéographiques

On peut distinguer les zones suivantes :

Une zone froide qui englobe le versant Nord et les parties élevées, au dessus de 1400m à 1700m ; c'est l'étage des Noyers, des pommiers et de parcours.

- Une zone centrée, occupe les altitudes moyennes, caractérisée par l'activité agro-pastorale ; Elle occupe plus de 70% des activités agricoles, c'est le domaine des céréales, des arbres fruitiers (pommier, abricotier).
- Le nombre d'agriculteurs à travers le périmètre du bassin arrive à 2150 agriculteurs, dont la moitié est concentrée dans la zone marginale.
- Les troupeaux sont composés de petits bétails dispersés, la partie ouest occupe un nombre très important de la richesse faunistique (plus de 60 %)

Les activités agro-pastorales sont représentées dans les tableaux suivants :

**Tableau N° 3 : Nombre d'agriculteurs par commune (1998)**

Communes	Hidoussa	Merouana	Oued Chaaba
Nombre d'agriculteurs	300	1678	350

(Source : RGH, 1998)

**Tableau N° 4 : L'élevage dans le bassin versant**

Communes	Hidoussa	Merouana	Oued chaaba
Bovins	862	1000	416
Ovines	3500	7520	6225
Chèvres	2000	540	3000

Source : direction d'agriculture (1998)

Récemment le bassin a connu la présence d'un nombre très important de poulailler, plus de 40 poulaillers implantés surtout le long des oueds.

- les carrières sont aussi un phénomène remarqué largement sur les versants de l'Est (Refâa, Hadjra El Beida).
- L'artisanat est dernièrement encouragé par les autorités.

En conclusion, le terrain est occupé par une population très importante dont les activités sont variées. L'ensemble de ces facteurs joue un rôle primordial dans l'aggravation de l'érosion.

## 10.2. Habitants et habitat :

### 10.2.1. Habitants :

D'après le dernier recensement de 1998, le nombre total des habitants du périmètre étudié a connue une évolution remarquable. Pour la population de Merouana, nous avons inscrit un taux de croissance de + 6,33 à cause du développement du niveau de vie et l'attraction des habitants des communes avoisinantes.

- pour les deux communes, Oued E'chaaba et Hidoussa, le nombre de la population enregistré pendant le dernier recensement a connu une régression sensible, sous l'effet des conditions sécuritaires. Mais dernièrement la population des altitudes moyennes est revenue s'installer massivement avec l'encouragement matériel et le renforcement des unités sécuritaires présentés par les autorités.

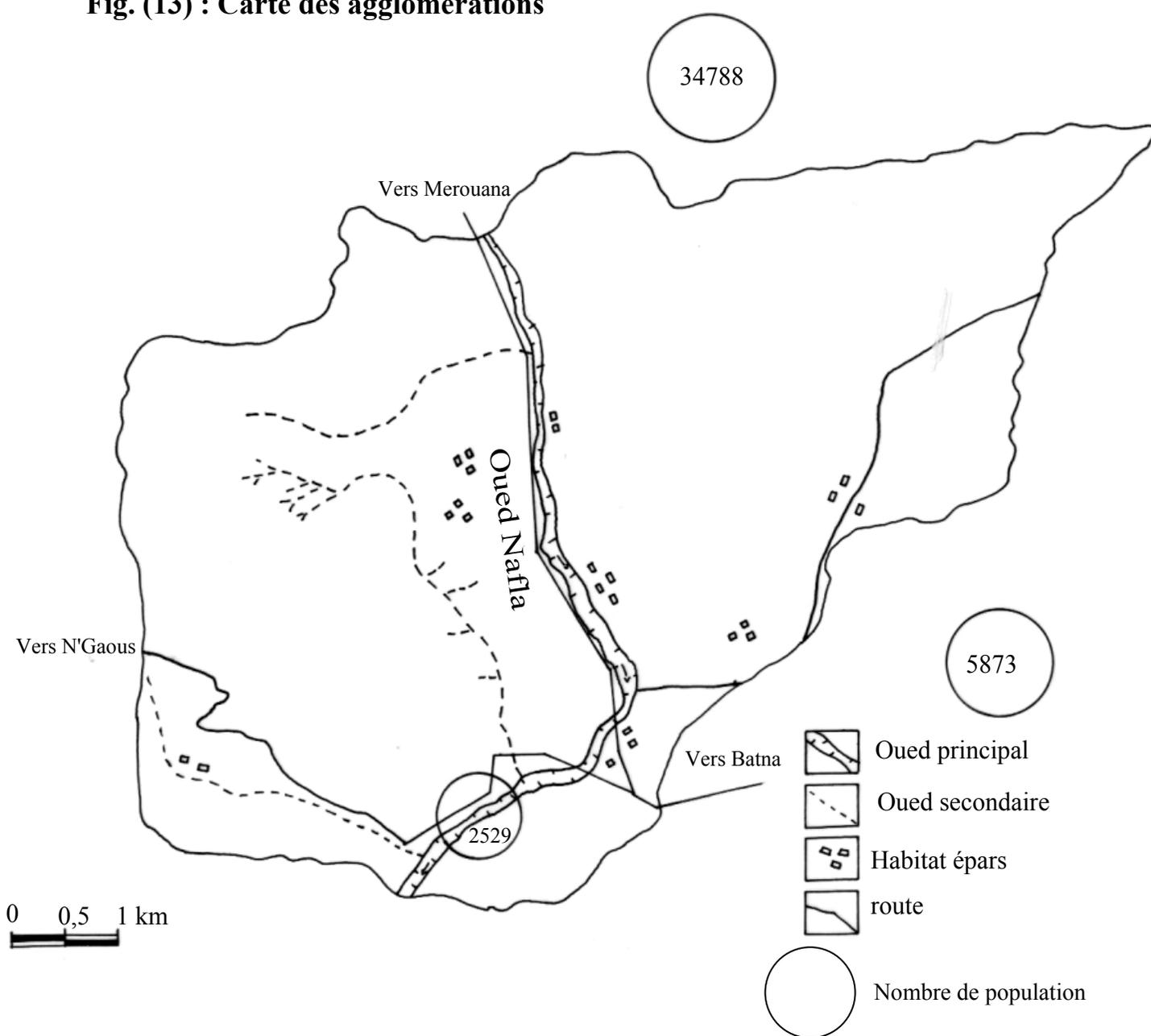
Le tableau N° 5 présente l'évolution des populations a travers le périmètre étudié.

**Tableau N° 5 : Total des populations du bassin versant**

Communes	Recensement 1986	Estimation 1994	Recensement 1998	Taux de croissance
Hidoussa	4227	3012	2529	- 4,19
Oued Chaaba	7227	5986	5873	- 2,5
Merouana	16090	33675	34788	+ 6,33
Somme	27544	42673	43190	

Source RGH (1998)

Fig. (13) : Carte des agglomérations



Source : ONS (2005)

**10.2.2. Habitat :**

Les lieux d'habitat sont concentrés dans les grandes villes comme Merouana, Oued Chaaba, où la texture urbaine bien organisée. La ville de Merouana occupe une partie de la plaine. La ville de Oued Chaaba est implantée sur un piémont allongé.

Les agglomérations secondaires, sont construites récemment représentant un domaine d'attraction actif.

Les zones éparses occupent les altitudes les plus élevées, les piémonts et le long des oueds sous forme de mechtas ou dispersée en petits hameaux.

La forme d'habitat se présente sous deux aspects fondamentaux :

- L'aspect moderne qui se manifeste largement dans les villes et les agglomérations secondaires, construit de matériaux variés (béton, brique, ferraille). les rues sont vastes, étendues ; cas de Merouana et Agrado.
- l'aspect traditionnel : représente les mechetats et les habitats des altitudes les plus élevées (surtout les plus dispersés). les habitats sont regroupées et intercalées. le matériel de construction comporte les pierres sèches, les argiles, les troncs des arbres (Arar, Chêne vert, cèdre).

**Tableau N° 6 : Agglomérations du bassin par commune**

Communes	Agglomérations secondaires	Agglomérations principales	Zones éparses
Oued Chaaba	294	878	2078
Hidoussa	444	270	1824
Merouana	2400	19376	/

Source : (RGH : 1986-1998).

### 10. 3. Le statut foncier :

Les terres dans le bassin sont réparties en trois catégories :

- les terres arches (propriétés arches) occupent un pourcentage de 30 % et se présentent essentiellement dans les plaines et sur les piémonts.
- les terres Melk : représentent environ 30 % des terre du bassin sont des propriétés privées, (les vergers, les fermes, ...).
- les terres domaniales représentent 40 % des terrains du bassin présentées sous forme de forêts.

### 10.4. Les incendies :

Les feux s'étalent dans le bassin étudié sur les altitudes les plus élevées où le taux de recouvrement végétal est important. Les riverains ne cessent de fréquenter ces zones en vue de ramasser les bois et pour le pâturage. Ce bassin fait partie du parc national de Bellezma qui regroupe lui-même cinq zones, nous pouvons les citées suivant leur importance écologique :

- Zone intégrale;
- Zone primitive;
- Zone à croissance faible;
- Zone tampon;
- Zone marginale.

Les zones les plus touchées par les feux Sont : la zone primitive et la zone à faible croissance ; plus de 10.000 ha dans cette dernière décennie.

### Conclusion :

Dernièrement, le bassin a connu une forte anthropisation, caractérisée par l'intensité des activités agricoles et l'exploitation du milieu qui, atteste des accidents néfastes, sur l'environnement ; surtout le surpâturage et les coupes de bois inscrites auprès des services des forêts sans oublier les effets des carrières qui favorisent l'action érosif.

## Chapitre II : Les caractéristiques morphométriques

### Introduction

Pour quantifier l'érosion il faut déterminer avec précision les caractéristiques du bassin pour mieux rattacher cette érosion à la forme du bassin et son comportement; les caractéristiques à étudier sont :

- Les caractéristiques de forme.
- Les caractéristiques de relief.
- Les caractéristiques hydrographiques.

### 1. Morphométrie

#### 1.1. La surface :

Déterminé à l'aide d'un planimètre, elle est égale à 161,5 Km<sup>2</sup>.

#### 1.2. Le périmètre :

Nous avons déterminé le périmètre en suivant le contour du bassin stylisé par un curvimètre :

$$P = 52 \text{ Km.}$$

#### 1.3. Indice de Gravius K<sub>c</sub> :

Est donné par la formule suivante :

$$K_c = \frac{P \cdot 0,28}{\sqrt{A}} \quad \rightarrow (1) \quad K_c = 1,14$$

Dans notre cas, sa valeur est de l'ordre de 1,14 , plus l'indice de compacité s'approche de 1 plus le bassin aura une forme ramassée et plus le temps de concentration des eaux sera court : le bassin présente une forme ramassée.

#### 1.4. Longueur du rectangle équivalent :

Est une notion introduite par M. ROCHE; il s'agit d'une transformation géométrique dans laquelle le contour du bassin devient un rectangle de même périmètre et de même surface et les courbes de niveaux des droites parallèles aux petits côtés du rectangle et l'exutoire un des petits côtés du rectangle.

$$L = \frac{K\sqrt{A}}{1,28} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,28}{Kc} \right)} \right] \rightarrow (2)$$

$$l = \frac{K\sqrt{A}}{1,28} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1,28}{Kc} \right)} \right] \rightarrow (3)$$

L : longueur du rectangle équivalent;

l : largeur de rectangle équivalent

**A.N :**

L = 14,96 Km

l = 10,72 Km

## 1.5. Caractéristiques hypsométriques

### 1.5.1. Le relief :

il représente en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains et le comportement abrasif de chaque tranche d'altitude. Le relief est caractérisé par la courbe hypsométrique; cette courbe est obtenue en portant :

En abscisses l'altitude considérée, en ordonnées la surface partielle du bassin versant pour laquelle chaque point a un coté au moins égale à cette altitude.

Les surfaces du bassin versant ont été mesurées par planimètre pour des tranches d'altitudes de 200 m sur le fond topographique au 1/50.000.

Les résultats sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau N° 7 : Répartition des différentes tranches d'altitudes

Tranches d'altitudes	Altitude moyenne	Surface partielle	Surface en %	Surface cumulée	ai x Hi
1000 – 1200	1100	2,5	2,50	2,50	2750,00
1200 – 1400	1300	14,00	8,60	16,50	18200,00
1400 – 1600	1500	69,625	42,81	86,00	104437,50
1600 – 1800	1700	49,50	30,43	135,50	8450,00
1800 – 2000	1900	27,00	16,60	162,50	51300,00
					$\sum Si Hi = 260837,5$

Le graphe de la courbe hypsométrique permet de déterminer les valeurs suivantes :

### 1.5.2. Altitude moyenne ( $\bar{H}$ ) :

C'est le rapport de la somme de la surface élémentaire par l'altitude moyenne correspondante sur la surface totale du bassin versant.

$$\bar{H} = \sum \frac{H_i a_i}{A} \rightarrow (4)$$

Hi : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau (m)

ai = surface élémentaire comprise entre deux courbe de niveau (Km2)

A : surface du bassin versant (Km2)

A partir de la courbe :

$$\bar{H} = 1606,5$$

Les altitudes suivantes sont tirées de la courbe hypsométrique.

$$H5\% = 1960 \text{ m}$$

$$H50\% = 1600 \text{ m}$$

$$H96\% = 1220$$

### 1.5.3. La dénivelée simple "D" :

Est donnée par formule suivante :

$$D = H5\% - H95\% \rightarrow D = 460 \text{ m} \rightarrow (5)$$

## 1.6. Les pentes :

La pente ne cesse à se présente comme facteur capital qui favorise l'érosion; et pour ce but on détermine les indices suivants :

### 1.6.1. Indice de pente globale

C'est le rapport de dénivelée entre l'altitude dépassée par 5 % de la superficie du bassin et celle dépassée par 95 % de superficie, a la longueur du rectangle équivalent.

$$I_g = \frac{D}{L} \quad \rightarrow (6)$$

D : étant la dénivelée simple.

L : longueur du rectangle équivalent

Cet indice présente la relation entre l'altitude et le rectangle équivalent

### 1.6.2. Indices de pente de ROCHE

L'indice de pente se détermine à partir de la connaissance de la répartition hypsométrique sur le bassin. Il détermine la pente en deux courbes de niveaux. L'IPR est calculé par la formule suivante :

$$IPR = \sqrt{\frac{I_g}{0,8}} = \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{a_i d_i}{\pi}} \times \frac{1}{\sqrt{L}} \quad \rightarrow (7)$$

$$IPR = \sqrt{\frac{49,46 \times 10^{-3}}{0,8}} \cong 0,24$$

Cette valeur représente une répartition importante des pentes accidentées.

### 1.6.3. La dénivelée spécifique " Ds "

Ce paramètre dépend principalement de la surface pour corriger le  $I_g$ .

$$\text{Donc : } D_s = I_g \sqrt{A} \quad \rightarrow (8)$$

$$\text{A.N : } D_s = 49,46 \sqrt{161,5} \quad \rightarrow \quad D_s = 630,49 \text{ m}$$

En conclusion, la détermination de la dénivelée spécifique du bassin étudié est supérieure à 500 ce qui nous permet de dire que le relief du bassin versant de Nafla est très fort.

D'après la classification de l'ORSTOM; on peut dire que le bassin étudié présente un caractère montagneux caractérisé par des reliefs accidentés.

## 1.7. Les caractéristiques du réseau hydrographique :

### 1.7.1. Classification des talwegs :

La classification la plus utilisée et celle de SCHAUM, chaque tronçon de la rivière formé par la réunion de deux cours d'eau d'ordre (x) reçoit l'ordre " x + 1 ".

Par exemple : deux torrents d'ordre (1) en se rencontrant, donnent un cours d'eau d'ordre (2).

### 1.7.2. Densité de drainage (Dd)

La densité de drainage d'un bassin versant est définie comme étant la longueur totale des cours d'eau de toute ordre sur la surface drainée.

$$D_d = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{A} \quad , \quad D_d = 0.89 (Km / Km^2) \quad \rightarrow (9) \quad \text{où :}$$

$L_i$  : longueur des talwegs, en Km

A : Surface du bassin versant en Km<sup>2</sup>.

$$\text{Donc : } F_i = \frac{N_i}{A} \quad \rightarrow (10)$$

$N_i$  : Nombre de talwegs d'ordre 1.

A : Surface du bassin versant.

$$F_i = \frac{67}{162,5} \quad F_i = 0,41$$

On peut remarquer que la valeur calculée représente un écoulement faible dans les talwegs d'ordre 1

**1.7.3. Coefficient de torrentialité (Ct):**

Présente une idée sur la densité des drains d'ordre 1.

Donc le coefficient de torrentialité prend en considération la densité de drainage et de la densité des talwegs élémentaires (ordre 1).

Le coefficient de torrentialité peut être déterminé par la formule suivante :

$$Ct = F_i \times D_d \quad \rightarrow (11) \quad \text{d'où} \quad F_i = N_i/A$$

$$Ct = 0,89 \times 0,41 = 0,12 ;$$

Ce coefficient représente un écoulement important par apport à la surface du bassin

**1.7.4. Temps de concentration**

Le temps de concentration est définie comme étant la durée que met une goutte d'eau qui tombe à un point élevé du bassin versant, pour atteindre l'exutoire, il est exprimé par la formule de GIANDOTTI

**1.7.5. Formule de GIANDOTTI :**

$$T_c = \frac{4 \sqrt{A} + 1,5 L_p}{0,8 \sqrt{H_{\text{moy}} - H_{\text{min}}}} \quad \rightarrow (12)$$

A : Superficie du bassin versant.

L<sub>p</sub> : longueur du talweg principale.

H<sub>moy</sub> : Altitude moyen du bassin

H<sub>min</sub> : Altitude minimale du bassin.

Donc :

$$T_c = \frac{4\sqrt{162,5} + 1,5 \times 8}{0,8\sqrt{1606,5 - 1100}} = 3,64 \text{ heures}$$

La détermination du temps de concentration nous a permis de mieux connaître l'importance de la réponse hydrologique du bassin; Le temps de concentration présenté par le bassin est très court il est en relation avec la forme ramassé.

#### 1.7.6. Vitesse de l'écoulement de l'eau ( $V_e$ )

Elle est donnée par l'expression suivante :

$$V_e = \frac{L}{T_c} \quad \rightarrow (13) \quad \text{Avec :}$$

$V_e$  : Vitesse d'écoulement de l'eau.

$L$  : longueur de talwegs principale en mm.

$T_c$  : temps de concentration en seconds.

En remplaçant chaque terme par sa valeur on trouve :

$$V_e = \frac{8000}{13104} = 0,61 \text{ m/s}$$

#### Conclusion :

La réponse hydrologique peut être le résultat de l'interaction de plusieurs facteurs

-la pente favorise le ruissellement et le déclenchement des phénomènes érosifs. L'hypsométrie joue un rôle très important dans l'érosion; lorsque l'altitude augmente la pluie s'élève d'une façon générale en fonction de l'exposition, ce qui donne à notre bassin une pluviosité et un écoulement importants. Ainsi la forme du bassin aide à la réponse rapide de l'écoulement .

## Chapitre III : Etude climatologique

### Introduction

L'étude climatologique est basée sur les données des précipitations et des températures. Elle nous permet de définir le bilan hydrique en se basant sur l'étude de l'évaporation et le ruissellement, par conséquent elle permet de déterminer le taux d'infiltration.

L'estimation quantitative du taux d'abrasion, passe obligatoirement par la détermination exacte de chaque information climatique.

### 1. Equipement du bassin

Le bassin versant étudié est équipé de deux stations pluviométriques et deux autres sont situées au voisinage de ce bassin; en l'occurrence, la station de Batna et la station de N'Gaous.

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques des stations pluviométriques utilisées dans cette étude

**Tableau N° 8** : Caractéristiques des stations pluviométriques du bassin étudié

Nom de la station	Code	Coordonnées		Altitude (m)
		X (m)	Y (m)	
Batna	07.03.15	814,20	257,35	1040
Merouana	07.03.16	790	263	1000
Hamla	07.03.03	830	253	1080
N'Gaous	06.03.18	740	255,5	730

## 2. Etude des paramètres climatologiques

### 2.1. Les vents

Les vents dominants dans la région sont ceux du Sud-Ouest, tandis qu'en été le siroco est très fréquent, grâce à son pouvoir desséchant, les vents du Nord-Est sont sec et froids, les vents chauds du Sud apparaissent au printemps en liaison avec le passage des perturbations en méditerranée

- A Merouana, les vents dominants sont de direction variable, ils viennent généralement du Nord-Nord Ouest, en hiver, et du Sud-Ouest en été, quelques fois de l'Est.
- A la station de Merouana, la vitesse moyenne mensuelle du vent varie entre 3,14 m/s en Octobre, et 5,18 m/s en Juins.

**Tableau N° 9** : Vitesse moyenne mensuelle des vents

Mois Station													Année	
	J	F	M	A	M	J	J	O	S	O	N	D		
Batna	V m/s	3,77	3,19	3,79	4,22	3,91	3,71	3,7	3,62	3,26	3,26	3,34	3,75	3,68
Merouana	V m/s	3,16	4,0	4,56	4,9	4,2	5,18	4,64	4,58	3,9	3,14	3,42	3,32	4,08

*Remarque* : Les vents pour la station de Batna (1972 – 2000)

Les vents pour la station de Merouana (1996 – 2000).

### 2.2. Humidité relative :

Elle exprime le rapport en pourcentage de la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air (Pa) a la pression de vapeur saturante (Pr) dans les mêmes conditions de mesure de température lue au thermomètre sec et de pression.

L'évaluation moyen mensuel de l'humidité calculée a la station de Batna et celle de Merouana, et mentionnée dans le tableau ci-dessous :

**Tableau N° 10** : Moyenne mensuelle de l'humidité : Stations (Batna, Merouana)

Mois		J	F	M	A	M	J	J	O	S	O	N	D	moyenne
Batna	Humidité %	73,9	67,2	63,8	62,4	56,7	48,8	40,0	43,6	55,2	62,0	68,9	74,3	59,77
Merouana	Humidité %	75	70	65	59	55	46	39	43	55	64	67	74	59,33

Source (ONM)

*Remarque* : L'humidité pour la station de Batna (1972 – 2000)

L'humidité pour la station de Merouana (1996 – 2000).

D'après les résultats obtenus, on constate, à la station de Batna, que l'humidité est plus élevée en hiver qu'en été, celle-ci est due à la température qui est plus élevée en été qu'en hiver, les mêmes observations peuvent être faites à la station de Merouana.

L'humidité relative moyenne mensuelle varie entre 39 % en juillet et 75 % en janvier, l'altitude et l'exposition sont les facteurs principaux dans l'abondance ou pas de l'humidité en ajoutant le rôle du vent

### 2.3. Correction des données pluviométriques

Nous avons utilisé les données de l'ANRH (Alger, Constantine) qui représente une source officielle en utilisant la méthode de double cumulé pour correction des données (correction des erreurs probables).

#### 2.3.1. Méthode de double cumule

Nous avons adopté la méthode du double cumule, elle permet de détecter l'hétérogénéité probable d'une série de mesures et de la corriger.

La méthode consiste à comparer les pluies cumulés d'une station A à propos de laquelle on éprouve des doutes quant à son homogénéité avec les pluies cumulées d'une station B dont les mesures sont jugées homogènes.

L'application de cette méthode sur les données de la station de Merouana ,Hamla et N'gous permet de remarquer les points suivants en se basant sur la station de Batna comme référence.

- Pour la station de Merouana, on voit sur le graphique que les points s'alignent sur trois segments de droites différents.
- Pour la station de Hamla, les données de la pluviométrie sont représentées sur la figure (annexe 1) présentant deux segments, il y a une cassure au cours de l'année de 1974.
- Pour la station de N'Gaous, les données de la station ne présentent aucune cassure ce qui donne a la série une sorte d'homogénéité.

Les résultats de correction par la méthode de double cumulé sont représentés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau N° 11** : coefficients de corrélation du chaque station :

Station	Coefficient de corrélation	Année de cassure
Merouana	R1 = 0.80, R2 = 0.85	1976
	R3 = 0,87, R4 = 0,77	1982
Hamla	R1 = 0,85, R3 = 0,95 R2 = 0,89	1974

### 2.3.2. Méthode d'extensions des données

Extension des données manquantes par la méthode de régression linéaire; le but de cette méthode consiste a estimer les variables pluviométriques inconnues de certaines stations à partir des observations d'autres stations avoisinantes prisent comme référence.

L'exposé de cette méthode est comme suit :

$$y_x = \bar{y} + r \frac{\delta y}{\delta x} (x - \bar{x})$$

$y_x$  : Moyenne conditionnelle des précipitations (la station qui présente beaucoup de lacunes).

$\bar{y}$  : Moyenne interannuelle des précipitation a la station a combler pendant la période d'observation commune.

$\bar{x}$  : Moyenne interannuelle des précipitation à la station de référence (Batna).

$\delta_x$  : Ecart type des observations à la station d'ont la série chronologique présente des lacunes.

$\delta_y$  : Ecart type des observations à la station de référence.

$r$  : le coefficient de corrélation entre  $x$  et  $y$ , étant donné par la formule suivante :

$$r = \frac{\sum x y}{\sqrt{\sum x^2 \times \sum y^2}} \rightarrow (1)$$

Les résultats obtenus par l'utilisation de la méthode de la régression linéaire sont présentés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau N° 12 : Caractéristique de la régression linéaire**

Station	Coefficient de corrélation (r)	Equation obtenue
Merouana	0,88	$y_y = 0,69x + 38$
Hamla	0,95	$y_x = 0,75x + 83$
N'Gaous	0.90	$y_x = 0,87x + 48,87$

### 2.3.3. Précipitations annuelles

La variation interannuelle de précipitation pour la période de 1969-2000 est représentée sur le graphique (fig. ) et dans le tableau :

#### - Station de Merouana :

La hauteur annuelle des précipitations pour la période considérée varie de 207,2 mm en 2000 à 785 mm en 1985 tandis que le module pluviométrique interannuel est égale à 460,23 mm.

En générale, les années humides (écarts à la normal en est supérieur à 0 et les années sèches en inférieur à 0 se suivent irrégulièrement.

On remarque 17 ans humides et 15 ans sec.

- **Station de Hamla :**

Pendant les années d'observations, les maximums de la pluviosité ont été observés en 1997 avec 489,6mm et le minimum 155,3 mm en 1995

- **Station de N'Gaous :**

- La valeur maximale des précipitations annuelles est observée pendant l'année 1976 avec 587,3 mm.
- La valeur minimale annuelle est remarquée en 1979 avec 99 mm.
- Le nombre d'années humides est égal à 10 ans.
- Le coefficient de variation présente une valeur importante de 0,80.

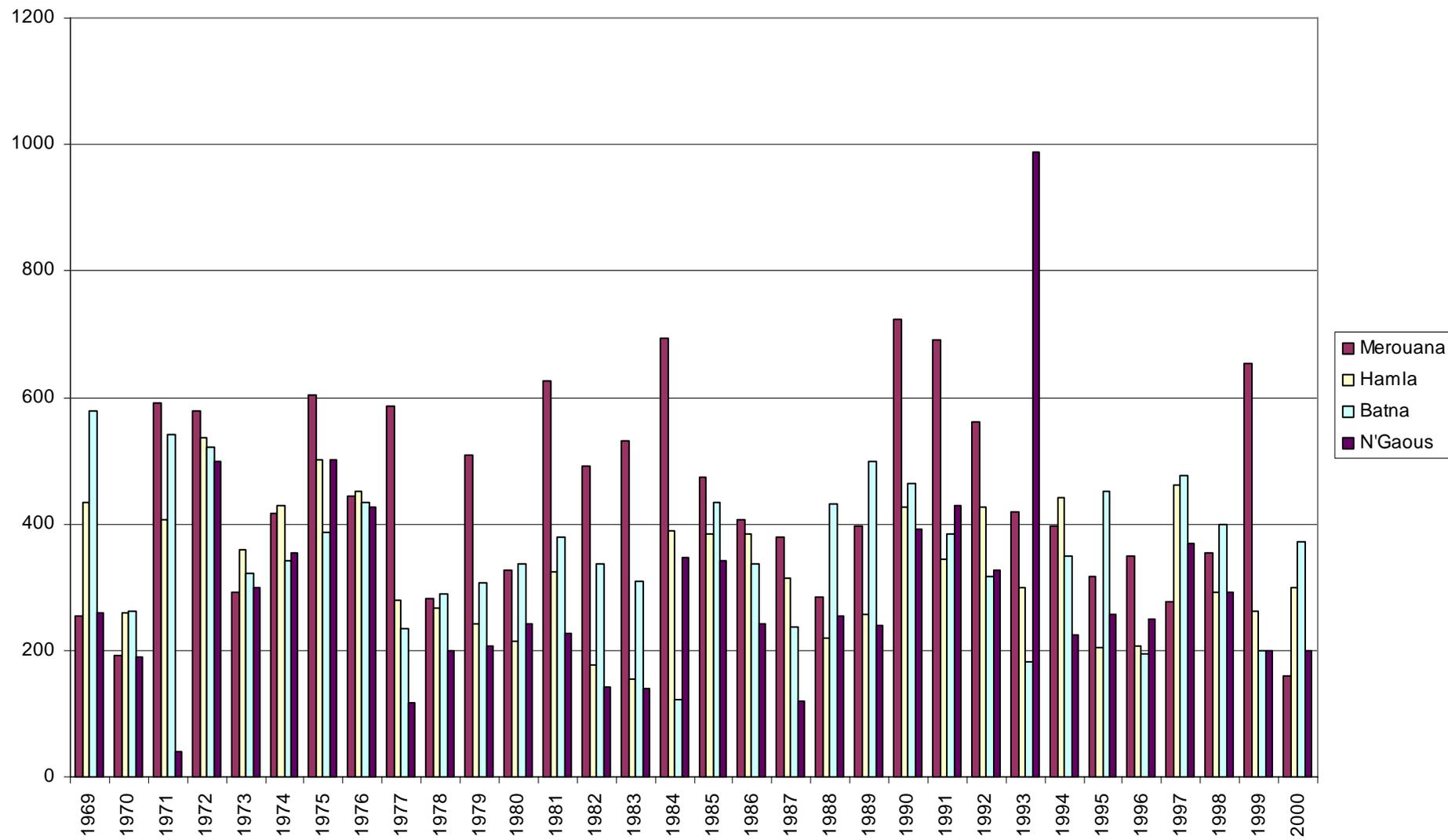
- **Station de Batna :**

La hauteur annuelle des précipitations par la station considérée varie entre 122,50 et 579 mm ; Le caractère général de la pluviosité annuelle et son irrégularité.

**Tableau° 13** : Répartition annuelle des précipitations (1969-2000)

Année	Merouana	Hamla	Batna	N'Gaous
1969	254,6	433,4	579,00	258,3
1970	193,1	259,3	261,80	188,5
1971	591,1	406,2	540,50	40,3
1972	579,8	537,0	522,10	500,0
1973	291,6	358,5	321,30	300,3
1974	417,8	429,0	341,00	355,3
1975	604,45	501,9	385,70	500,3
1976	444,29	452,0	434,50	426,3
1977	585,2	280,0	234	118
1978	281,7	268,1	290	198,99
1979	509,21	241,5	306,30	207,8
1980	327,40	214,7	337,30	242,7
1981	625,2	325,1	378,40	227,2
1982	490,3	176,8	336,70	143,3
1983	530,9	155,3	308,30	140,7
1984	693,9	389,0	122,50	345,80
1985	472,93	384,5	435,10	341,4
1986	406,86	384,5	337,80	243,16
1987	378,6	313,5	237,70	120,5
1988	284,20	218,5	432,10	254,6
1989	397,74	256,2	499,20	238,8
1990	724	425,9	464,50	392,4
1991	690	343,7	383,50	429
1992	561	425,9	317,70	326,42
1993	419	300,4	182	989
1994	397	440,37	349,50	224,5
1995	316,62	203,7	451	256,8
1996	350	205,83	193,70	250,3
1997	277,5	460,66	475,90	370,03
1998	354	291,87	398,76	293
1999	654	261,22	200	200,7
2000	159	299,61	371	200
Moyenne	460,2	337,87	371	264,73

**Fig. (14) : Moyennes des précipitations (1969 – 2000)**



### 2.3.4. Répartition mensuelle des précipitations :

Pour toutes les stations pluviométriques, la pluviosité mensuelle est nettement variable, et n'offre pas des courbes régulièrement croissantes, de ce fait, les mois où la pluviosité est inférieure à la moyenne mensuelle de l'année ne sont pas consécutifs comme le montre la (figure 15) Et les tableaux ( 13, 14 ) .

### 2.3.5. Analyse des données pluviométriques (mensuelles) station par station :

- La valeur maximale de précipitation est observée au mois de janvier avec 35.31 mm et une valeur minimale de 7.5 mm en Août
- le minimum est égale a 6.26mm
- La variabilité des pluies  $c_v$  comprise entre 0.71 et 1.41.

#### Station de N'GAOUS :

Au mois de septembre on observe le maximum des précipitations 28.5 mm, et au mois de août le minimum 6.26mm

#### Station de HAMPLA :

La valeur maximal s'observe au mois de janvier avec 35 mm et 9.5 mm comme valeur minimale au mois de juillet.

- Le coefficient de variation est égale 0.71 comme moyenne.

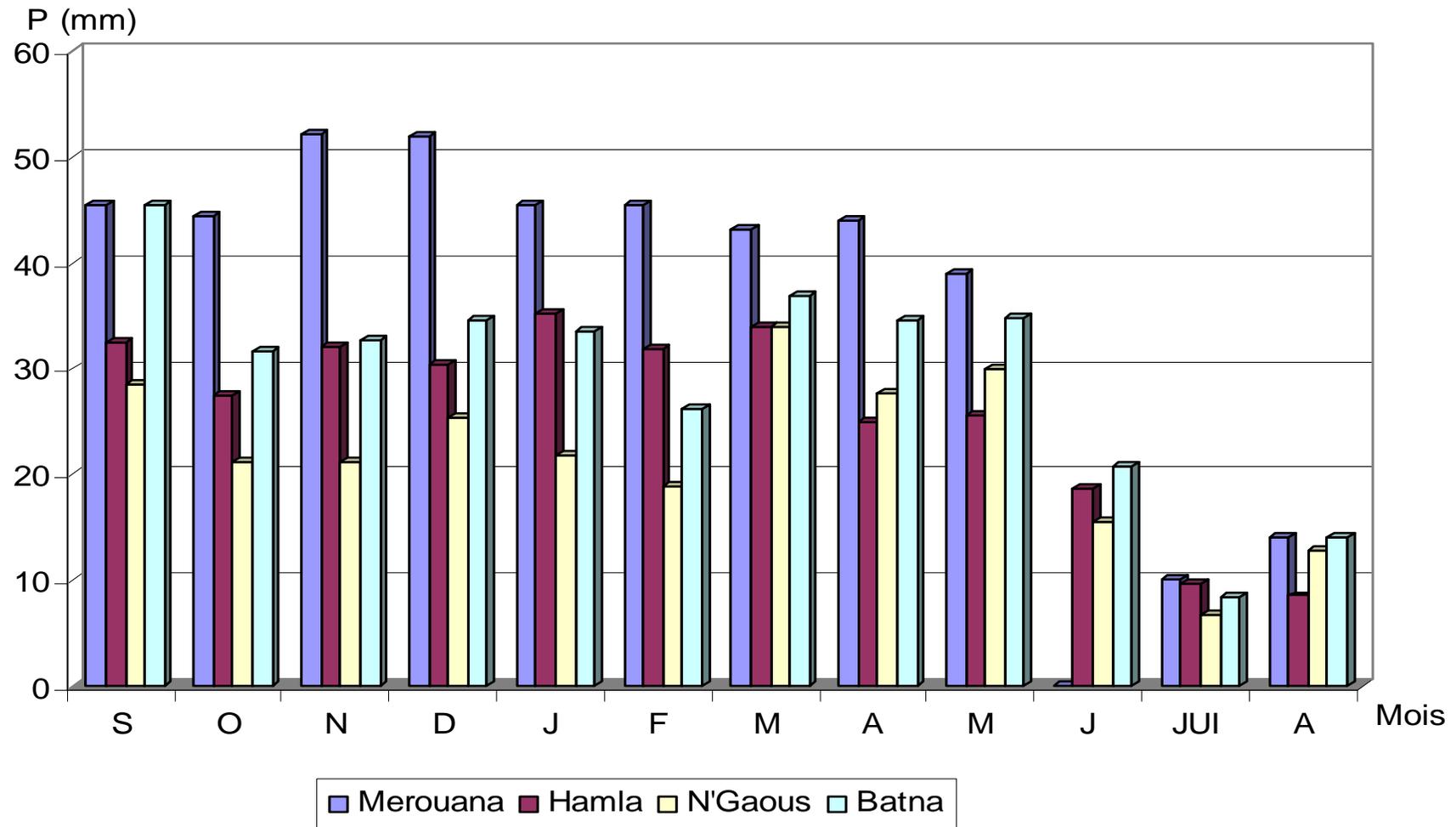
#### Station de BATNA :

On constate que la valeur maximale est observée au mois de septembre avec 45.2 mm et une valeur de coefficient de variabilité comprise entre 0.31 et 0.60.

**Tableau N° (14) :** Modules pluviométriques mensuelles et annuelles (1969-2000)

Mois station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JUI	A	module annuel	module mensuel
Merouana	45.44	44.5	52.32	52.06	45.5	45.43	43.2	44.0	39.0	24.76	10.04	13.99	460	38.35
Hamla	32.5	27.5	32	30.40	35.31	31.86	34	25	25.5	18.6	9.75	8.5	313.87	26.15
N'Gaous	28.6	21.21	21.24	25.31	21.73	18.8	34	27.69	30	15.6	6.62	12.80	264.73	22.6
Batna	45.45	31.63	32.68	34.64	33.63	26.23	36.94	34.52	34.80	20.70	8.41	14.00	371	29.32

**Fig. (15) : Moyennes des précipitations mensuelles (1969-2000)**



### 2.3.6. Répartition saisonnière des précipitations :

L'étude des précipitations saisonnières s'effectue de la manière suivante :

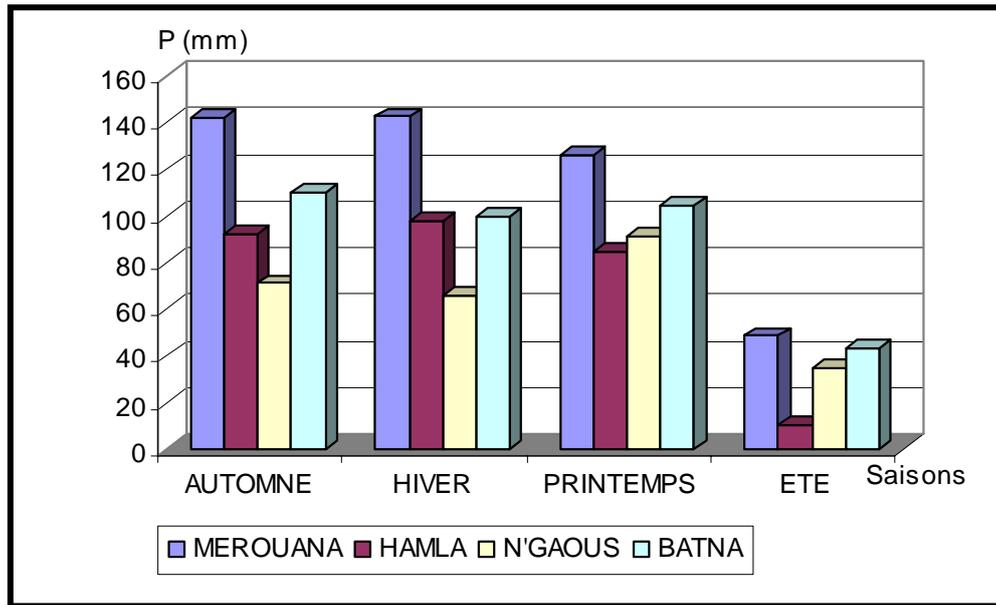
- Distribution de la lame d'eau précipitée durant une année et selon quatre saisons.
- Les données présentées dans le tableau N° : 15, montrent que:

La saison la plus humide est l'hiver pour les stations (MERAOUNA, HAMLAM), à l'automne pour la station de BATNA et le printemps pour la station de NGAOUS.

- La saison la plus sèche est l'été pour l'ensemble des stations.
- La répartition saisonnière des précipitations se présente comme suit :
- Hiver : avec 30.95% des précipitations annuelles pour la station de MEROUANA et 31.09% pour celle de HAMLAM.
- Automne : avec 31.19% des précipitations annuelles pour la station de Batna.
- Printemps : avec 34.63% des précipitation pour la station de NGAOUS.

**Tableau N° 15 : Répartition saisonnière des précipitations (1969-2000)**

Station	pluviométrie	AUTOMNE	HIVER	PRINTEMPS	ETE
Merouana	P (mm)	142.26	142.49	126.20	48.49
	P (%)	30.90	30.95	27.41	10.59
	Nbr de Jours pluvieux	15	10	10	10
Hamla	P (mm)	91.95	97.57	84.5	10.59
	P (%)	29.30	31.09	26.90	12.05
	Nbr de Jours pluvieux	12	10	12	12
N'gaous	P (mm)	71.05	65.84	91.69	35.02
	P (%)	26.83	24.87	34.63	13.22
	Nbr de Jours pluvieux	13	12	07	08
BATNA	P (mm)	109.76	99.56	104.57	43.31
	P (%)	31.19	26.88	29.60	12.30
	Nbr de Jours pluvieux	13	08	09	10

**Fig. (16) :** Répartition saisonnière des précipitations (1969-2000)**En conclusion**

On constate que la saison la plus sèche est l'été

A fin de clôturer ce paragraphe, le tableau, représente la comparaison des données pluviométriques au cours de la période (1969-2000) pour toutes les stations.

Pour établir de manière satisfaisante les relations qui existent entre l'érosion et les pluies, on peut préciser le nombre de jours pluvieux qui participent, et l'importance de l'érosion pour toutes les stations. On constate que les pluies de l'été et l'automne présentent des valeurs importantes. Elles ont un caractère orageux capable d'éroder. Comme résumé, on peut dire que les contrastes mensuels et saisonniers sont très marqués et contribuent à accroître le pouvoir érosif des précipitations.

**2.4 Les températures**

La moyenne mensuelle dans le bassin varie entre 5.7C°, moyenne du mois de janvier, et 28.3C°, moyenne du mois d'août.

Les écarts élevés de températures favorisent la présence des phénomènes d'altération mécanique. Le tableau ci-dessous présente les températures moyennes.

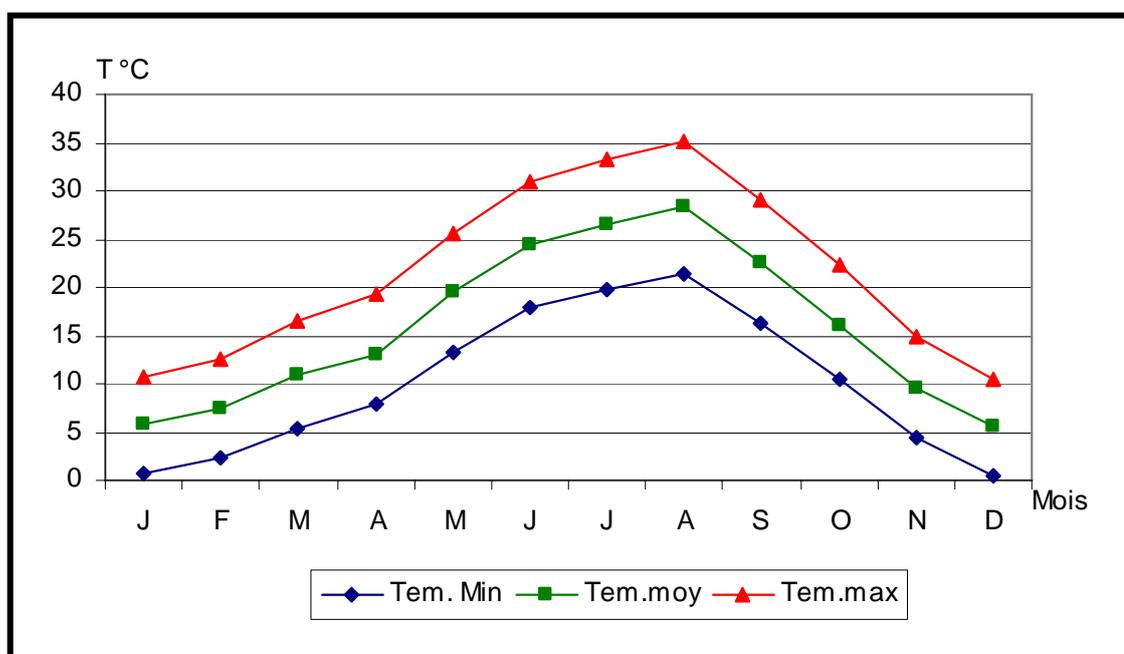
**Tableau N° 16** : moyennes mensuelles des températures (1969-2000)

Mois	F	M	A	M	M	J	J	A	S	O	N	D	moyenn e
Températu re minimale	0.7 4	2.29	5.45	8.01	13.3 4	17.8 3	19.8 5	21.4 1	16.1 8	10.4 9	4.31	0.46	10.0
Températu re moyenne	5.7 7	7.41	10.9 5	13.0 7	19.5	24.4	26.6	28.3	22.6	16.1 4	9.47	5.47	15.28
Températu re maximale	10. 8	12.5 3	16.4 5	19.3 9	25.6 6	30.9 7	33.3 5	35.1 9	29.0 2	22.3 1	14.8 1	10.4 8	21.74

Source ONM

Station de MEROUANA

**Fig. (17)** : Moyennes mensuelles des températures (1969-2000) (station de Merouana)

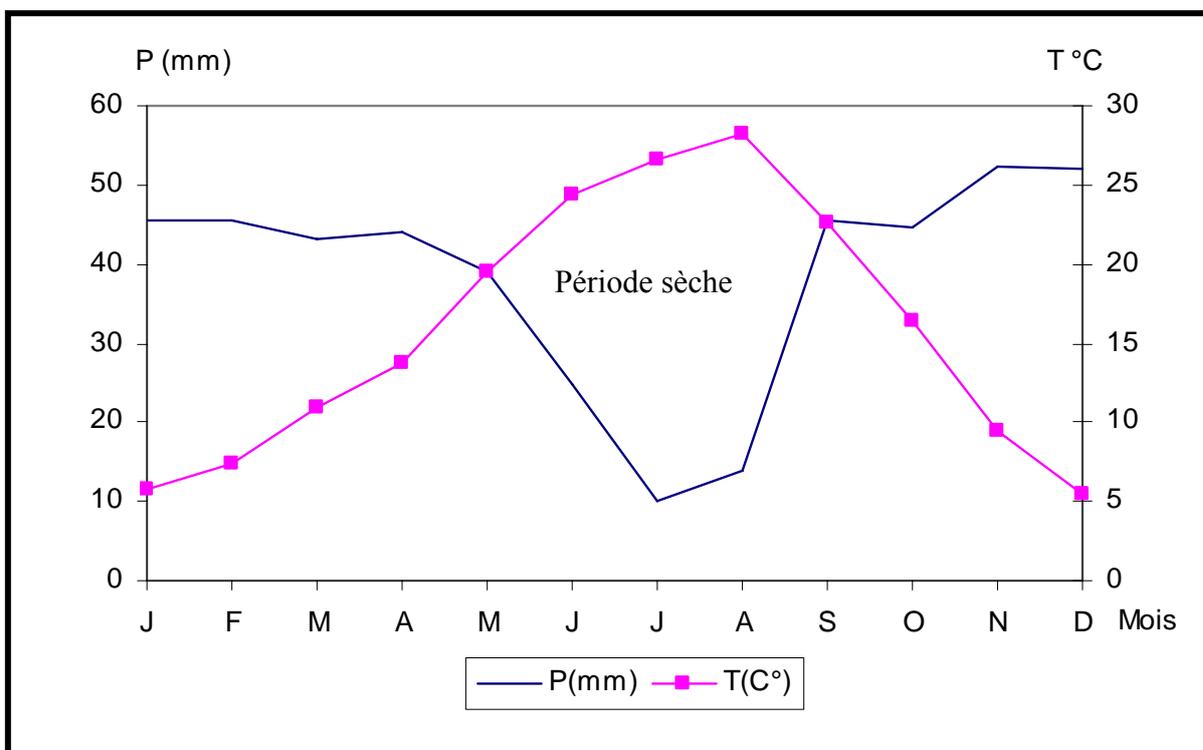


**Tableau N° 17** : Moyennes mensuelles des précipitations et des températures (1969-2000)  
(Station Merouana)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P(mm)	45.44	44.5	52.32	52.06	45.5	45.43	43.20	44	39	24.76	10.04	13.99
T(°C)	22.6	16.4	9.47	5.47	5.77	7.41	10.95	13.7	19.5	24.4	26.6	28.3

(Source : ONM, 2000)

Fig. (18) : Diagramme Ombro thermique (1969-2000)



(Source : ONM, 2000)

Pour MEROUANA la saison la plus sèche est l'été. Elle comporte les quatre mois suivant; Mai, Juin, Juillet, Août.

La valeur moyenne maximale des températures est enregistrée dans le mois de Mai avec 34.97°C et la valeur minimale est observée au court du mois de janvier avec 26 °C

Le maximum de température est atteint au mois d'août avec une valeur de 34.97 °C pour la station HAMPLA, tandis que le minimum est observé en décembre avec une valeur de 9.17 °C, le tableau n° 18 présente les températures moyennes à la station de Hamla.

**Tableau N° 18** : Moyennes mensuelles des températures : station (HAMLA) (1969-2000) :

Mois \ Tem	J	F	M	A	M	J	Jui	Ao	S	O	N	D	moyenne
Tem. min	5.32	7.002	10.5	13.2	19.30	23.9	26.1	27.8	22.1	15.9	9.2	5.02	15.44
Tem. moy	0.54	2	5.35	7.83	13.15	17.05	19.67	21.23	16	10.31	3.93	0.26	9.87
Tem. max	10.32	12.05	10.25	19.17	25.45	30.75	33.13	34.97	28.8	22.09	14.57	9.17	20.89

Source : (O.N.M)

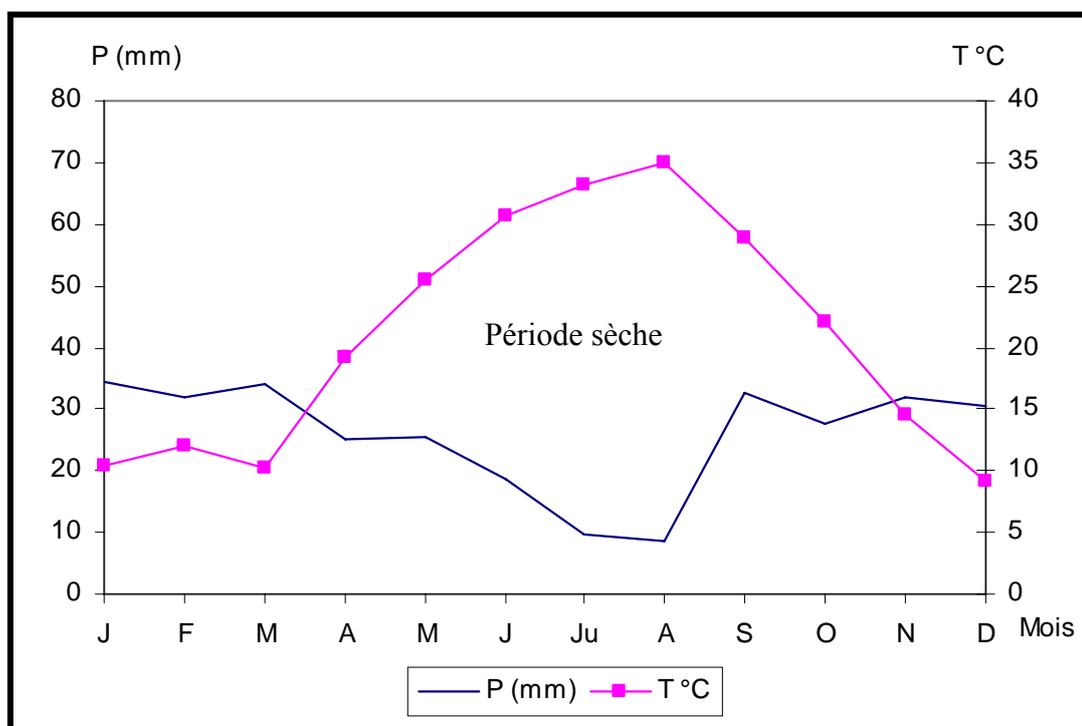
**Tableau N° 19** : Moyenne des précipitations et des températures (1969-2000)

(Station : Hamla)

Mois \ Tem	J	F	M	A	M	J	Ju	A	S	O	N	D	moyenne
P (mm)	34.31	31.86	34	25.00	25.5	18.6	9.75	8.5	32.50	27.5	32	30.40	26.15
Tc°	10.32	12.05	10.25	19.17	25.45	30.75	33.13	34.97	28.8	22.09	14.57	9.17	20.89

Source : (O.N.M)

**Fig. (19)** : Diagramme Ombro thermique (1969-2000) (Station de Hamla)



La période sèche présente six mois : Avril, Mai, Juin, Juillet, Août et Septembre.

## 2.5. Le régime thermique

Indice climatique de DE, MARTON :

Cet auteur a proposé en 1923 l'indice d'aridité fondé sur le régime des précipitations et des températures :

$$I = \frac{P}{(T + 10)} \rightarrow (2)$$

Où : P : précipitations moyennes annuelles.

T= températures moyennes annuelles.

Les résultats du module de l'indice sont récapitulés dans le tableau ci-dessous

**Tableau N° 20** : Valeurs de l'indice de DE MARTON

Station	P <sub>an</sub> (mm)	T <sub>an</sub> °C	indice de DE MORTONE
MEROUENA	460.02	15.28	18.19
HAMLA	333.37	15.44	13.26

Un indice de DE Marton situé entre 10 et 20, indique un régime climatique semi aride.

Pour les deux stations l'indice de cet auteur est compris entre 10 et 20 avec 18.29 pour la station de MEROUANA et 13.26, pour la station de HAMLA. Les deux milieux se caractérisant par un écoulement temporaire.

## 2.6. Le climagramme d'EMBERGER

Pour situer le climat du bassin étudié, on utilise le climagramme d'EMBERGER, qui définit les indices d'aridité par la relation suivante :

$$Q = \frac{2000P}{M^2 - m^2} \rightarrow (3)$$

Avec : Q : quotient pluviométrique d'EMBERGER

P : précipitation des maxima annuels.

M : moyenne des maxima annuels du plus chaud en degré absolu (K°)

m : moyenne des minima annuels du plus froid en degrés.

**a- la station de MEROUANA**

$$M : 35.19+273.15= 308.34$$

$$M= 00.46+273.15= 273.46$$

$$P= 460.20$$

$$Q = 45.33$$

La valeur obtenue représente un étage climatique semi aride avec hiver froid.

**b- la station de HAMLA :**

$$M = 34.97+273.15= 308.12$$

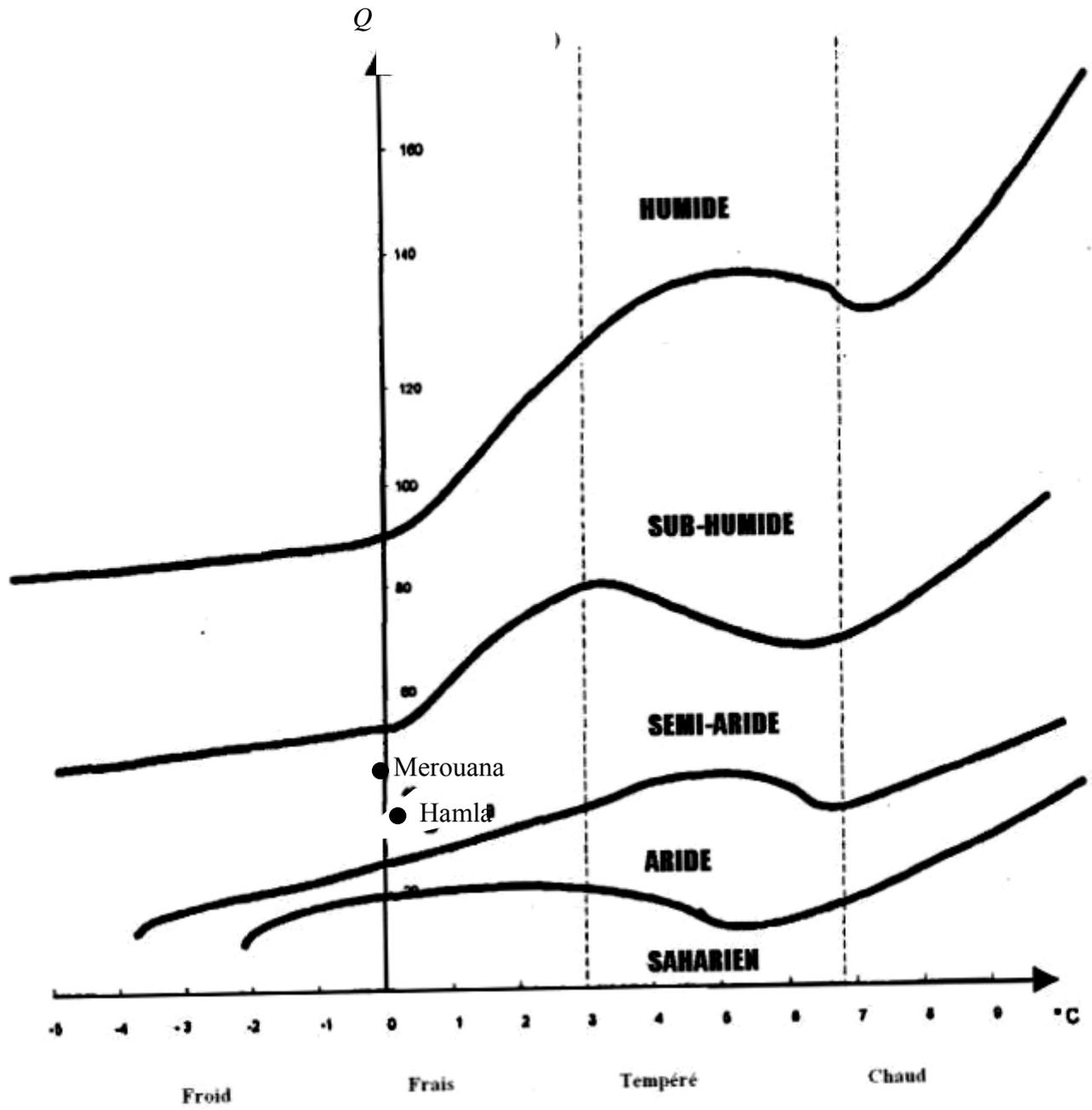
$$m =0.26+273.15 =273.41$$

$$P = 337.37$$

$$Q = 33.42$$

La valeur de ce quotient indique l'étage semi aride, d'après les résultats obtenus pour les deux stations, on constate que le bassin étudié représenté par les étages climatiques semi arides

Fig. (16) : Climagramme d'EMBERGER



## 2.7. Estimation de la lame d'eau précipitée :

Pour donner une vision générale sur le régime pluvial dans étendue on doit examiner les paramètres, qui interviennent dans la répartition des pluies.

Trois méthodes sont très souvent utilisées pour calculer la moyenne des pluies :

- La moyenne arithmétique
- La méthode de THEISSEN
- La carte de CHAUMONT et PAQUIN

### 2.7.1. Méthode de THEISSEN :

Elle consiste à diviser la surface du bassin en polygones c'est une méthode arithmétique dans laquelle on attribue à chaque pluviomètre un poids proportionnel a une zone d'influence définie géométriquement.

La loi de THEISSEN est déterminée par la formule suivante :

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i S_i}{S_t} \quad \text{Où} \quad \bar{P} = \sum_{i=1}^n \frac{P_i A_i}{100} \quad (A_i \text{ exprimé en \% de l'air de bassin})$$

$\bar{P}$  : Pluie moyenne sur l'ensemble du bassin.

$S_i$  : surface élémentaire d'égale précipitation.

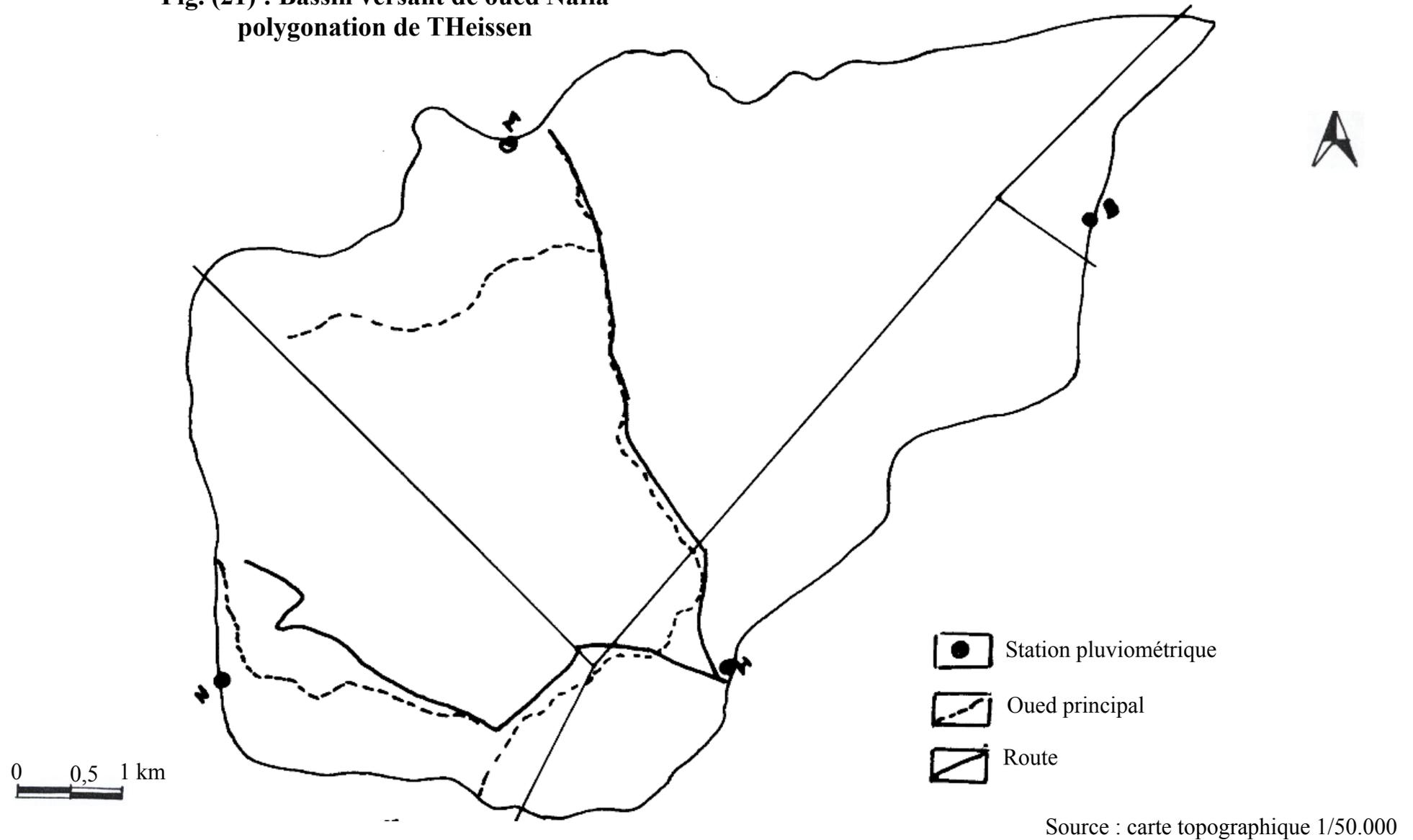
$A_i$  : station située a l'intérieur de la surface élémentaire.

$S_t$  : surface totale du bassin versant.

**Tableau N° 21 : Lame d'eau précipitée**

Station	Précipitations (mm)	Surface propre a chaque station	$A_i\% = S_i \times \frac{100}{S_t}$	$P_i A_i$
MAROUANA	460	60.75	41.5	19090
HAMLA	313.73	484.45	27.5	8627.5
N'GAOUS	264.73	44.18	25.5	6750.6
BATNA	371	08.07	5.5	2040.5
	1409.46	161.5	100	$\sum P_i A_i = 36508$

**Fig. (21) : Bassin versant de oued Nafla  
polygonation de THEissen**



A.N :

$$\bar{P} = \frac{3650}{100} = 365.08mm$$

### 2.7.2. La moyenne arithmétique

Une simple moyenne arithmétique de postes une surface peut être une estimation valable de la lame d'eau précipitée.

La moyenne arithmétique est calculée d'après la formule suivante :

$$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \text{ où } P_i \text{ précipitation du poste } i$$

$$\bar{P} = \frac{1}{4} \sum 1409.46 = 352.36mm$$

### 2.7.3. La carte de CHAUMONT et PAQUIN

D'après la carte représentée sur la figure (22). On constate que la pluviométrie annuelle de la série comprise entre 200 et 800 mm, ce qui veut dire que le bassin présente un étagement climatique, les précipitations les plus élevées sont présentées sur les piques suivantes Dj Tichaoua, Dj Mhasseur, Dj Refaa,.

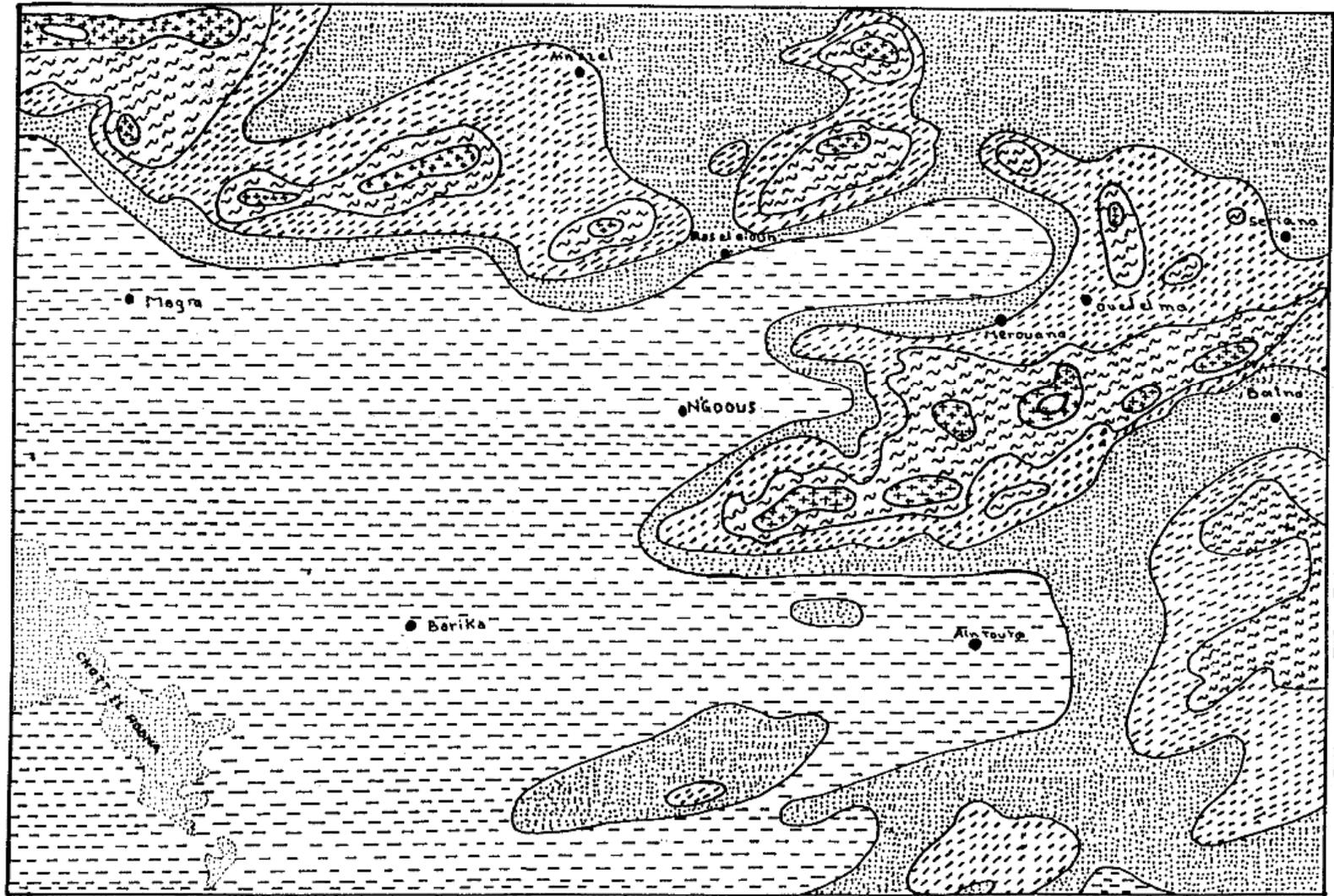
L'examen des données pluviométriques, nous permis de dire que la méthode de THEISSEN s'adapte le mieux avec notre terrain ; car les pluies sont en fonction directe avec les surfaces fractionnelles. Même les données sont très récentes ; présente une vision sur l'état actuel des précipitations.

### 2.8. Les pluies journalières maximales : $P_{jmax}$

Une connaissance exacte de  $P_{jmax}$  est essentielle dans le but de l'étude quantitative de l'érosion.

Les  $P_{jmax}$  montrent aussi un caractère spécifique déterminé par l'irrégularité selon l'altitude et l'exposition ; dans le temps et l'espace ou (intensité, durée, fréquence, Espace

Fig. (1) : CARTE PLUVIOMÉTRIQUE  
 dressée par  
M. CHAUMONT      C. PAQUIN  
 (1913 - 1963)



Légende

-  de 700 à 800 mm
-  de 600 à 700
-  de 500 à 600
-  de 400 à 500
-  de 300 à 400
-  de 200 à 300



Pour mieux préciser le rôle des  $P_{j\max}$  dans l'action érosive, nous partons de l'ajustement statistique des données en essayant de trouver la loi qui, s'ajuste le mieux à la distribution des pluies journalières maximales.

Nous avons adoptés les deux méthodes suivantes pour faire une comparaison statique. Elles traduisent l'ajustement le plus proche de nos variables hydropluviométriques.

Les lois utilisées sont : Loi de GAUSS et Loi de GUMBEL. Le tableau N° 22 présente Les caractéristiques de chaque loi.

**Tableau N° 22** : Les caractéristiques des lois de l'ajustement :

Loi de GAUSS		Loi de GUMBEL
	Formule appliquée	Formule appliquée
$\delta$ : Ecart type de la série étudiée $\bar{X}$ : Moyenne des $P_{j\max}$	$x = U\delta + \bar{X}$ $U$ : variable réduite de gausse	$x = \frac{1}{\alpha}y + x_0$ $\alpha, x_0$ : coefficients d'ajustement $x_0 = \overline{P_{j\max}} - 0.577 / \alpha$ $\frac{1}{\alpha} = 0780\delta$ $y = U$ (variable de GUMBEL)

### Remarque

$\overline{P_{j\max}}$  : Les moyennes de la série des  $P_{j\max}$  étudiées

$\delta$  : Ecart type de la série des  $P_j$  max étudiées.

Les quatre séries des précipitations maximales journalières des stations : BATNA, MAROUANA, HAMLIA, NGAOUS ont fait l'objet d'étude statique (Ajustement des échantillons à des lois statistiques, afin de déterminer les pluies maximales journalières de différentes fréquences.

Tableau N° 23 : Pluies journalières maximales (1969-2000)

Station	Batna		Merouana		N'Gous		Hamla	
Rang	Pluie max/j	$F(x) = \frac{i - v_2}{N}$	Pluie max/j	$F(x) = \frac{i - 1/2}{N}$	Pluie max/j	$F(x) = \frac{i - 1/2}{N}$	Pluie max/j	$F(x) = \frac{i - 1/2}{N}$
1	26.80	0.01	38.20	0.025	30.40	0.031	24.80	0.01
2	27.30	0.05	38.70	0.075	32.30	0.093	25.00	0.05
3	31.40	0.08	39.20	0.125	33.30	0.156	29.00	0.09
4	34.30	0.12	39.50	0.175	36.60	0.218	37.60	0.12
5	47.00	0.15	40.50	0.220	39.10	0.281	39.50	0.16
6	51.90	0.18	41.80	0.270	40.10	0.343	40.10	0.20
7	52.20	0.22	43.30	0.320	40.70	0.406	42.20	0.24
8	57.90	0.25	45.30	0.37	40.80	0.468	51.10	0.27
9	61.50	0.29	48.70	0.42	41.50	0.531	54.80	0.31
10	64.30	0.32	57.00	0.47	44.50	0.593	58.40	0.35
11	65.60	0.36	58.00	0.52	46.00	0.656	65.10	0.38
12	65.80	0.39	59.40	0.57	47.80	0.718	70.90	0.42
13	68.70	0.43	67.90	0.62	48.30	0.781	74.50	0.46
14	71.00	0.46	72.00	0.67	48.30	0.843	75.60	0.50
15	73.00	0.50	74.50	0.72	54.70	0.906	78.90	0.53
16	76.00	0.53	76.00	0.77	54.90	0.968	79.00	0.57
17	76.60	0.56	78.30	0.82			81.40	0.61
18	81.20	0.60	90.80	0.87			86.90	0.64
19	84.20	0.63	103.60	0.92			87.00	0.68
20	86.50	0.67	129.80	0.97			91.90	0.72
21	87.60	0.70					93.60	0.75
22	90.90	0.74					98.00	0.79
23	93.90	0.77					101.70	0.83
24	97.20	0.81					108.40	0.87
25	100.3	0.84					113.00	0.90
26	102.3	0.87					119.60	0.94
27	103.2	0.91					121.50	0.98
28	117.50	0.94						
29	125.60	0.98						
30	143.00							
$\bar{P}_j$	75.5mm		62.57		42.48		72.2	
$\sigma$	28.45		24.55		7.36		29.21	
CV	0.37		0.39		0.17		0.40	

**Remarque :**

- les valeurs de  $P_{j_{\max}}$  sont présentées dans les séries de longueur différente.
- $F(x)$  représente la fréquence théorique, calculée par la formule suivante

Fig. (23) : Ajustement statique des précipitations (station de N'Gaous)

$P_{jmax}$  (mm)

Loi de Gauss

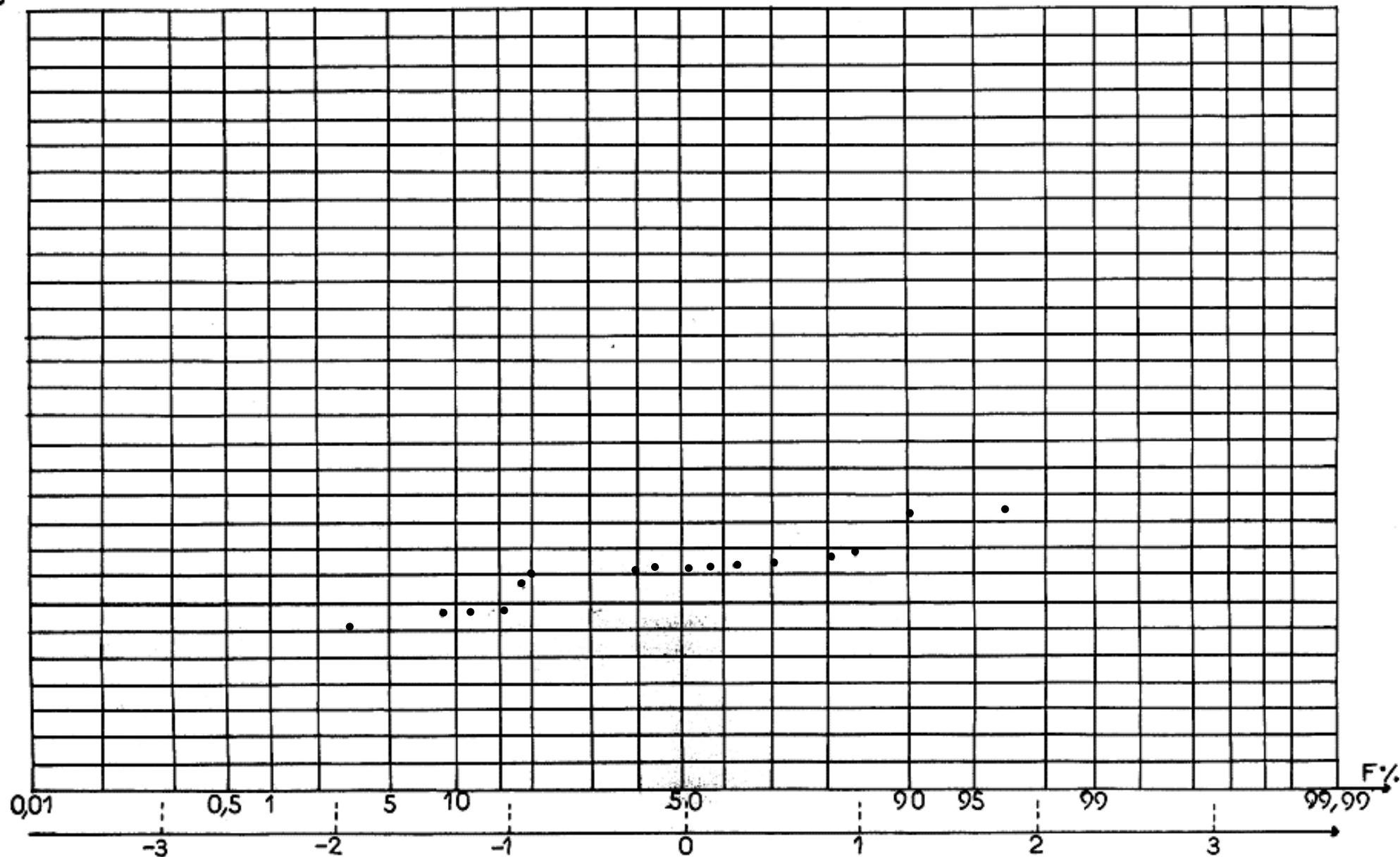


Fig. (24) : Ajustement statique des précipitations (station de Hamla)

Loi de Gauss

$P_{jmax}$  (mm)

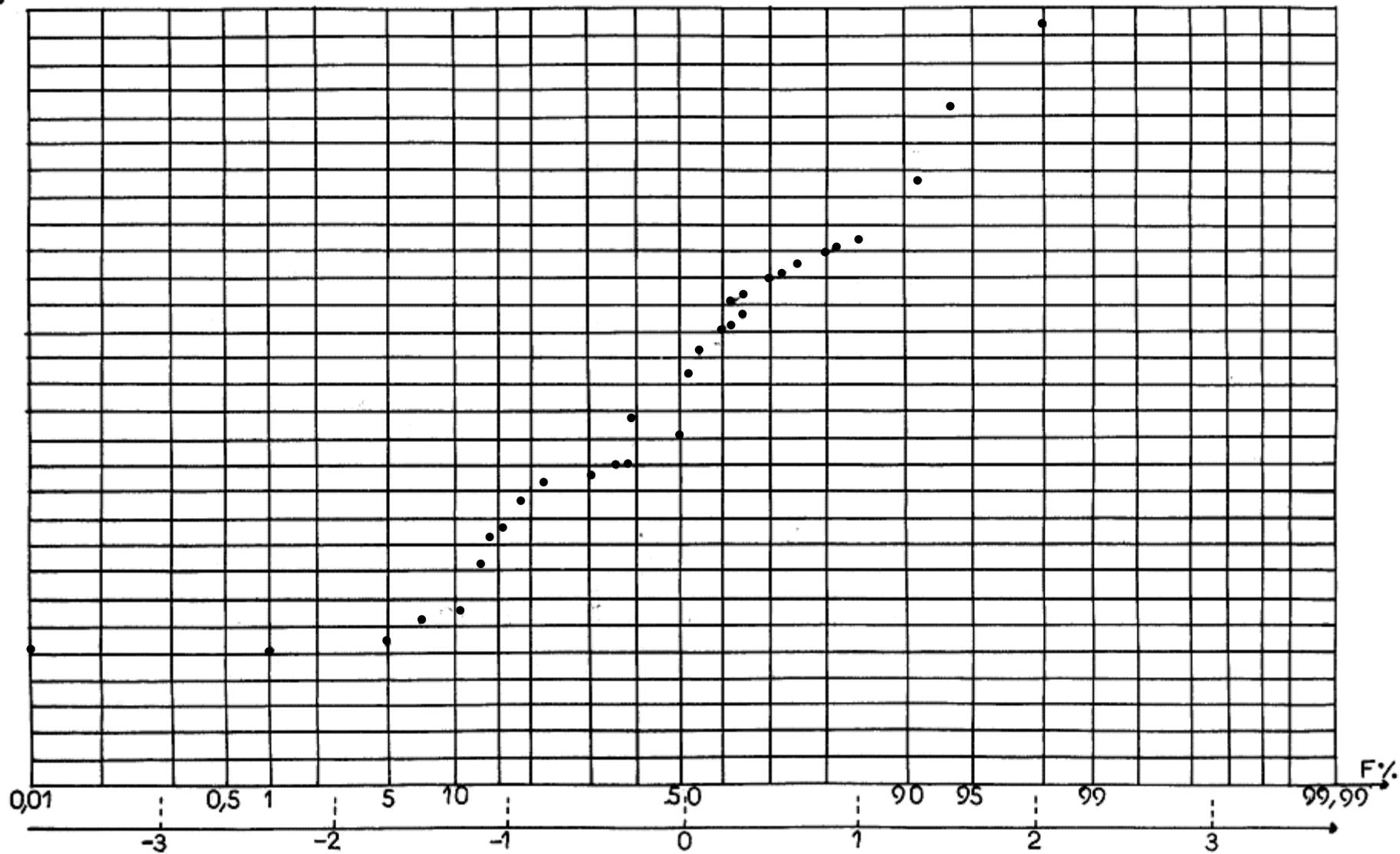


Fig. (25) : Ajustement statique des précipitations (station de Batna)

Loi de Gauss

$P_{jmax}$  (mm)

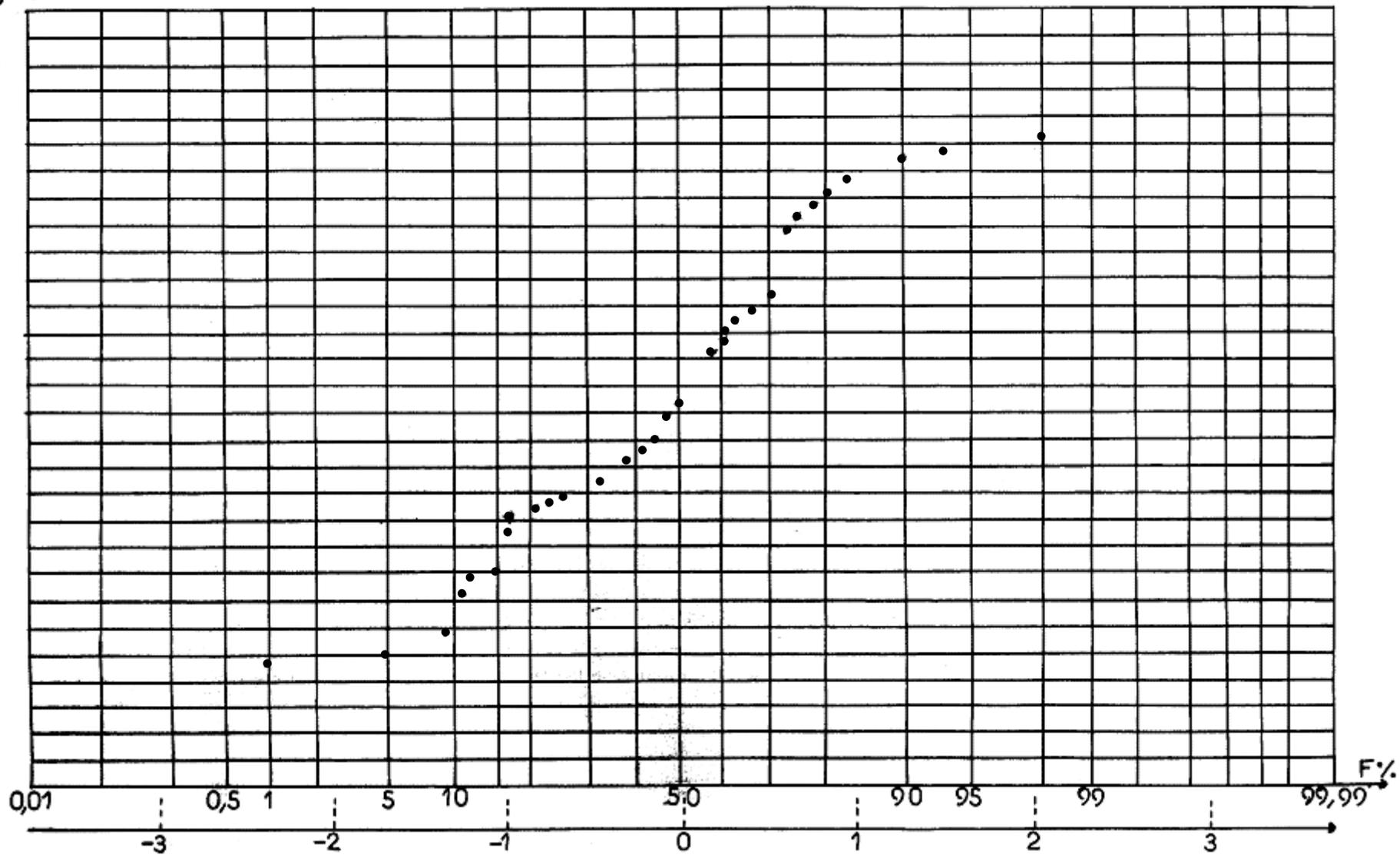
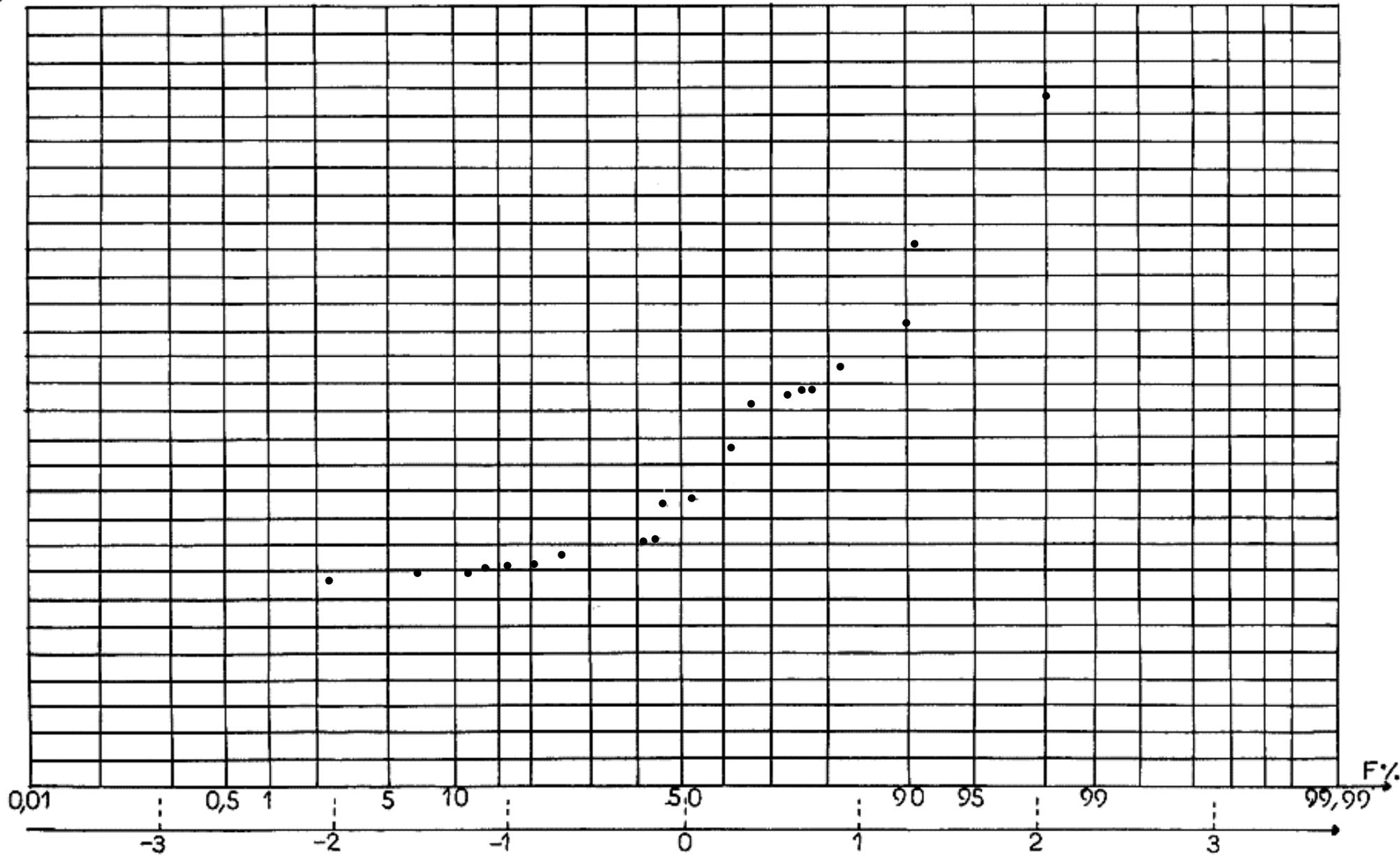


Fig. (26) : Ajustement statique des précipitations (station de Merouana)

$P_{jmax}$  (mm)

Loi de Gauss



$$F(x) = \frac{i - \frac{1}{2}}{N}$$

$i$  : ordre ou classement de probabilité.

$N$  : la longueur de série.

### 2.8.1. Ajustement des précipitations journalières maximales :

On parvient généralement à ajuster l'échantillon des pluies journalières maximales la loi de GUMBEL

#### 2.8.1.1. Loi de GUMBEL :

**Tableau N° 24** : pluies maximales journalières ajustées : Station de Merouana  
(1969-2000)

Fréquence	0.50	0.80	0.90	0.95	0.98	0.99	0.999
Période de retour	2	5	10	20	50	100	1000
Variable réduite	0.37	1.50	2.25	3.0	3.90	4.55	6.90
$P_{jmax}$ (mm)	58.59	80.32	94.74	109.17	126.47	138.97	184.16

$$P_{jmax} = 51.48$$

$$AG = 19.23$$

$$P_{jmax} = 62.57$$

Les  $P_{jmax}$  de chaque fréquence peuvent être déterminés grâce à la formule suivante :

$$x = \frac{1}{\alpha} y + x_0$$

Voire tableau n° (24)

**Tableau N° 25** : Pluies maximales journalières ajustées : station de N'GAOUS

Fréquence	0.50	0.80	0.90	0.95	0.98	0.99	0.999
Période de retour	2	5	10	20	50	100	1000
Variable réduite	0.37	1.50	2.25	3.0	3.90	4.55	6.90
$P_{jmax}$ (max)	41.26	47.91	52.32	56.73	62.02	65.84	79.66

$$P_{jmax_0} = 39.09$$

$$P_{jmax} = 42.48$$

$$AG = 5.88$$

**Tableau N° 26 : Pluies maximales journalières ajustées station de HAML A**

Fréquence	0.50	0.80	0.90	0.95	0.98	0.99	0.999
Période de retour	2	5	10	20	50	100	1000
Variable réduite	0.37	1.50	2.25	3.0	3.90	4.55	6.90
$P_{j\max}$ (max)	07.39	93.18	110.18	110.29	127.41	162.94	1216.40

$$\bar{P}_{j\max} = 72.2 \text{ mm}$$

$$AG = 22.82$$

$$P_{j\max} = 42,48 \text{ mm}$$

**Tableau 27 : les pluies maximales journalières ajustées : station de BATNA**

Fréquence	0.50	0.80	0.90	0.95	0.98	0.99	0.999
Période de retour	2	5	10	20	50	100	1000
Variable réduite	0.37	1.50	2.25	3.0	3.90	4.55	6.90
$P_{j\max}$ (max)	70.81	95.93	112.60	129.29	149.28	163.73	215.97

$$AG = 22.23$$

$$P_{j\max} = 62,59 \text{ mm}$$

$$\bar{P}_{j\max} = 75.5 \text{ mm}$$

**8.2.1.2. Loi de Gauss :**

L'estimation des pluies fréquentielles en années humides et en années sèches se fait en appliquant l'équation de Gauss, pour l'ajustement des données.

$$x = \bar{x} + \delta U$$

U : variable de GAUSS : x : valeur ajustée,  $\bar{x}$  : Moyenne des Pj Max,  $\delta$  : Ecart type

**Tableau N° 28 : Pluies maximales journalières pour différentes fréquences (1969-2000)**

Station de Merouana	Années sèches						Années humides					
Fréquence %	0.50	0.80	0.90	0.95	0.98	0.2	0.5	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Période de retour	2	5	10	20	50	100	2	5	10	20	50	100
Variable Gauss	0.00	0.84	1.28	1.64	2.05	2.32	0.00	-0.84	-1.28	-1.64	-2.05	-2.32
$P_{j\max}$ ajustée	62.57	83.21	93.99	102.83	112.83	119.52	62.57	41.95	31.15	22.31	12.85	5.62

**Tableau N° 29 :** Pluies maximales journalières pour différentes fréquences (1969-2000) :  
Station de HAMLA

Station	Années sèches						Années humides						
	Fréquence %	0.50	0.80	0.90	0.95	0.98	0.2	0.5	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Période de retour	2	5	10	20	50	100	2	5	10	20	50	100	
Variable de GAUSS	0.00	0.84	1.28	1.64	2.05	2.32	0.00	-0.84	-1.28	-1.64	-2.05	-2.32	
P <sub>jmax</sub> ajustée	72.20	96.76	109.64	120.18	132.08	140.19	72.20	47.67	30.82	24.30	-12.32	2.98	

**Tableau N° 30 :** Pluies maximales journalières pour différentes fréquences (1969-2000) :  
Station de N'GAOUS

Station	Années sèches						Années humides						
	Fréquence %	0.50	0.80	0.90	0.95	0.98	0.2	0.5	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Période de retour	2	5	10	20	50	100	2	5	10	20	50	100	
Variable de GAUSS	0.00	0.84	1.28	1.64	2.05	2.32	0.00	-0.84	-1.28	-1.64	-2.05	-2.32	
P <sub>jmax</sub> ajustée	42.48	48.66	51.91	54.55	57.56	59.60	42.48	36.30	33.05	30.42	26.92	25.36	

**Tableau N° 31 :** Pluies maximales journalières pour différentes fréquences (1969-2000) :  
Station de BATNA

Station	Années sèches						Années humides						
	Fréquence %	0.50	0.80	0.90	0.95	0.98	0.2	0.5	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Période de retour	2	5	10	20	50	100	2	5	10	20	50	100	
Variable de GAUSS	0.00	0.84	1.28	1.64	2.05	2.32	0.00	-0.84	-1.28	-1.64	-2.05	-2.32	
P <sub>jmax</sub> ajustée	75.50	99.42	111.97	122.15	133.82	141.70	75.50	51.58	39.04	28.85	17.18	9.30	

**Tableau N° 32 :** Équations d'Ajustement obtenues.

Stations	Loi de GAUSS	Loi de GUMBEL
Batna	<b>X=28,45U+75,5</b>	<b>X=22,23Y+62,59</b>
Merouana	<b>X=24,45U+62,75</b>	<b>X=19,23Y+51,48</b>
N'Gaous	<b>X=7,36U+42,48</b>	<b>X=5,88Y+39,09</b>
Hamla	<b>X=29,21U+72,2</b>	<b>X=22,82Y+72,2</b>

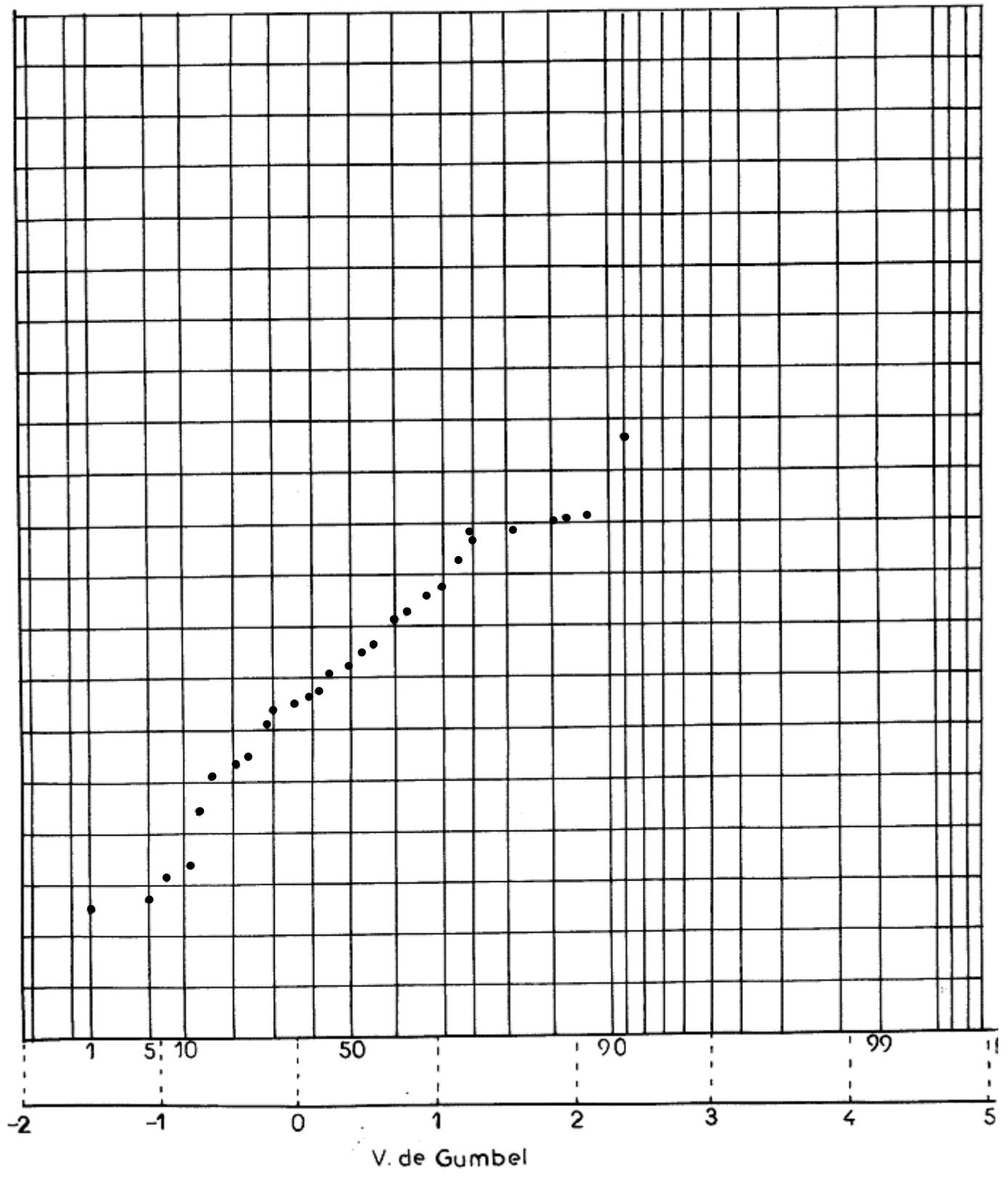
Où : U : variable réduite de GAUSS

Y = U: variable de GUMBEL

Fig. (27) : Ajustement statique des précipitations (station de Batna)

Loi de Gumbel

$P_{jmax}$  (mm)



**Fig. (28) : Ajustement statique des précipitations (station de Merouana)**  
**Loi de Gumbel**

$P_{jmax}$  (mm)

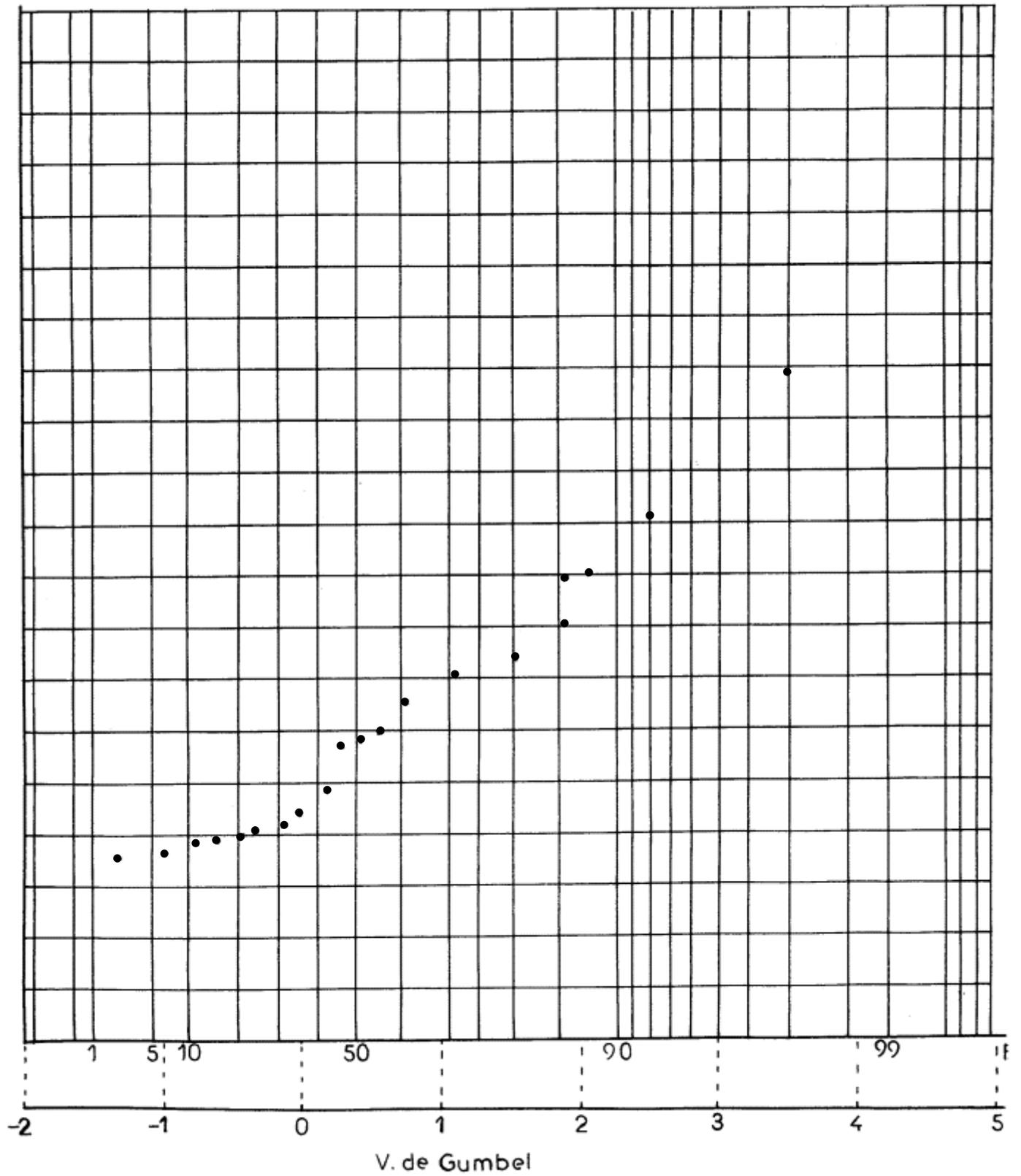


Fig. (29) : Ajustement statique des précipitations (station de N'Gaous)

Loi de Gumbel

$P_{jmax}(mm)$

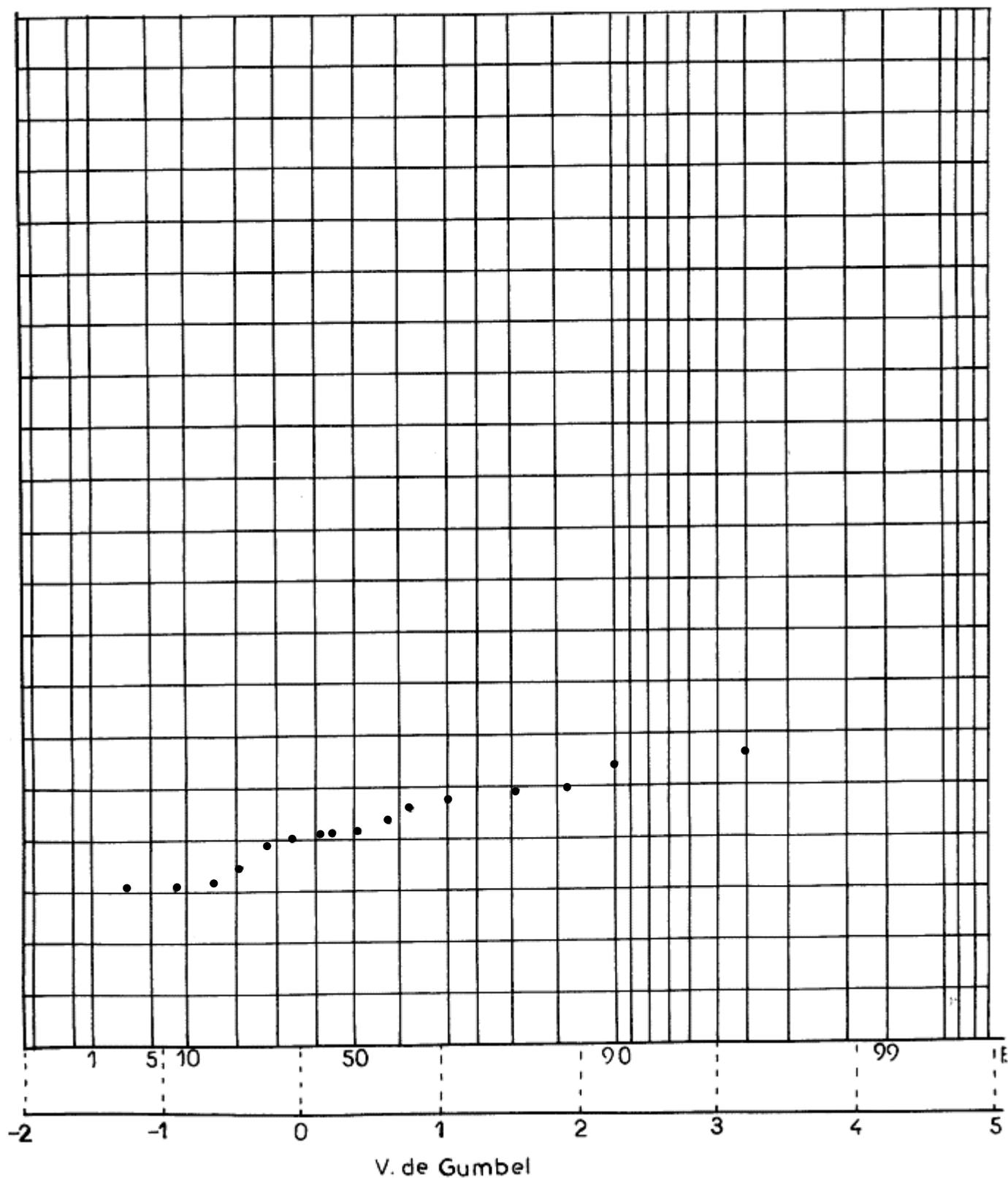
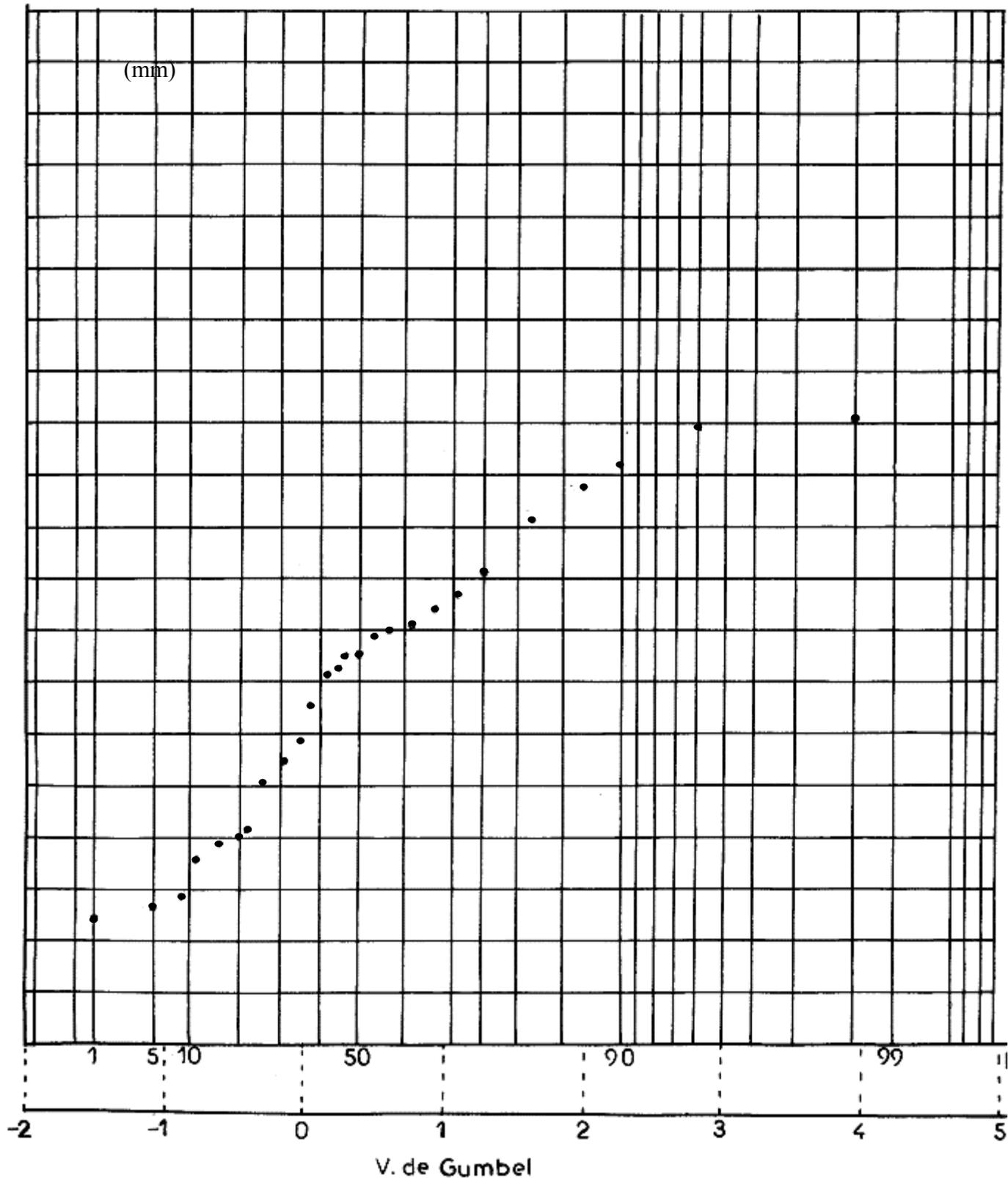


Fig. (30) : Ajustement statique des précipitations (station de Hamla)

Loi de Gumbel

$P_{jmax}$



2.8.1.3. Test de  $X^2$

Il permet de déterminer la variabilité de la loi utilisée avec l'échantillon considéré

**Tableau N° 33 : Test de  $X^2$  : Station de Merouana (loi GAUSS)**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N	Borne inférieur $x_{1-1}$	Borne supérieur $x_1$	Variable réduit $z_{1-1}$	Variable réduit $z_i$	Fnd <sub>i-1</sub>	FND <sub>i</sub>	FO <sub>i</sub>	F <sub>ti</sub>	T <sup>2</sup>
1	$\infty -$	41.80	$\infty -$	-0.84	0.00	0.27	5	5.4	0.02
2	41.80	59.40-	-0.84	-0.92	0.27	0.57	5	6	0.16
3	59.40	129.60	-0.12	2.70	0.57	0.97	5	8	1.125
4	129.00	$\infty +$	2.70	$\infty +$	0.97	1.00	5	0.6	32

$$X^2 = 33.57, \quad V = K - 1 - r, \quad V = 4 - 1 - 2, \quad V = 1, \quad F_D = \alpha = 0.05$$

$$X_{v\alpha}^2 = X_{1,0.05}^2 = 3.84$$

Si la valeur de  $X^2$  est inférieure au seuil (0.05) on rejette l'hypothèse considérée, car les écarts sont significatifs, ce qui veut dire que les données expérimentales suivant une loi autre que celle de notre hypothèse, et l'on essaye une autre loi d'ajustement.

$$U = \frac{P_{j \max} - P_{j \max_0}}{\delta} = \frac{-51.48}{19.23}$$

**Tableau N° 34 : Teste de  $X^2$  : Station de MEROUANA (loi GUMBEL)**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Borne inférieur $x_{1-1}$	Borne supérieur $x_1$	Variable réduit $z_{1-1}$	Variable réduit $z_i$	Fnd <sub>i-1</sub>	FND <sub>i</sub>	FO <sub>i</sub>	F <sub>ti</sub>	T <sup>2</sup>
2	$\infty -$	41.80	$\infty -$	0.5	0	-0.51	5	-10.4	5.8
3	59.40	129.60	-0.5	0.41	0.52	0.52	5	10.06	5.12
4	129, $\infty +$	$\infty +$	4.06	$\infty +$	0.993	1.0	5	0.14	4.72

$$V = k - 1 - r, \quad V = 4 - 1 - 2, \quad V = 1, \quad \text{Pour } V = 1 \text{ et } 1 - \alpha = 0.95$$

Le tableau donne  $X_{1,0.95}^2 = 0.34$ . La valeur de  $X^2$  tirée du tableau est égale à 3.84.

Comme le  $\chi^2$  calculé est plus petit que celui donnée par la table on conclut que le  $\chi^2$  calcul est situé dans la zone favorable et il y a 95% de chances que la loi de GUMBEL s'ajuste a note échantillon.

### 3. Facteurs du bilan hydrique

#### 3.1. Evapotranspiration potentiel :

L'évapotranspiration c'est la somme des deux termes : la transpiration végétale, et l'évaporation de SOL.

L'évapotranspiration potentielle est la consommation de l'eau sous l'évaporation du sol et la transpiration des végétaux.

#### Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

##### 3.1.2. Formule de THORNTHWATE

$$ETP_c = 16 \left( 10 \cdot \frac{t}{I} \right)^a \times f(\lambda)$$

où : ETP : l'évapotranspiration potentielle en mm

t : température moyenne de la période considérée °c

$$a = 0.0016 I + 0.5$$

i : étant calculé par la formule  $i = \left( \frac{t}{5} \right)^{1.514}$

$$D = 12$$

$$I = \sum_1 i$$

$f(\lambda)$  : Coefficient correctif : fonction de la durée théorique de l'insolation.

$$f(\lambda) = f(\text{temps, lieu})$$

Les résultats de calcul de l'ETP mensuels sont représentés dans le tableau N° 35 :

**Tableau N° 35** : valeur de l'ETP<sub>c</sub> mensuelle selon THORNTHWAITE :  
Station de MEROUANA

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JUI	AUO
$f(\lambda)$	1.03	0.97	0.86	0.85	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16
ETP <sub>c</sub>	106.18	58.70	20.68	8.13	9.10	13.86	31.92	44.73	96.30	102.6	129.6	8,75,5

**Tableau N° 36** : Valeur de l'ETP mensuelle selon THORNTHWAITE :  
Station de MEROUANA (1969-2000)

Mois	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	Année
P	45.44	44.5	52.32	52.05	45.5	45.43	43.2	44	39	24.76	10.04	10.99	460
ETP	106.8	58.70	20.68	8.13	9.10	13.86	31.62	44.73	-57.3	-77.84	1296	175.5	814
P-ETP	-61.36	-14.2	31.64	43.93	36.4	31.57	11.58	-0.73	-57.3	-77.84	-119.59	-164.51	
RFU	00	00	31.64	50.00	50	50	0.73	43.27	00	00	00	00	
ETR	45.44	44.5	20.68	8.13	9.13	13.57	31.57	31.62	44.73	88.27	24.76	10.04	352.12
EXD	0	0	0	25.57	36.4	31.57	11.58	0	0	0	0	0	105.12
DE	61.36	14.2	0	0	0	0	0	0	8.03	77.84	119.8	164.52	445.5

Calcul du bilan hydrologique (station de MEROUANA)

D'après le tableau n 36 : on constate les résultats suivants :

- l'ETR est important avec 352.12 mm
- l'EXD : présente une valeur de 105.12 mm

### 3.1.3. Méthode de TURC

Selon TURC : les facteurs qui régissent l'ETP sont : La température, la radiation, les précipitations et la réserve en eau du sol. Les résultats sont :

$$ETP = 0.40 \left( \frac{t}{t+15} \right) (I_g + 50)$$

$$I_g = I_g A \left( 0.18 + 0.62 \frac{h}{H} \right)$$

t: moyennes mensuelles des températures °C.

$I_g$ : moyenne mensuelle de la radiation solaire globale exprimé en  $\text{cal}/\text{cm}^2/\text{j}$

$I_{gA}$  : rayonnement global a la limite de l'atmosphère pour le mois considéré qui dépend de la l'attitude.

$h$ : durée moyenne d'insolation en heures.

$H$  : durée moyenne astronomique du jours en heurs humidité  $> 50\%$

**Tableau N° 37 : Evaluation de L'ETP selon TURC**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
$I_{gA}$	417	562	718	857	947. 5	979	957	875	75	594	459	396
$H$	10.0 9	11	11.9 6	12.6 7	14.1 4	13.7 0	13.5 0	12.03	11.2 9	10.2 3	14	9.9
$h$	5.29	7	7.6	8	9.63	9.93	11.4 5	10.7	8.46	7.45	6.4	5.58
$I_0$	87.9 8	320	409	488	570	576	664	586.0 7	460. 5	342. 6	267. 5	228. 4
ETP	16.1 7	50.3 4	77.4 9	102	140	167	185	163.3	183	82	49.1	29.7 1

### 3.1.4. Estimation de l'ETR

L'évapotranspiration réelle est la quantité d'eau évaporée effectivement par le sol, les végétaux et les surfaces d'eau libres.

Nous partons des formules suivantes :

- Formule de TURC
- formule de GOUTAGNE

**Calcul de l'ETR****3.1.4.1. Formule de TURC**

$$ETR = D = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

$$ETR = 411 \text{ mm}$$

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

Avec : T : Température moyenne annuelle en (°C)

**A.N :**

$$ETR = \frac{460}{\sqrt{0.9 + \frac{(460)^2}{(744.95)^2}}} = 411$$

$$P = 460, \quad T = 13.20, \quad L = 744.95, \quad ETR = 411 \text{ mm},$$

**3.1.4.2. Formule de COUTAGNE**

$$ETR = D_e = \bar{P} - \lambda \bar{P}^2$$

Le déficit d'écoulement est calculé à partir de cette formule, peut être rapproché de l'ETR. Elle fait intervenir la pluviométrie et la température

$$\text{Avec : } \lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14T}$$

$D_e$  : déficit d'écoulement annuel en (mm) proche de l'évapotranspiration réel

$\bar{P}$  : Précipitation moyenne annuelle, en (mm)\*

T : température moyenne annuelle, en (°c)

Cette formule est applicable pour les valeurs des précipitations comprise entre :

$$\left( \frac{1}{2\lambda} \text{ et } \frac{1}{8\lambda}, \frac{1}{8\lambda} < p < \frac{1}{2\lambda} \right)$$

Si les précipitations sont supérieures à  $\frac{1}{8\lambda}$  le déficit d'écoulement est pratiquement indépendant de P et donnée par la formule suivante :

$$ETR = 0.20 + 0.035 T$$

Station de MERUOANA :  $ETR = 0.37 \text{ m} = 372 \text{ mm}$

Station de HAML A :  $ETR = 378 \text{ mm}$

### 3.1.4.3. Abaque de VERDEIL (1988)

P. VERDEIL a établi en Algérie un abaque pour déterminer le déficit d'écoulement (DE) ; la valeur est obtenue directement d'après l'abaque (Fig. 31)

$$DE = 420 \text{ mm}$$

Le ruissellement : d'après la formule de TIXERONT BERKALOFF) le ruissellement peut être estimé de la façon suivante :  $R = \frac{P^3}{3ETP^2}$  ou

R : ruissellement mm

P : précipitation moyenne annuelle.

ETP : calculé par la formule de THORNWATE.

Les résultats obtenus sont présents selon chaque station.

Pour la station de MEROUANA :  $R = 48.96 \text{ mm}$

Pour la station e HAML A :  $R = 26.12 \text{ mm}$

### **Interprétation et conclusion :**

D'après le tableau récapitulatif N° 38, on constate que :

L'analyse multicritère de l'étude climatique montre que la méthode de THORTHWAIT, et l'abaque de VERDEIL sont les plus utilisables et les plus proches de la réalité.

La différence entre les méthodes de calculs est due au caractère empirique des formules qui ne tiennent pas compte ni de la lithologie, ni la perméabilité, ni de la pente.

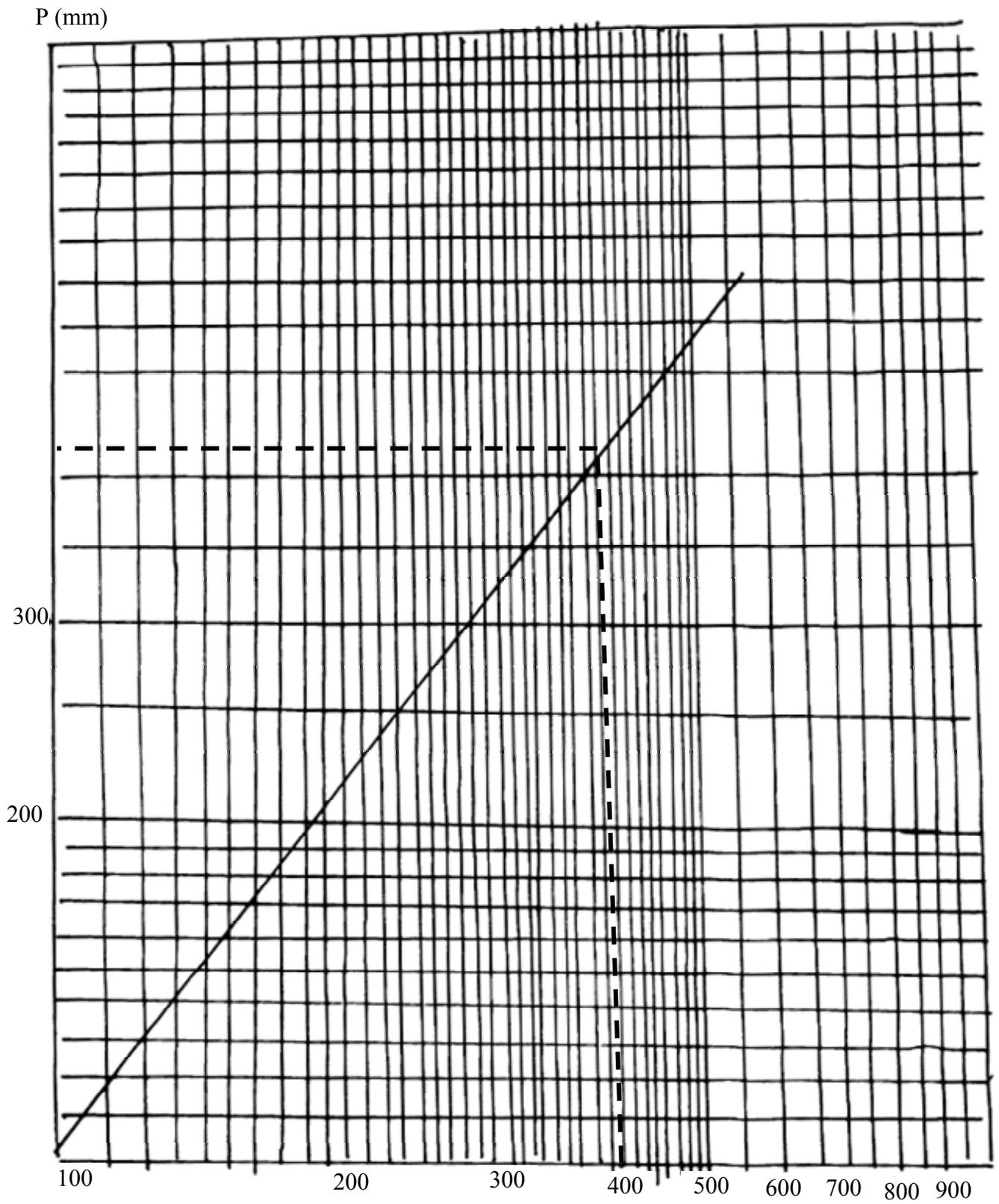
Pour notre bassin nous admettant que :

$$\text{ETP} = 814 \text{ (THORTHORNWHAIT)}$$

$$\text{ETR} = 420 \text{ (VERDEIL)}$$

$$R = \frac{420}{814} = 48.96 \text{ (THORTHNHWAIT)}$$

Fig. (24) : Calcul du déficit de l'écoulement



**Tableau N° 38** : Résultats de l'ETP et de l'ETR selon les méthodes utilisées.

Méthode	ETP (mm)	ETR (mm)
TURC	1141	414
COUTAGNE	/	372
THORENTWITE	814	352
ABAQUE de VERDEIL	/	420

**Conclusion :**

Comme résumé on peut présenter les termes climatiques selon les points suivants :

- la pluviométrie moyenne est de l'ordre de 365.08 mm
- moyenne des températures comprise entre 9.77 et 21.20 °C
- le climat de notre terrain d'étude est caractérisé par la présence d'une période sèche de 4 mois et une autre période humide de 8 mois.
- L'évapotranspiration est très importante pour les stations de Merouana et Hamla.
- Le ruissellement et l'infiltration calculés sont de l'ordre de :  
R= 48.6 mm, I=1.04 mm , R =26.2, I =14 mm.

## Chapitre IV : Etude quantitative et qualitative de l'érosion

### 1. Evaluation de la lame d'eau écoulée :

Dans cette étude, on se base sur cinq formules empiriques qui s'intéressent à deux facteurs principaux; la surface et la moyenne des précipitations annuelles. Les formules proposées ont été appliquées en Algérie :

#### 1.1. Formule de SOGREAH (1989)

Cette formule peut être déterminée par l'expression suivante :

$$E = 720 \left( \frac{P_a - P_0}{1000} \right)^{1,85} \rightarrow (1)$$

$$\text{A.N : } E = 720 \left( \frac{365.08 - 150}{1000} \right)^{1,85} \rightarrow E = 41.9 \text{ mm}$$

Où :  $P_a$  : précipitation moyenne = 365.08 calculé par la méthode de THISSEN.

$P_0$  : précipitation moyenne, pour les bassins situés dans les zones semi arides et subhumides (150 mm)

#### 1.2. Formule de SAIDI (1990) :

Cette formule peut s'écrire de la façon suivante, où :

E : lame d'eau Ecoulée en mm

P : pluie moyenne annuelle en mm

$$E = 13.23 \left( \frac{P_0}{1000} \right)^{2.27 \times 13,536} \rightarrow (2)$$

$$\text{A.N : } E = 13.23 \left( \frac{365.08}{1000} \right)^{2.27 \times 13,536} = 42.36 \rightarrow E = 42,36 \text{ mm}$$

### 1.3. Formule de ADJEL- SMAIL (1985) :

Le facteur déterminant dans cette formule selon l'auteur est la pluviométrie. La formule se présente sous la forme suivante :

$$E = \left(\frac{P}{60}\right)^{2.15} \rightarrow (3)$$

$$\text{A.N : } E = \left(\frac{365.08}{60}\right)^{2.15} \quad E = 48.54 \text{ mm}$$

### 1.4. Formule de l'ANRH :

La formule proposée prend en considération la surface du bassin et la pluie moyenne annuelle, se présentant de la manière suivante :

$$A = 0.915.P^{2.684}.S.10^6 \rightarrow (4)$$

$$E = \frac{A}{S10^3}$$

$$\text{A.N : } E = 38.26 \text{ mm}$$

### 1.5. Formule de SAMIE :

La formule offre de bonnes résultats pour les Grands bassins;se détermine par la relation suivante:

$$E = P^2(293 - 2.2 \times S^{0.5}) \rightarrow (5)$$

$$\text{A.N : } \quad E = 365.08(293 - 2.2 \times 162.5^{0.5}) \quad E = 35.32 \text{ mm}$$

On peut dire que la formule de SOGREAH présente une valeur élevée ; avec 612.93 T/km<sup>2</sup>/an. Cette valeur ne signifie pas ; que le bassin vraiment nous donne cette valeur en faisant une petite comparaison avec les autres formules et l'aspect qualitative de l'érosion dans le bassin ; on peut dire que les formules de TIXIRONT et de l'ANRH peuvent présenter

des valeurs acceptables, en parallèle avec les données lithologiques et climatiques dominants dans le bassin étudié.

### **Conclusion :**

D'après tout ce qui a précédé on peut dire que les trois premières formules présentent des valeurs rapprochées ; elles reflètent l'influence de la surface ainsi la pluie moyenne annuelle dans l'importance ou pas de l'écoulement.

## **2. Détermination de l'apport annuelle :**

Le rôle de l'apport annuel est très important non seulement dans la destination des ouvrages mais; dans l'évaluation de l'érosion

$$E_{(mm)} = \frac{Q}{S} \cdot 31536 \quad \rightarrow (6)$$

Où : Q : débit moyen annuel en m<sup>3</sup>/s

Va : apport moyen annuel en hm<sup>3</sup>/an

S : surface du bassin étudié en km<sup>2</sup>

$$Q_{m^3/s} = \frac{E \cdot S}{31536} ; \text{D'où :}$$

$$E = 41.90 \text{ mm} \quad \text{et} \quad S = 161.50 \text{ km}^2$$

**A.N :**

$$Q = 0.21 \frac{m^3}{s} \quad ; \quad Va_{(hm^3/an)} = E \frac{S}{1000} = \bar{Q} 31.536$$

$$\text{A.N :} \quad Va = 41.90 \frac{161.50}{1000} \approx 6.76 \quad \rightarrow \quad Va = 6.76 (hm^3 / an)$$

Comme résumé on peu dire que le bassin offre un volume en eau important estimé de 6.76hm<sup>3</sup>/an

## **3 .Crues de projet (débit maximum) :**

On appelle crue de projet le seuil, plus ou moins explicite au-delà duquel on estime les crues suffisamment peu probables pour qu'on puisse se dispenser d'en tenir compte dans l'établissement du projet d'un ouvrage donné sur un cours d'eau donné. Le choix de la crue de projet relève donc de l'appréciation souveraine de l'ingénieur suivant :

L'étendue des risques qu'une crue supérieure à la crue de projet pourrait faire courir aux personnes et aux biens par dépassement d'une certaine cote ; d'une certaine vitesse de montée ou d'un certain débit.

### 3.1 Estimation de la crue de projet :

#### 3.1.1 Méthode de TURAZZA :

Cette méthode part d'une pluie de projet d'intensité constante elle postule d'autre part, compte tenu de la nette décroissance des courbes d'intensité durée que la pluie qui générera le débit maximum est celle de durée égale au temps de concentration  $t_c$ .

Elle décrit l'égalité des volumes.

$$Q_{\max_{F\%}} = cPt_c S / 3.6T_c$$

Où : C : coefficient de ruissellement.

$Pt_c$  : pluie de durée  $t = t_c$  de fréquence donnée peut être calculée par la formule suivante :

$$Pt_{c_{F\%(mm)}} = Pj_{\max_{F\%(mm)}} \times \left( \frac{T_c}{24} \right)^b$$

S: surface du bassin versant.

$T_c$  : temps de concentration (durée de l'averse en heures).

b : exposant climatique.

$P_{j\max_{F\%}}$  : déterminé grâce à l'équation suivante :

$$P_{j\max_{F\%}} = \frac{\bar{P}_j}{\sqrt{cv^2 + 1}} e^{\sqrt{\ln(cv^2 + 1)}}$$

Où : cv : Coefficient de variation.

$\bar{P}_j$  : Moyenne des précipitations journaliers.

$P_{j\max_{F\%}}$  : Pluie maximale journaliers de fréquence et de durée donnée

Le tableau N° 39 présente les valeurs des débits de point calculées par la méthode (TURAZZA) pour les stations de (Hamla)

**Tableau N° 39 :** Les débits maximales fréquentielles (formule de TURAZZA)

Station	Coefficient d'écoulement	0.3	0.6	0.7
	Fréquences (%)	0.5	0.9	0.99
	Période de retour	2	10	100
	Variable de GAUSS	0	1.28	2.32
Merouna	$P_{jmax_{F\%}}$ (mm)	54.4	9498	139.19
	$PT_{cF\%}$ (mm)	21.76	38.93	57.00
	$Q_{jmax_{F\%}}$ ( $m^3/s$ )	81.36	260.27	502.6
Hamla	$P_{jmax_{F\%}}$ (mm)	67.28	109.01	162.46
	$PT_{cF\%}$ (mm)	27.48	43.6	64.98
	$Q_{jmax_{F\%}}$ ( $m^3/s$ )	102.73	326.01	566.8

#### 4 .Transport solide :

Les matériaux arrachés au sol par l'érosion, atteignent le réseau hydrographique, sous quelques régimes d'écoulements distingués le régime torrentiel est le plus apte à charrier, transporter et accumuler.

- le transport solide par charriage.
- le transport solide par suspension.

#### 4 .1 Evaluation du transport solide :

Plusieurs formules ont été établies pour l'estimation du taux d'abrasion.

##### 4 1.1. Formule de SOGREAH :

SOGREAH propose la formule suivante :

$$Ta = AR^{0.15} \quad \rightarrow (1)$$

Où : A: coefficient de perméabilité dans le cas de notre terrain le bassin étudié présente une perméabilité moyenne, donc :  $A = 350$ .

R : lame d'eau écoulée.

**A.N :**

$$Ta = 350 \times (41.91)^{0.15}$$

$$Ta = 612.93T / Km^2 / an$$

#### 4.1.2. Formule de TIXIRONT :

Cette formule a été appliquée en Algérie et en Tunisie pour l'Est algérienne; TIXIRONT propose l'équation suivante :

$$Ta = 92R^{0.21} \rightarrow (2)$$

Où R : lame d'eau écoulée exprimée en (mm) .

$$\text{A.N : } Ta = 92(41.91)^{0.21} \rightarrow Ta = 201.59 T / Km^2 / an$$

#### 4.1.3. Formule de FOURNIER :

La formule présente un taux d'abrasion raisonnable dans un bassin versant a relief accentué, sous climat semi-aride, subhumide. FOURNIER propose la relation suivante :

$$A = 2.65 \log \frac{P^2}{P} + 0.46 \log \bar{H}tag\alpha - 1.56 \rightarrow (3)$$

Où : A : Transport solide exprimé en (tonne/km<sup>2</sup>/an)

$P^2$  : Pluies du mois le plus humide (mm).

$\bar{P}$  : Pluie moyenne annuelle (mm)

$\bar{H}tag\alpha$  : Coefficient topo graphique, avec  $\bar{H} = 1006.8$ ,  $P^2 = 140$ .

$$\text{A.N : } A = 226.50 T/km^2/an$$

#### 4.1.4. Formule de l'ANRH (1982) :

La formule se présentant sous la forme :

$$Tss (T/km^2/an) = 26.62 IL + 5.07 IP + 9.77 CT - 593.56 \rightarrow (4)$$

Où : Tss : transport solide spécifique moyen annuel.

IL : indice lithologique égale a la superficie des formations marneuses et argileuse du crétacé supérieur et de tertiaire exprimé en pourcentage.

Où : IL = 25%

IP : indice de précipitations érosives, produit du pourcentage des précipitation annuelles tombées sous formes des pluies supérieurs a 30mm par la fréquence.

IP = 1.70

A.N : Tss = 80 T/km<sup>2</sup>/an

**Tableau N° 40** : Résultats de calcul du transport solide selon les formules utilisées.

Formules appliquées	Taux d'abrasion (t/km <sup>2</sup> /an)
TIXIRONT	201.59
SOGREAH	612.93
ANRH	80
FOURNIER	221.5

A partir de ce tableau on peut constater que la formule de SOGREAH présente une valeur élevée ; avec 612.93 T/km<sup>2</sup>/an. Cette valeur ne signifie pas que le bassin dégage vraiment cette valeur. En faisant une petite comparaison avec les autres formules et l'aspect qualitative de l'érosion dans le bassin ; on peut dire que les formules des TIXIRONT et de l'ANRH peuvent présenter des valeurs acceptables, conformes aux données lithologiques et climatiques dominantes dans le bassin étudié.

## 4.2. Calcul de l'érosivité :

### 4.2.1. Indice De FOURNIER

$$IF = \frac{P^2}{P} \rightarrow (1) \text{ où :}$$

$p^2$  : la pluviométrie du mois le plus humide exprimée en (mm)

P : La hauteur de la pluie moyenne annuelle exprimée en (mm)

A.N :  $IF = \frac{(38.5)^2}{385} = 3.85$  , la valeur de cet indice ne correspond pas avec le bilan érosif.

**4.2.2. Indice d'ARNOLDUS - FOURNIER :**

$$IFA = \sum_{i=1}^{n/2} \frac{P^2}{\bar{p}} \rightarrow (2) \quad \text{où :}$$

P : La pluviométrie de chaque mois de l'année –mm)

$\bar{p}$  : Les pluies moyennes annuelles (mm).

A.N : IFA = 41.26      cet indice ne s'adapte pas au conditions de l' zone d'étude.

**4.2.3. Indice de WISCHMEIER**

$$R = KC^n \rightarrow (3) \quad \text{avec : } C = h_1 \cdot h_{24} \cdot H$$

$h_1$  : la hauteur maximum de la pluie tombée en 1 heure avec un temps de retour de 2 ans exprimée en (cm).

$h_{24}$  : la hauteur maximum de la pluie tombée en 24 heures, avec un temps de retour de 2 ans exprimé en (cm)

H : la hauteur annuelle moyenne de la pluie exprimée aussi en (cm).

K et n deux coefficient relatifs aux climats.

K = 0.751, n = 0.80

**Tableau N° 41: Indice d'érosivité de WISCHMEIR**

Station	$P_{jmax}$	C.V	C	Indice d'érosivité
Batna	30	0.37	0.31	47.8
Meroana	20	0.39	0.30	48
Hamla	22	0.41	0.32	41.99
N'Gaous	23	0.40	0.28	17.83

D'après le Tableau N° 41, on peut dire que : Les valeurs obtenues reflètent une action forte de l'érosion et de l'érosivité. Alors que le taux de recouvrement végétal est important sur les versants septentrionaux, où le sol est relativement protégé d'une, érosion assez faible en revanche la partie moyenne du bassin représente un domaine peu protégé où l'érosivité augmente progressivement. On peut déduire que l'indice de WISCHMEIR présente une valeur importante que celle présentée par les autres indices; ce qui veut dire que la concentration des

pluies, pendant l'heure et les 24<sup>h</sup> peuvent produire l'érosivité maximale et puis l'érosion maximale.

## **5. L'étude géomorphologique**

Cette étude a pour objectif de déterminer les grands axes de l'analyse morpho dynamique et leur participation sur le plan érosif.

En ajoutant à ce qui a été mentionné au premier chapitre à propos du cadre structural, le cadre morpho dynamique; dont le rôle intègre la dynamique fluviale et le dynamisme des versants. L'analyse factorielle des deux dynamiques est très intéressante pour aborder ce sujet.

Le bassin étudié présente plusieurs formes, provenant de l'action des eaux courantes a travers l'oued principal et ses deux affluents.

Le fonctionnement du bassin se présente par une morphogenèse évoluée. Notre terrain comporte plusieurs formes dues au dynamisme fluvial. On distingue les formes suivantes :

### **5.1. Terrasses : (étagées, rocheuses, alluviales)**

- Les Terrasses Alluviales : sont les plus répandues. Ce type de terrasses comporte : un matériaux varié (galets, cailloutis, sables, limons, argiles)
- Les Terrasses étagées sont observées juste a la partie avale du bassin près de Hidoussa.

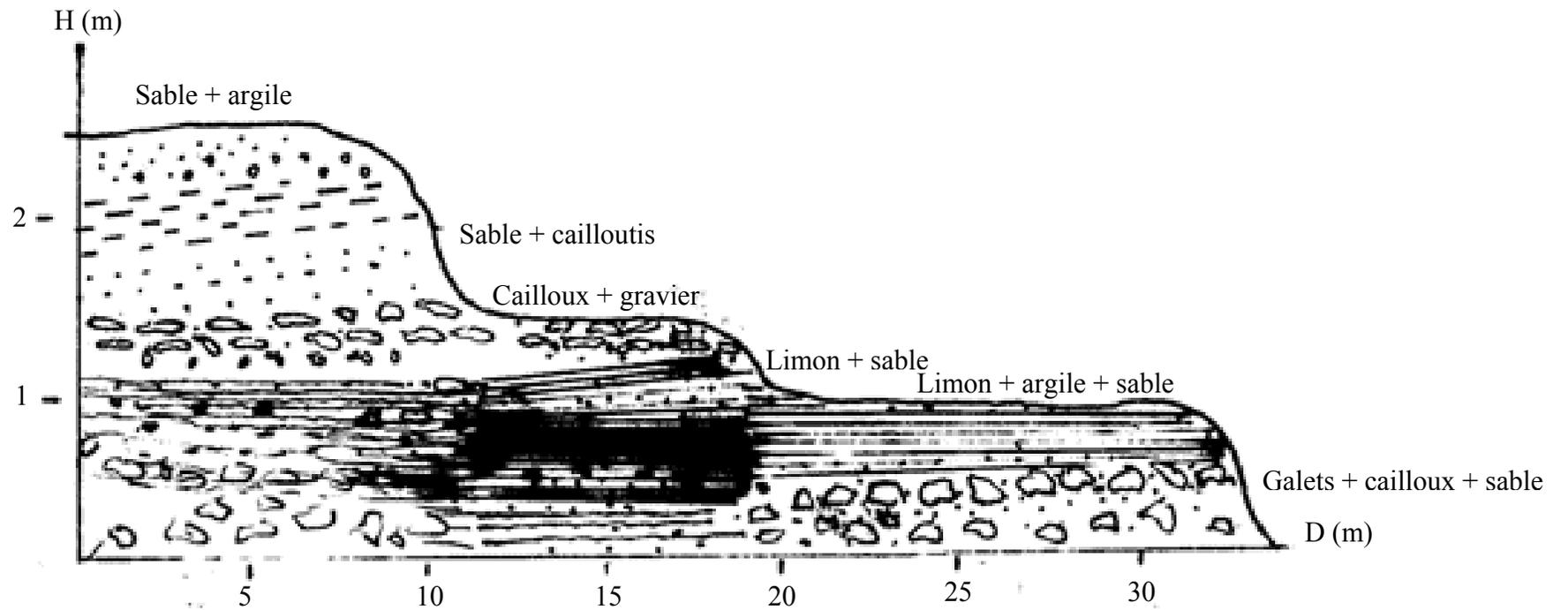
Leurs caractéristiques géométriques et lithologiques se présentent sur la figure N° (32).

### **5.2. Méandres :**

Ce sont des formes sinueuses qui résultent de la concentration et l'accélération de l'érosivité sur la rive concave. Le lit mineur lui-même prend une forme sinueuse. La ligne des vitesses présente un degré de l'évolution plus au moins rapide selon les matériaux transportés, la nature lithologique du dispositif fluviale, la pente du lit de l'oued ainsi que la rugosité.

On peut observer le long du oued NAFLA plus de cinq méandres.

**Fig. (32) : Terrasses étagées (Oued Nafla)**



H : hauteur (m)  
D : distance (m)

### **5.3. Le dynamisme des courants fluviaux :**

L'érosion fluviale s'exerce à la fois sur le fond du lit : Creusement, érosion verticale et sur les rives : sapement des berges, élargissement du lit, érosion latérale ainsi que la réalisation de méandre.

#### **5.3.1. Les formes des lits**

Lit majeur (lit d'inondation) : est toute la zone que l'oued inonde et qu'il peut recouvrir d'alluvions récentes. Le lit majeur est très vaste dans sa partie aval et fortement restreint à l'amont, la largeur de l'oued peut être comprise entre 4 et 20 mètres. Le lit majeur est composé des matériaux suivants : sables, argiles, cailloutis, galets

#### **5.3.2. Lit ordinaire (lit apparent) :**

Est l'alvéole bien déterminé entre des berges, occupé par des matériaux roulés par les eaux et peu masqué. A l'inverse du lit majeur, par la végétation ou l'occupation humaine.

Ce lit ordinaire peut se modifier rapidement sous l'effet de la charge et du sapement des berges.

- composé de gravier, limons, galets, cailloutis.
- Le chenal d'étiage : n'occupe qu'une petite partie du lit apparent, ce chenal n'est pas limité par des berges nettes. Il sinue à l'intérieur du lit apparent et va d'une berge à l'autre.

#### **5.3.3. La multiplicité des chenaux :**

Le changement des débits le long de l'oued et à travers ses sections mouillées donne naissance à des chenaux multiples et variés. On peut distinguer trois formes de chenaux :

##### **5.3.3.1. Cours d'eau a chenaux anastomosés :**

Ce type de cours d'eau résulte d'un régime d'écoulement turbulent.

- l'anastomose : peut être un style fluvial en alternance avec le tressage (partie amont) de oued N'afla

### 5.3.3.2. Cours d'eau à Chenaux en Tresses

*Le tressage* : style dans lequel la nature grossière et l'abondance du transit de la charge de fond ainsi que la mobilité des formes, sont les traits dominants. Le tressage est le résultat des écoulements perturbés : point de contact entre Oued Sabone et Oued Nafla

### 5.3.3.3. Cours d'eau a chenaux rectilignes

L'écoulement tranquille se présente clairement quand les pluies offrent un caractère régulier, ainsi la fonte des neiges va produire ce type d'écoulement.

- la distinction entre lits à méandres et lits en tresses est délicate lorsque des bancs apparaissent en eaux moyennes dans un chenal sinueux. Le style à tresses est caractérisé par des bancs d'alluvions non boisés mais des formes de transitions incluent des accumulations plus ou moins boisées. (Cas de oued N'afla).

## 5.4. Formes élémentaires d'accumulation :

La texture et la morphologie des formes élémentaires du lit vif : Nous avons observés après un long trajet le long de l'oued principal et à travers ses deux affluents, plusieurs formes de bancs les bancs sont des dépôts constitués de matériaux lithologiquement hétérométriques et hétérogènes.

On distingue les formes des bancs suivants :

Bancs en croissant : partie moyenne de oued NEFLA

Bancs longitudinaux : partie avale de oued NAFLA

Bancs transversaux : partie avale de oued TITAOUNE

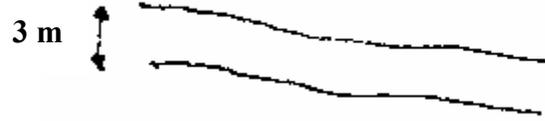
Bancs médians : se présente largement à l'exutoire.

### 5.4.1. Forme d'accumulation

Formes engendrées par le dépôt de débris de gélifraction, sous l'effet de la gravité pure ou assistée par la gélifraction ou le ruissellement

On peut remarquer les formes suivantes :

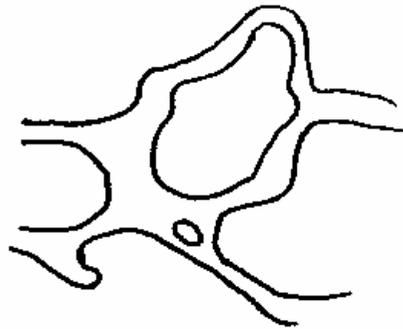
**Fig. (33) : Morphométrie des lits**



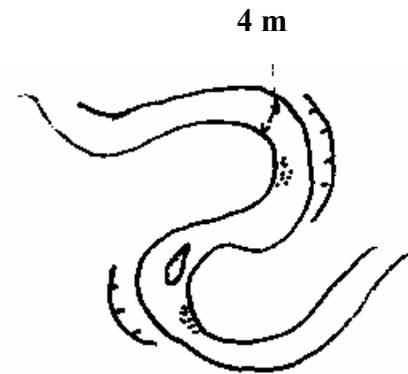
**CHENAL RECTILIGNE**



**CHENAL EN TRESSE  
(Oued Nafla)**



**CHENAUX ANASTOMOSES  
(Point de contact entre Oued Nafla et  
Oued Titaouine)**



**CHENAL A MEANDRE  
(Oued Nafla)**

Fig. (34) : Formes élémentaires d'accumulations dans des chenaux des oued étudiés



0.49 m

**BANC EN CROISSANT**  
(Partie moyenne de Oued Nafla)



0.50 m

**BANC TRANSVERSAL**  
(Partie aval de Oued Titaouine)



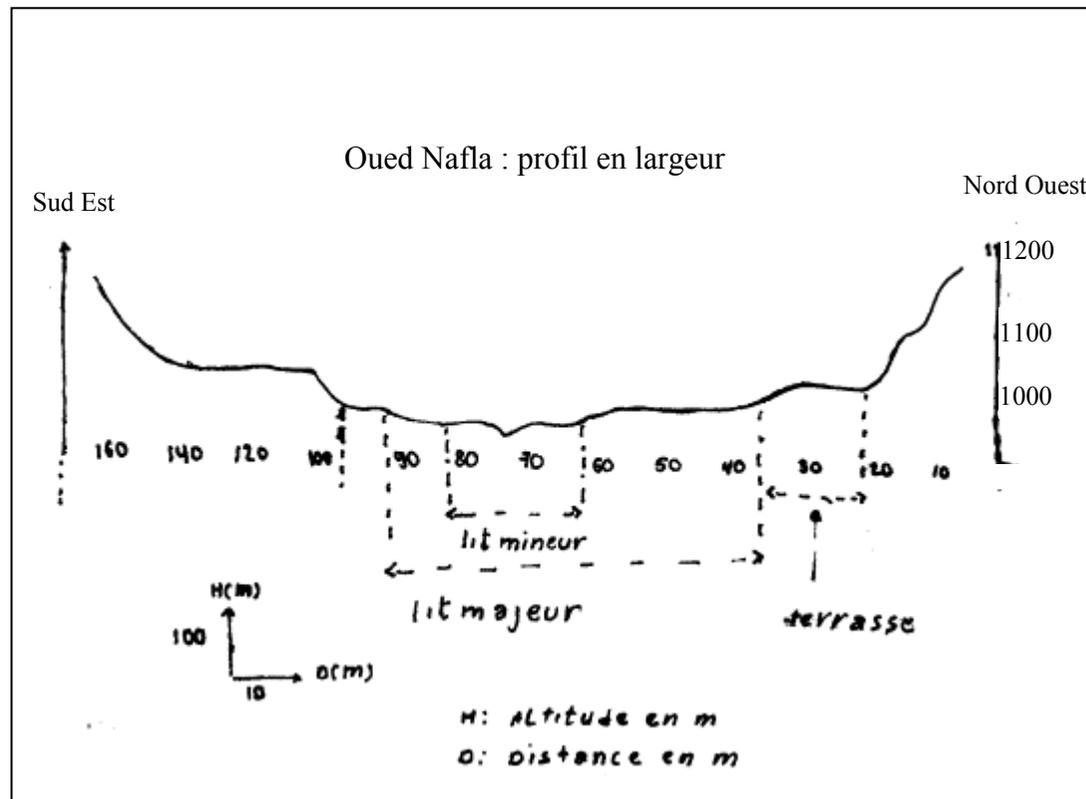
0.45 m

**BANC LONGITUDINAL**  
(Partie aval de Oued Nafla)

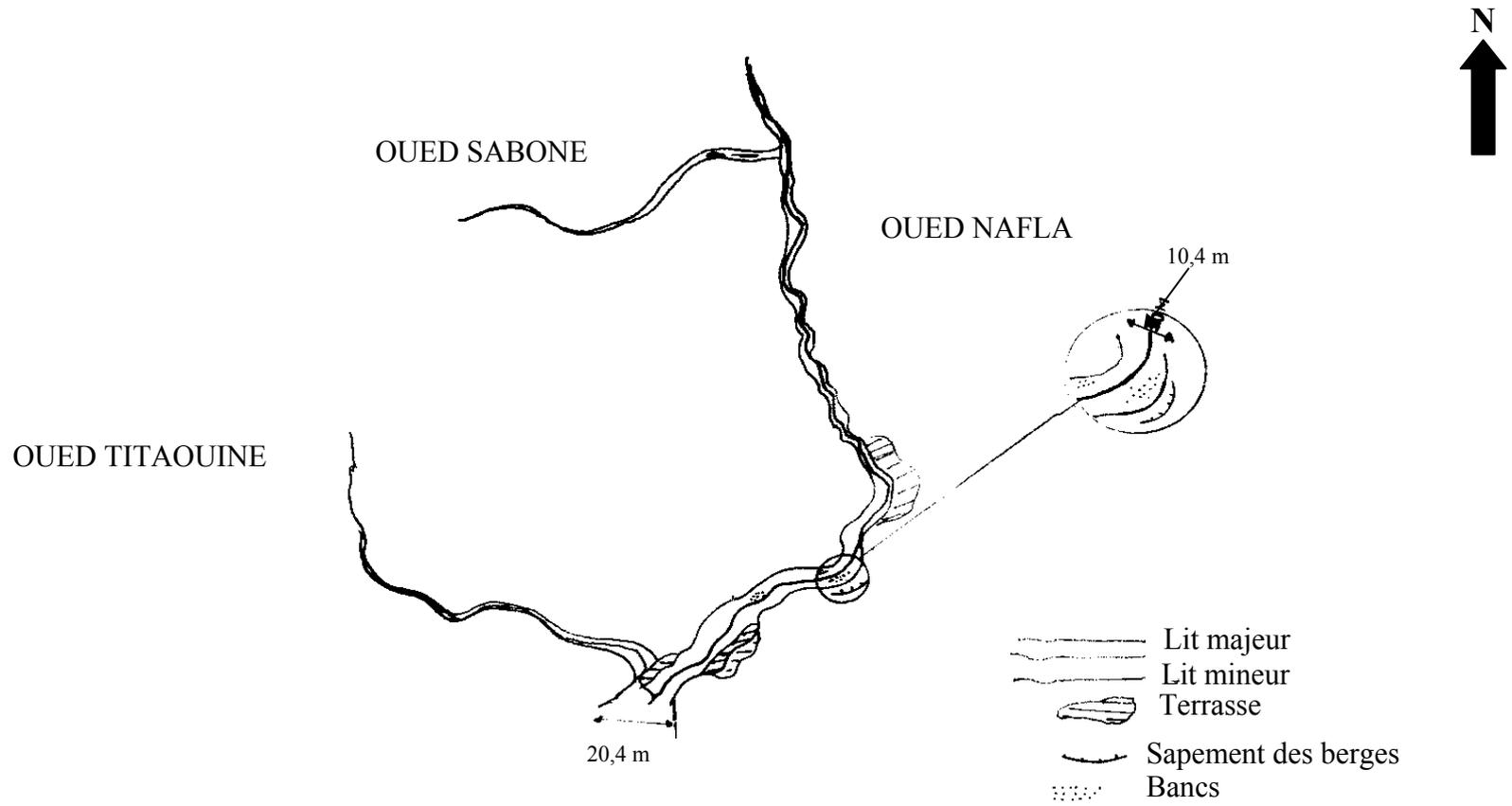


0.70 m

**BANC MEDIAN**  
(Oued Nafla)



**Fig. (35) : Dynamique des oueds**



- Eboulis périglaciaire (Refàa), Eboulis assisté par géelifluxion.
- Tablier d' Eboulis (éboulis disposé en talus au pied d'un versant nord de (DJ MHASSEUR)
- Cône d'éboulis : éboulis disposé en cône.
- Amas amorphe de blocailles ou talus d'éboulis lavé des débris fin par l'eau de percolation (KEF MANSOUR),( Dj MHASSEURE).
- Dépôt de pente formé de gélifractions hétérométrique sub-autochtone, de nature calcaire, grés, marnes

## **6. Les glacis :**

Surface plane ou légèrement concave, en pente faible  $< 8^\circ$ , au pied d'un versant raide. On distingue dans notre terrain les types suivants :

Glacis d'ablation ou de dénudation à couverture résiduelle formé de matériel en majorité autochtone ; présente deux niveaux :

- Le premier niveau présente un glacis de 80 mètres de longueur à une altitude de 1600 mètres (piémont de Dj MHASSEURE) formé de blocailles, cailloutis, encroûtement calcaire feuilleté)
- Glacis du 2<sup>ème</sup> niveau : représente le niveau le plus haut caractérisé par la présence d'encroûtement en dalle (Refàa)

## **7. Dynamisme des versants (formes et formation des pentes)**

Le versant par sa nature lithologique, et sa pente représente un domaine plus ou moins actif de point de vue morpho dynamique .Dans cette partie on peut distinguer les formes qui résultent soit d'une paléo dynamique : glacis, terrasse, cône de déjection, plaine alluvial;(formes fossilisées ou héritées) ou par une dynamique récente ;qui donne des formes vives.

### **7.1. Cône de déjection :**

Cône alluvial construit par un torrent ou un oued dont la pente diminue brusquement au débouché dans un fond de vallée.(observé en quelque sites)

## 7.2. Cône d'épandage :

Cône alluvial plat ( $\alpha < 5^\circ$ ) en forme d'éventail largement ouvert, encadré (Draa el kherraz partie avale de Oued Saboun)

## 7.3. Plaine alluviale :

Fond de vallée entièrement recouvert par les alluvions du lit majeur.

D'après tous ce qui a précédé sur l'analyse morpho dynamique et les formes produites soit d'un modelé érosif ancien (variations paléo climatiques) soit d'un système d'érosion actuel (dynamique érosive récente)

La carte d'érosion présentée sur la fig. (36) décrit le zonage de ce risque. On distingue trois classes de l'érosion selon l'importance du degrés de ravinement qui représente un facteur déterminant dans la répartition des classes.

**Classe 1 : (érosion moyenne)**, Représente les bade lands et les ravins, cette classe occupe  $30\text{km}^2$  ; Elle s'étale sur les pentes de 4 à 25% , le couvert végétale se présentant sous forme de garrigue espacé.

**Classe 2 :** Représente les pentes moyennes inférieure à 12 %, ou le taux de recouvrement végétal est fiable compris entre 10% et 20% (maquis).

**Classe 3 : (érosion faible)**, Les formes de cette classe s'étendent sur les altitudes les plus élevées, où les forêts et les maquis dense, dominant présentées dans la partie Nord Est du bassin. Les formations de cette classe reposent sur les calcaires et les calcaires marneux.

## 8. Les formes d'érosion :

Si on excepte les zones montagneuses à prédominance calcaire et calcaire marneuse, sur les quelles s'est développée une couverture végétale importante, on peut déduire que le reste du bassin est soumis à une érosion intense où prédomine le ravinement et l'érosion régressif.

- la pression démographique, la surexploitation du sol et l'absence de pratique conservatrices ont participé à l'accélération de l'action érosive surtout sur la partie aval du bassin.
- la reconnaissance de terrain et l'analyse des photos aériennes nous a permis de définir le risque en distinguant la typologie des principales formes remarquées est les zones soumises à ce risque

### **8.1. Erosion en nappe :**

Ou érosion aréolaire s'étend sur les formations marneuses, présentées comme décapage superficiel, inclus dans la zone de l'érosion faible.

### **8.2. Erosion par ravinement concentré :**

Les formes d'incision liées à l'écoulement concentré des eaux courantes, les griffes d'érosion apparaissent dès que les filets d'eau se concentrent et incisent le sol marno-argileux (érosion forte) on regroupe sous cette classe les forme suivantes :

### **8.3. Ravinement généralisé (bad lands) :**

Stade ultime de la dissection d'un versant par entaillement très ramifié.

- Ravines ramifiées
- Ravines non ramifiées :

### **8.4. Erosion par dislocation des matériaux**

Sous l'effet des processus suivants : la cryoclastie, thermoclastie et l' anthropisme. On distingue les phénomènes suivants :

- Eboulement : chute du bloc.
- Eboulement et chute d'éboulis : chute des galets et des blocailles.
- l'importance de l'action anthropique nous a permis de la classer parmi les causes principales de l'aggravation de ce phénomène. On peut remarquer plus de 20 carrières distribuées sur les terrains calcaires.

## **8.5. Erosion par mouvement de masse**

Deux glissements de terrains observés dans le bassin, le premier le plus dangereux se situe juste sous un déblais près de la route nationale n° ; Ce type de mouvement repose sur un terrain marneux argileux. Le deuxième présenté dans la partie aval du bassin sur un terrain argileux (EROSION intense)

## **8.6. Erosion par sapement des berges :**

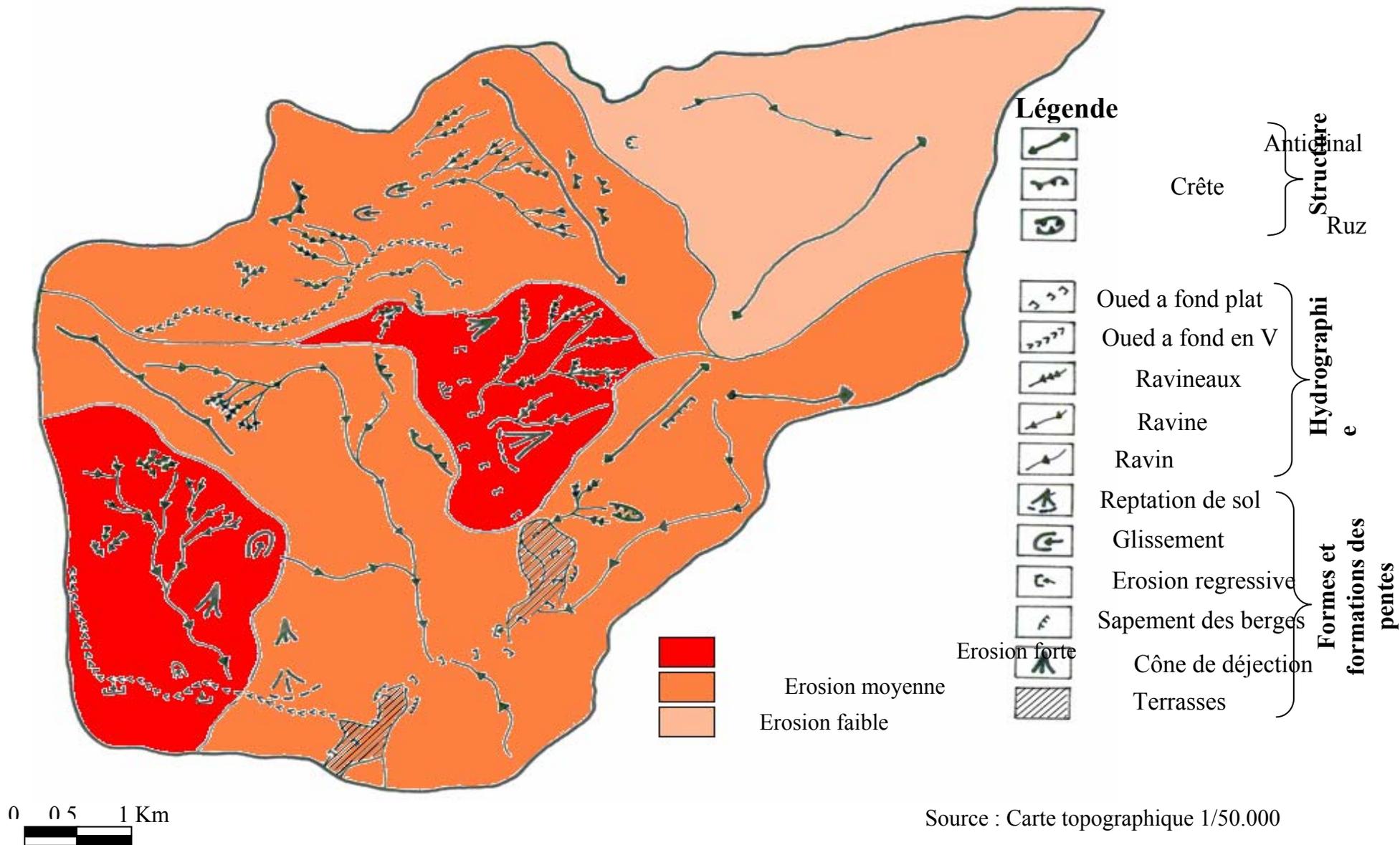
Est particulièrement présenté dans la partie moyenne et avale de oued Nafla

## **8.7. Erosion régressive :**

Ce phénomène est présenté sur les pentes moyennes et faibles. D'après tous ce qui a précédé, on peut distinguer les différentes classes de l'érosion :

- Classe de l'érosion intense : s'étale sur les pentes moyennes les plus dénudées elle regroupe les formes suivants :
  - ravinement généralisé
  - glissement de terrains.
  - Erosion qui résulte; de l' anthropisation.
  
- Classe de l'érosion moyenne à faible activité représente les formes suivantes :
  - Erosion aréolaire : éboulement, éboulis, érosion régressive et sapement des berges.
  
- Classe de l'érosion très faible s'étend sur les pentes accentuées, les plus protégées par la couverture végétale (Dj Mhasseure, Dj Tichaoua).

Fig. (36) : Bassin versant de Nafla carte d'érosion



## Chapitre V : Propositions d'aménagement

Nous avons signalé au cours de ce travail l'aggravation de ce risque qualitativement et quantitativement et en vue de donner des remèdes efficaces nous essayerons de préciser, les contraintes et les vocations du milieu; pour leur adapter des solutions adéquates.

Les propositions viseront les axes suivants :

- Amélioration des parcours
- Reboisements
- Gestion des cours d'eau

Les propositions seront accompagnées de trois figures explicatives ; Dans ce Chapitre nous allons partager notre bassin en trois secteurs, selon l'importance de l'érosion et les caractéristiques responsables du déclenchement de ce phénomène.

**Tableau N°42** : Caractéristiques des secteurs étudiés

Secteurs	Cordonnées	Couvert végétal	Lithologie	Pente (%)	Altitude (m)	Anthropisation
1	X <sub>1</sub> =254, X <sub>2</sub> =260	Maquis clair, cultures	Calcaire marneux, Marnes	10 - 35	1000-1600	moyenne
	Y <sub>1</sub> =788 Y <sub>2</sub> =792					
2	X <sub>1</sub> =249.5 X <sub>2</sub> =260	Forêt dense et clair	Calcaire, marne	> 25	1400-2000	élevée
	Y <sub>1</sub> =792 Y <sub>2</sub> =800					
3	X <sub>1</sub> =249.5 X <sub>2</sub> =258	Garrigue cultures	Marne Argile Alluvions	< 12	1000-1400	faible
	Y <sub>1</sub> =787 Y <sub>2</sub> =792					

Le secteur 1 présente un domaine de contact avec les effets chauds provenant du Sahara ; dans ce secteur on remarque : la présence de quelques dunes à l'échelle centimétrique même le vent qui souffle le plus souvent sur ce secteur ; en Eté est chargé de sable. Par ailleurs, l'espace réservé à l'arboriculture dans ce secteur est profondément influencé par les vents, d'où l'abondant de plusieurs parcelles par les agriculteurs, ce qui prélude déjà à un ravinement qui ne tardera pas à se généraliser.

Il est nécessaire alors d'envisager une protection pour diminuer les effets du vent sur ces espaces fragiles. Les techniques des brise-vent ont déjà montré leur efficacité.

### 1. Amélioration des parcours :

Les différentes zones utilisées comme parcours, sont déterminées dans le plan d'aménagement pour les trois secteurs ; on distingue trois types de parcours des altitudes élevées : secteur 2, parcours des altitudes moyennes : secteur 1, parcours des basses altitudes secteur 3.

Nous avons proposé un plan d'aménagement axé sur deux aspects principaux :

**Protection** : par organisation des périodes de pâturage.

**Exploitation** : on peut utiliser le parcours comme domaine de production, fourragère.

Les deux critères proposés dans l'amélioration des parcours sont présentés dans le tableau ci-dessus :

**Tableau N° 43** : Amélioration, au niveau des parcours

Exploitation	Protection
Plantation des végétaux : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Herbacées (fourragères)</li> <li>• Fruitières (arborées)</li> </ul>	1. installation des : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Seuils</li> <li>- banquettes</li> <li>- butte gazonnée</li> </ul> 2. organisation des pâtures. 3. interdiction de pâture

**Tableau N° 44 : Plantes utilisées pour l'amélioration des parcours**

Plantes herbacées	plantes arborées
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Stipa tenacissima</i></li> <li>• <i>Artemisia campistre.</i></li> <li>• <i>Artemisia herba alba</i></li> <li>• <i>Noea spinsossime</i></li> <li>• <i>Aristida purgens</i></li> <li>• <i>Lugeum spartume.</i></li> <li>• <i>Plantago albicans</i></li> <li>• <i>Schinus baratus</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Pistchia atlantic</i></li> <li>• <i>Ziziphus lotus.</i></li> <li>• <i>Opuntia ficusindica</i></li> </ul>

Les plantes utilisées pour la protection ; sont choisies en fonction de leurs exigences écologiques notamment la qualité des sols et l'altitude, cette dernière conditionne les températures et l'humidité (gradient altimétrique) dans le tableau ci-dessus :

**Tableau N° 45 : Protection des parcours**

<i>Cedrus atlantica</i>	Calcaire siliceux, Altitudes élevées
<i>Juniperus phonicea</i>	Calcaire marneux, Altitudes élevées
<i>Cupressus sempervirente</i>	Calcaire siliceux, moyenne à faible altitude
<i>Cupressus arisonica</i>	Altitude faible

## 2. Gestion et drainage des eaux

### 2.1. Drainage des eaux

L'analyse des différents composants du bassin nous a permis d'identifier le drainage et l'évacuation des eaux courantes ; basés sur trois ouvrages principaux, banquettes, levées de terre, fossé de protection. Le réseau de drainage est composé des éléments suivants :

- Le collecteur principal, qui reçoit les eaux drainées par les collecteurs secondaires ou de banquettes (exutoire).
- le collecteur secondaire soit par le canal de fossés de protection ou de ruissellement ou d'évacuation initiale, peut être naturel (ravin) ou artificiel (aménagé)

## **2.2. Les principaux avantages du drainage :**

Le drainage améliore considérablement l'aptitude aux écoulements dans un bassin versant et permet un équilibre des composantes stables du géosystème notamment :

- Une meilleure collecte des eaux
- L'aération des sols
- Une pénétration plus profonde des racines
- Une meilleure nitrification.

L'évaluation des eaux se fait par l'installation d'un réseau de drains et l'aménagement des cours d'eau principaux, le cas de oued Titaouine

## **2.3. Gestion et protection des cours d'eau**

Les cours d'eau ont de multiples utilités dans les actions agricoles en plus d'offrir un habitat aquatique et un abri à la faune, les cours d'eau sont des récipients pour l'eau de surface et souterraine.

Les méthodes de gestion et protection des cours d'eau proposées sont :

### **2.3.1. Voies d'eaux enherbées :**

- Protègent les voies de drainage contre l'érosion aréolaire
- Agissent comme un filtre en absorbant certains éléments chimiques contenus dans les eaux de ruissellement.
- Offrent un habitat faunique.
- Retiennent les sédiments de sols en suspension.
- Retiennent la vitesse de l'écoulement cette technique peut être appliquée dans les sites : (oued – Titaouine- Chaabet – Tidourt)

### **2.3.2. Bande riveraine de végétation :**

Etablies le long des rives des cours d'eau, peuvent stabiliser les berges fragiles les plus érodées par le ruissellement. Elle empêchent ainsi les sorties de drains de s'emplier des sédiments, une couverture de graminée protège le sol, retient les palissades des rives et parvient l'accumulation (le long de oued Nafla)

Les bandes riveraines fournissent un filtre ou une barrière contre les sédiments transportés par les ruissellements, régularisent le cycle hydrologique par l'évapotranspiration de ses plantes.

Pour mieux préciser le type de reboisement on réserve pour ce but les caractéristiques de la formule de WHICHEMEIRE.

### 3. Formule de WISCHMEIR :

Cette hauteur propose une formule prenant en considération les facteurs les plus influents dans l'entraînement des matériaux arrachés.

L'érosivité des sols, les caractéristiques de pente, la granulométrie et l'anthropisation la formule peut s'écrire de la façon suivante :

$$TSS_{(T/ha/un)} = R.K.LS.C.P.$$

Où : R : indice d'érosivité =  $KC^n$

$$K : \text{facteur d'érodibilité} = 2,2 M^{1,14} \times 10^{-4} \times (12-a) + 3,25 (b - 2) + 2.5 (c - 3)$$

$$Ls : \text{facteur topographique} = \frac{\sqrt{3,28 * L}}{100} * (0,076 * S^2 + 0,53 * S + 0,76)$$

S : pente de la parcelle

L : longueurs de la parcelle.

C : indice de pratique de conservation des sols.

P: indice de pratique de conservation de sol

Nous avons subdivisé la zone d'étude en 3 zone homogènes et chaque zone peut être un champs d'évaluation expérimentale pour l'érosion .Les zone adoptées se présentant comme suit :

**Zone 1** : à caractère montagneux

**Zone 2** :L'aire des piémonts

**Zone 3** : comporte les glacis, les terrasses, les plaines.

Le tableau N° 47 présente les valeurs de l'érosion calculées selon la formule de WISCHMEIER, pour les trois zones expérimentales :

**Tableau N° 46 : Caractéristiques des zones étudiées :**

	Morphologie	Lithologie	Altitude	Granulométrie					Matière organique	
				A	L <sub>F</sub>	L <sub>G</sub>	S <sub>F</sub>	S <sub>G</sub>		
<b>Zone : 03</b>	Terrasses Glacis, plaines	Limons éboulis, marnes	1300	Couvert végétal, terre nue	34	32	6.23	10. 5	7.30	2.23
<b>Zone : 02</b>	Monts	Marnes calcaires	1600	Forêt dense	25	35	10	8	22	1.5
	Monts	Calcaire marne, grès	1400	Forêts	15	30	30	6	7	2.15
<b>Zone : 01</b>	Piémonts	Calcaires et marnes		Garrigues + terres nues	57.3	14.2	12.5	8.7	7.1	2.08

**Tableau N° 47 : Valeurs moyennes de l'érosion selon la méthode de WHISCHMEIRE**

	R	K	L <sub>s</sub>	C	P	Tss(t/ha/an)
<b>Zone : 1</b>	16.1	0.27	3.18	1	1	45.29
<b>Zone : 2</b>	51.61	0.17	7.56	1	1	34
	137	0.66	7.51	1	1	20
<b>Zone : 3</b>	161,8	0.15	3.27	1	1	78.97

D'après le tableau N° 48, on constate que la zone 3 présente un taux d'abrasion élevée; On peut justifier ce résultat par l'absence d'un taux de recouvrement végétal important et un sol à texture fine. L'érosion moyenne arrive à 45.3 t /ha/an.

Les dimensions des parcelles expérimentales sont les suivants :

L = 100 m , L<sub>2</sub> = 100 m , L<sub>3</sub> = 100 m

I = 20 m , I<sub>2</sub> = 20 m , I<sub>3</sub> = 20 m

P : 12% , P<sub>2</sub>=20% , p<sub>3</sub>=25%

Où :

L : longueur de la parcelle , I : largeur de la parcelle, p : pente de la parcelle

Les résultats de l'évaluation de l'érosion obtenus par la formule de WISCHMEIER nous semblent assez proches de la réalité, les paramètres qui peuvent être modifiés dans le but de limiter la dynamique érosive concernent surtout ; l'indice cultural (c) et la nature des aménagements (p), ceci en fonction des contraintes et des atouts qui caractérisent Chaque secteur.

#### **4. Le reboisement :**

Ce processus de fixation de sol et de diversification de l'espèce végétale est basé sur :

- La nature de sol.
- Qualité de plante efficace.
- Conditions de translation.

Tableau N° 48 : Plantes utilisées dans le reboisement

<b><u>Résineux</u></b>	<i>Pinus halpensis pin d'alep</i> <i>Pinus pinea</i> <i>Pinus coulteri</i> <i>Cedrus etlantica</i> <i>Juniperus phonicea</i>	Calcaire siliceux Altitudes élevées
	<i>Cuprussus semperirens</i> <i>Cuprussus arisonica</i> <i>Cupressus globra</i>	Calcaire siliceux
	<i>Abies numidica</i> <i>Pinus nigra</i>	Altitudes élevées calcaire
<b><u>Feuillus</u></b>	<i>Ilex quercus</i> <i>Quercus afares</i>	Altitudes moyennes Altitudes moyennes
	<i>Castanea vesca</i> <i>Populus nigra peulier noir</i> <i>Populus alba peulier blanche</i>	Lits des oueds Lits des oueds (calcaire + marne)
	<i>Fraxinus angustifolia</i> <i>Fraxinus dimorpha frêne</i>	Pied de monts Calcaire siliceuse)
	<i>Celtis australis</i>	
	<i>Pistatia atlantica</i> <i>Morus alba</i>	
	<i>Robinia pseudo acacia</i>	
	<i>Eleagnus angustifolia</i>	
	<b><u>Eucalyptus</u></b>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> <i>Eucalyptus geomphocephale</i> <i>Eucalyptus melliodora</i>
<b><u>Arbres fruitières</u></b>	<i>Amygdalus</i> <i>Fircus carica figuier</i>	Altitudes moyennes (plaines) (marne) Draa el Kherraz
	<i>Olea europea</i>	Calcaires, marnes
	<i>Ceratonia siliqua</i> <i>Crategus</i> <i>Monnogyna aubepine</i>	Calcaires, marnes Glacis, piémonts

## 5. Orientation du choix des profils d'ouvrages :

D'après la pente et la culture

Tableau N° 49 : Orientation du choix des profils d'ouvrages

Culture	Pente du terrain	type de banquette adopté	Secteurs(s)
	2-3%	Labours horizontaux	S <sub>1</sub> , S <sub>3</sub>
	3-6%	Culture en bandes	S <sub>3</sub>
	5 –12%	Banquette à double courbure	S <sub>3</sub>

Céréales	5-12%	Banquette à triple courbure	S <sub>1</sub> S <sub>3</sub>
	12-18%	Banquette à triple courbure	S <sub>1</sub> , S <sub>3</sub>
	18-30%	Banquette à talus coupé en v	S <sub>1</sub>
	30-50	Banquette à profil en v	S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> , S <sub>3</sub>
Céréales et arbres fruitiers	< 18%	Banquette à simple courbure	S <sub>3</sub>
	< 30%	Banquette à talus coupé	S <sub>1</sub> , S <sub>3</sub>
	< 50%	Banquette à profil normal	S <sub>3</sub> ,S <sub>1</sub>
Arbres fruitiers	< 30%	Banquette à talus coupé	S <sub>1</sub> ,S <sub>3</sub>
	< 50%	Banquette à profil normal	S <sub>3</sub>
Vigne	< 30%	Banquette à talus coupé	S <sub>2</sub>
Pâturage et reboisement	< 60%	Banquette à profil en v	S <sub>2</sub>

Le choix cultural présente des adaptations distinguées et variées en fonction des pentes.

## 6. Correction torrentielle

C'est une technique qui a pour objectif de limiter les écoulements (briser la vitesse de l'écoulement) dans les cours d'eaux qui présentent des régimes torrentiels. Dans notre cas le bassin étudié présente un ravinement important dont l'évolution se fait progressivement pour empêcher l'agressivité de ce régime érosif.

Il faut introduire un modèle correctif sur les cours d'eaux qui connaissent une forte dégradation. La mise en place de cette technique passe par une identification initiale des sites les plus touchés et une exécution des travaux convenable. On détermine le nombre de seuils par la formule suivante :

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

Où :

**L** : longueur de ravin en m

**P** : pente du ravin à consolider

**I** : pente de compensation = 0.01

**H** : profondeur

Tableau N° 50 : Correction torrentielle dans le site étudié.

N° de Oued	Longueur (m)	Largeur (m)	Hauteur (m)	Pente %	Nombre des seuils	Espacement	Epaisseur	
1	200	10	2	15	14	14.2	0.4h	0.6
2	100	6	1	9	8	12.5	/	/
3	150	5	1.00	12	16.5	9.09	/	/
4	400	3	1	10	36	11	/	/
5	20	0.1	0.8	10	3	6.3	/	/
6	300	1.5	1.20	16	36	8.5	/	/

Les oueds concernés par la correction torrentielle sont présentés dans la carte des propositions. Nous avons remarqués pendant les sorties répétitives l'évolution de l'oued principal vers les berges (sapement des berges + érosion régressive). Pour la protection des berges contre ce sapement l'ouvrage proposé est le gabion.

## 7. Gabions :

On peut utiliser les deux types suivants : Gabion cage, Gabion semelle.

### 7.1. Caractéristiques des gabions proposés :

Dimension de la cage	Dimension du gabion semelle
Longueur : 4m	Longueur : 4m
Largeur : 1m	Largeur : 1 m
Hauteur : 1 m	Hauteur : 0.5 m

### 7.2. Murs de soutènement :

Deux types de murs seront utilisés dans ce domaine, on peut utiliser un mur a parement vertical pour soutenir les talus non stable et murs de soutènement a parement incliné pour les talus résistantes.

Les formules suivantes nous permettent de préciser l'épaisseur des murs :

**7.2.1. Mur à parement vertical :****Formule de DAMRUN :**

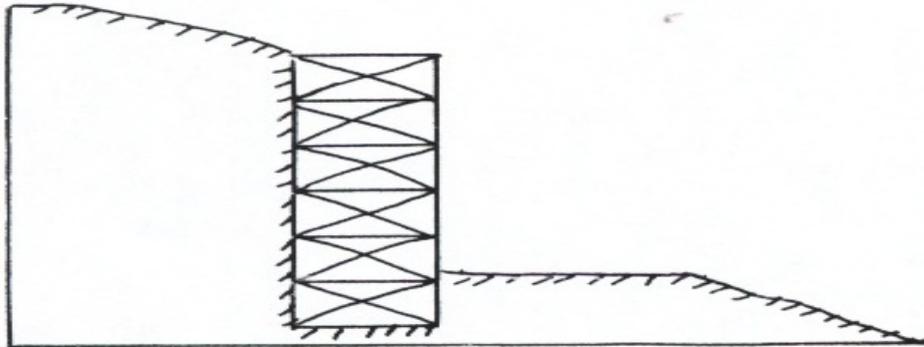
$$E = 1/3 H + 1/5 h$$

**7.2.2. Mur a parement incliné (en gradins) (Voire fig.37)**Épaisseur a la base  $e_1 = 0.54 (H + h)$ Épaisseur moyenne ; selon poncelet =  $0.286 (H + h)$ 

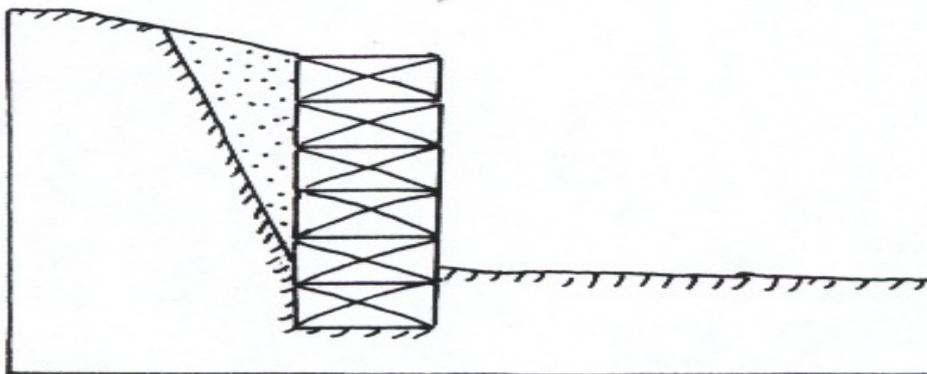
La mis en place d'un programme anti-érosif est assez complexe ; elle ne peut se faire sans adhésion de nombreux partenaires (agriculteurs, ingénieurs, techniciens, chercheurs,...)

A travers ce sujet et pour aborder le problème de l'érosion nous avons déterminé les principes qui peuvent être retenus pour limiter efficacement l'érosion. Pour ce but nous avons précisé l'érosion quantitativement et qualitativement. Les techniques qui s'adaptent à notre terrain sont présentées selon les caractéristiques de chaque secteurs .Finalement on peut dire que le problème de l'érosion ne cesse de détruire le pouvoir producteur de sol, et la richesse floristique; ce qui favorise l'exode rural d'une manière ou d'une autre.

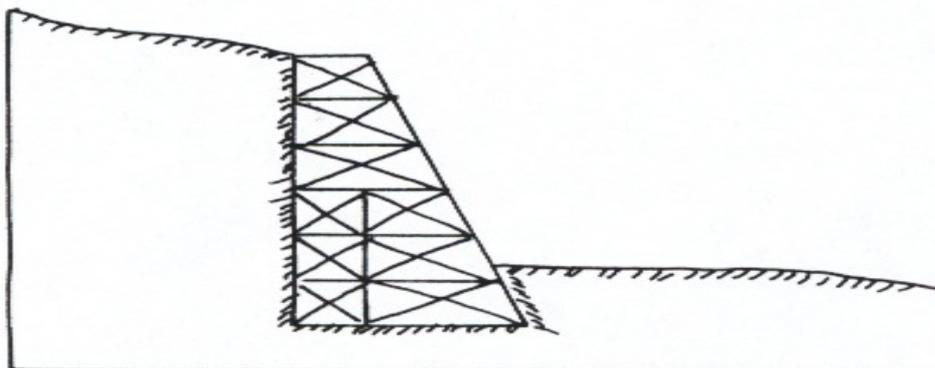
**Fig. (31) : Murs de soutènements**



Mur à parement vertical

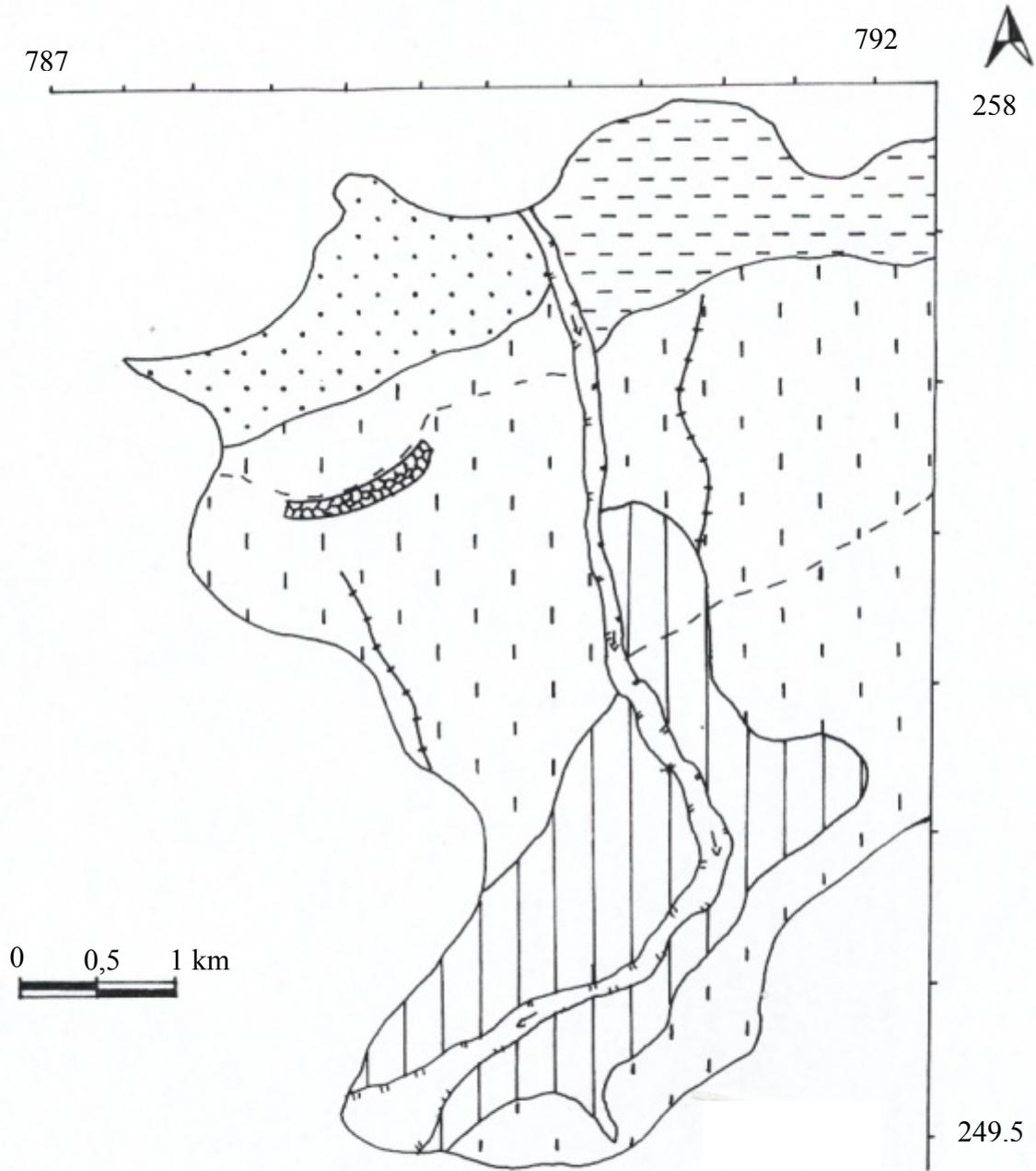


Mur à parement vertical



Mur à parement incliné

**Fig. (34) : Plan d'aménagement : secteur 3**



- |                         |  |                           |  |
|-------------------------|--|---------------------------|--|
| Correction torrentielle |  | Reboisement               |  |
| Protection des berges   |  | Amélioration des parcours |  |
| Ouverture des pistes    |  | Céréales                  |  |
|                         |  | Arboriculture             |  |

**Fig. (32) : Plan d'aménagement : secteur 1**

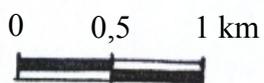
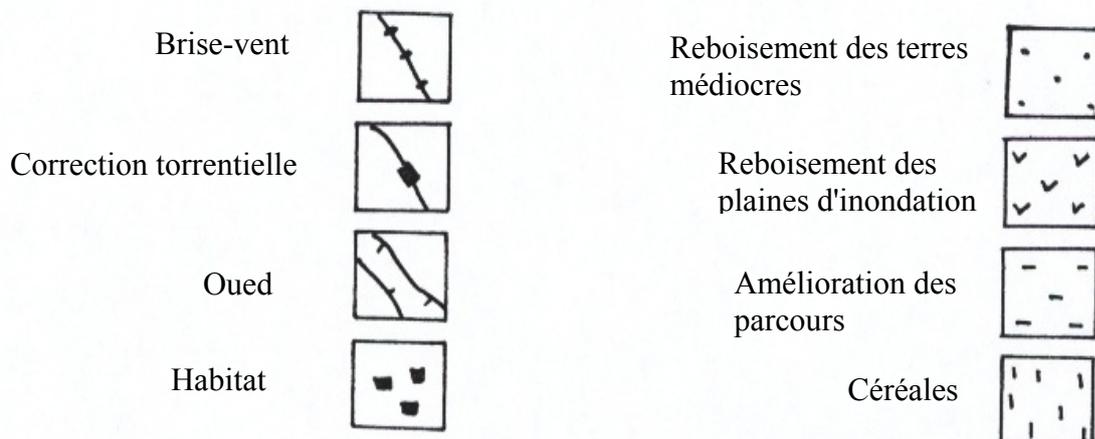
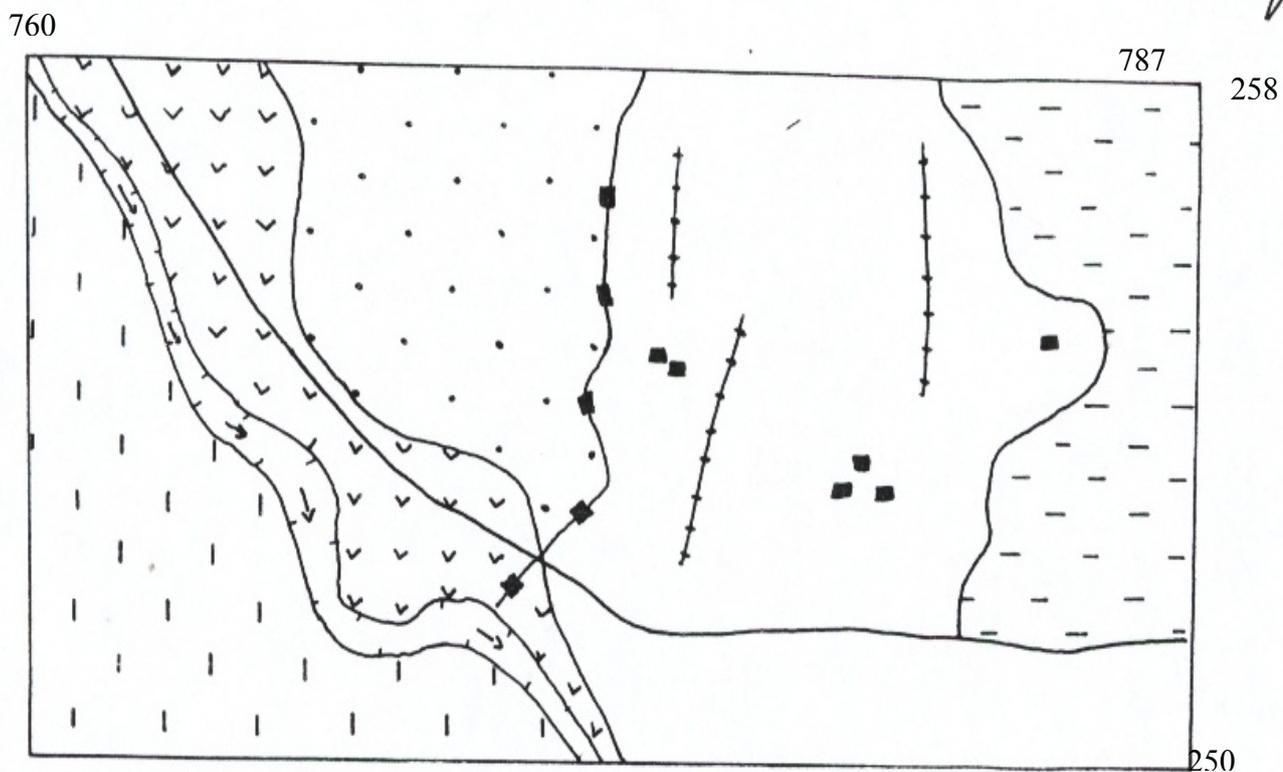


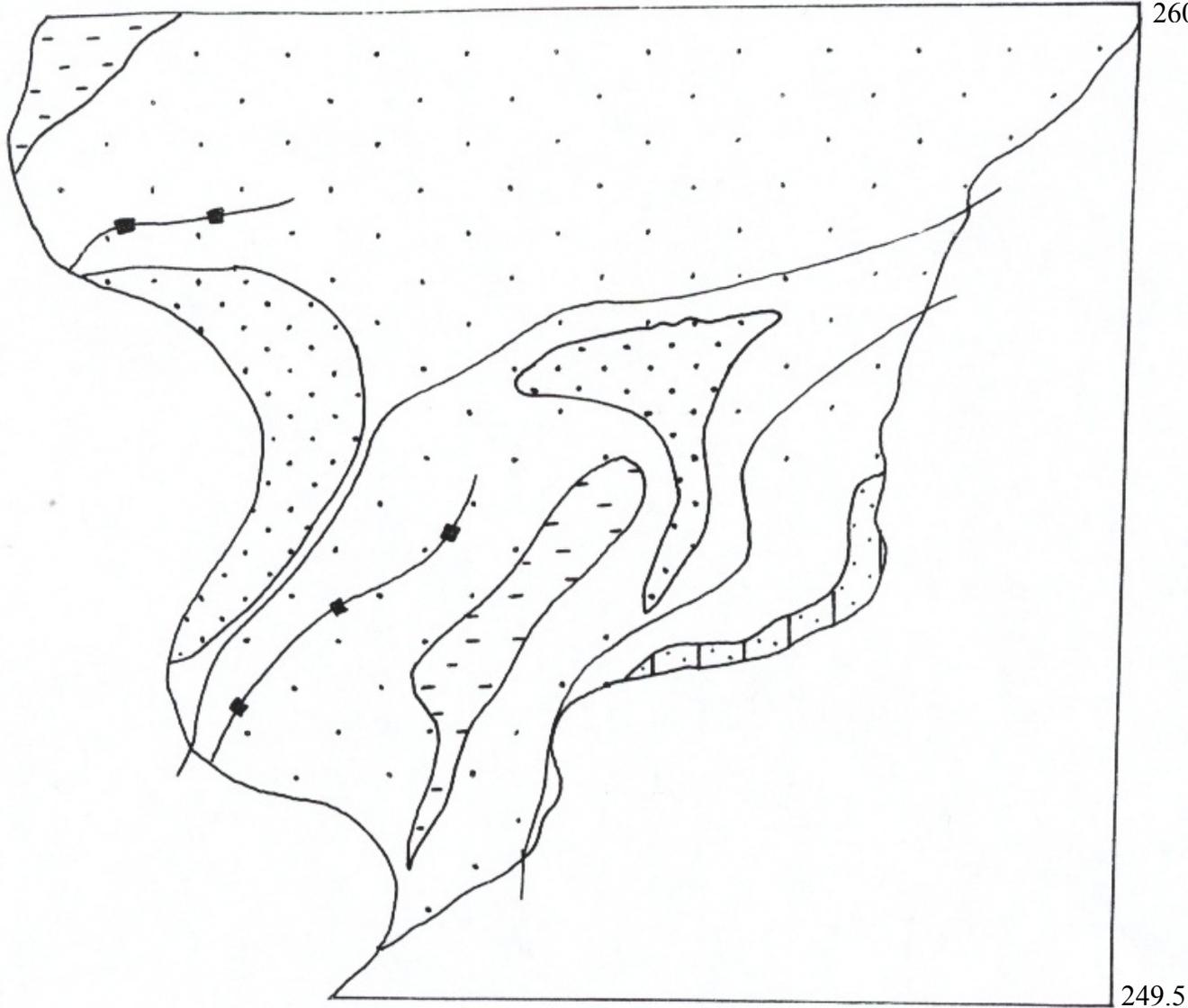
Fig. (33) : Plan d'aménagement : secteur 2



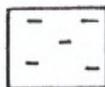
792

800

260



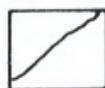
Amélioration des  
parcours



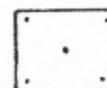
Correction torrentielle



Oued



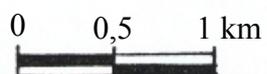
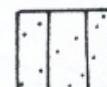
Reboisement  
d'intensification



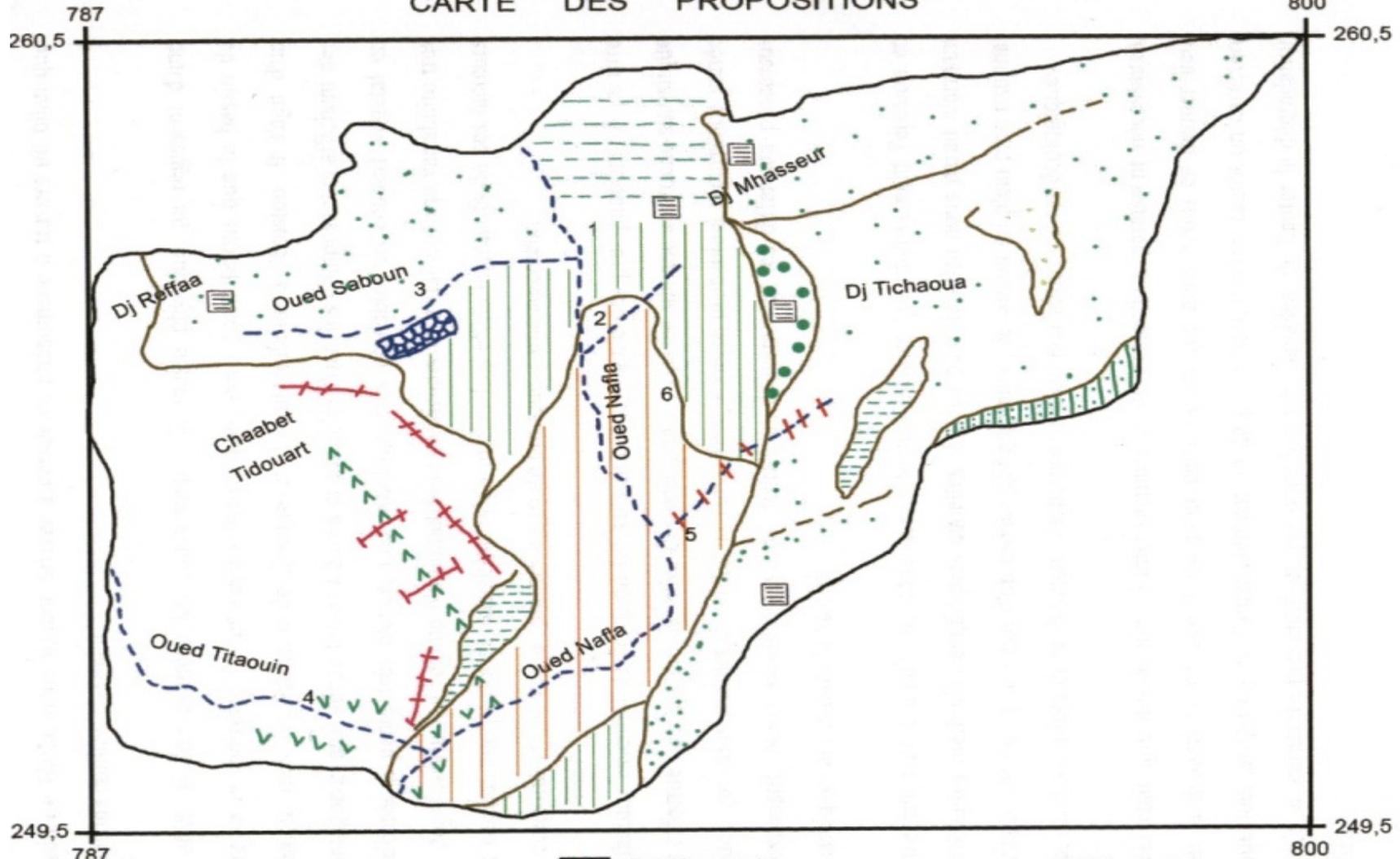
Reboisement



Reboisement de  
protection



# CARTE DES PROPOSITIONS



-  Correction torrentielle
-  Banquette
-  Protection des berges
-  Ouverture des pistes

-  Reboisement
-  Reboisement de protection
-  Reboisement d'intensification
-  Amélioration des parcours
-  Amélioration des plaines d'inondation

-  Céréales
-  Arboriculture
-  Brise vent
-  Oued

## Conclusion générale

A l'issue de ce travail de recherche axé sur l'aspect qualitatif et quantitatif de l'érosion dans le bassin de Nafla, nous sommes arrivés à cerner ce phénomène à travers un bilan que nous considérons comme alarmant.

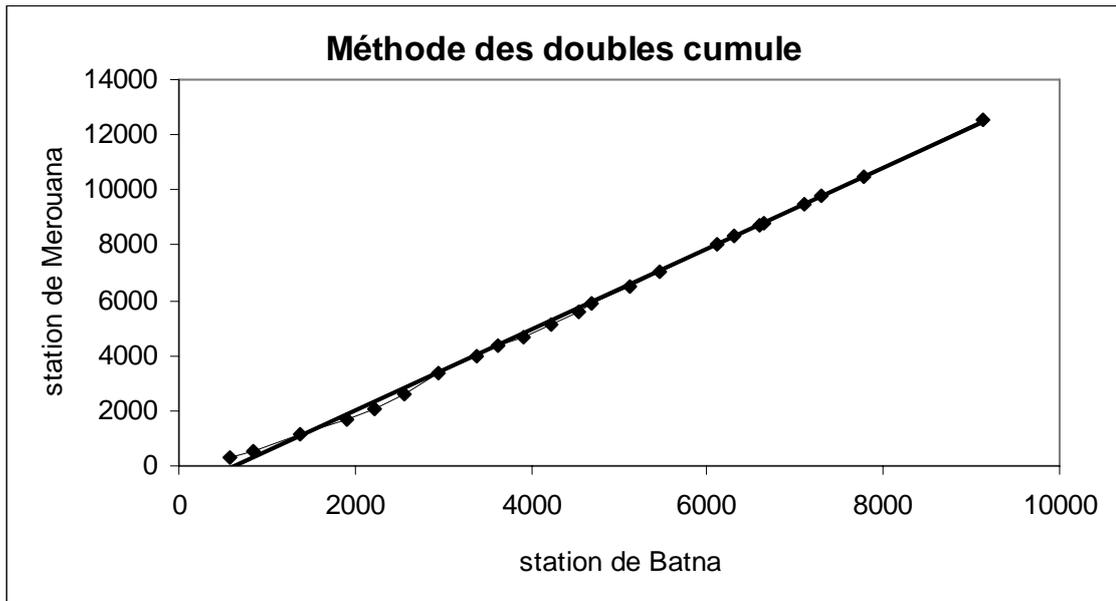
En effet, si l'on examine les composantes du milieu physique qui régissent d'une manière directe et indirecte les processus dynamiques, nous constaterons que le bassin de Nafla rassemble tous les facteurs de fragilité et de vulnérabilité à l'érosion. Il s'agit d'un milieu montagneux aux géosystèmes fragiles et instables dont, les composantes affichent des reliefs accidentés à pente très élevée, une lithologie très érodable, un couvert végétal en perpétuelle dégradation, un régime pluviométrique capricieux et instable d'une variabilité très marquée et surtout une profonde socialisation du milieu. Les effets interactifs de ces facteurs aggravants constituent une réelle contrainte à toute pratique d'aménagement.

Le facteur essentiel de l'érosion est sans doute le régime des précipitations. A ce titre nous avons effectué une analyse détaillée des précipitations basée sur une approche statistique (fréquentielle), qui nous permet d'estimer la lame d'eau écoulée probable à récurrence variée sans être exhaustif. Nous avons essayé de décrire et d'inventorier les différents processus morphodynamiques actifs dans le bassin.

Outre cet aspect qualitatif, nous avons tenté d'évaluer quantitativement l'érosion en utilisant différentes méthodes empiriques usuelles. Sur ce plan, le bilan nous paraît alarmant ( $600 \text{ T/km}^2/\text{an}$ ), surtout qu'il s'agit d'un espace géographique, se situant en plein parc national de Belezma, où des équipes de techniciens s'acharnent à maintenir les équilibres écologiques.

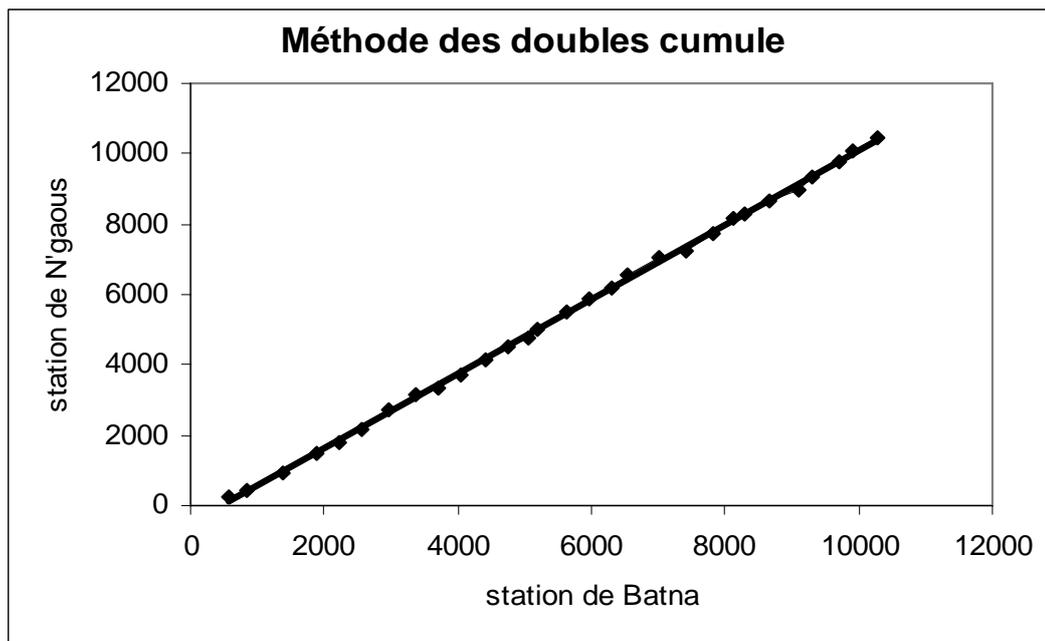
Il est clair que des actions d'aménagement et de protection, paraissent nécessaires, pour freiner la dynamique érosive. C'est pour cette raison que nous avons en dernier lieu, introduit quelques propositions d'aménagement, et de protection, qui ont tantôt un caractère curatif, tantôt un caractère préventif, et que nous jugeons capables, de limiter la dégradation dans ce bassin.

Quelque soit le niveau des interventions à préconiser dans ces espaces marginalisés, il est nécessaire, sinon indispensable, de mener des actions concertées avec les populations et surtout qu'elles soient bien intégrées au milieu dans sa composante naturelle et humaine.



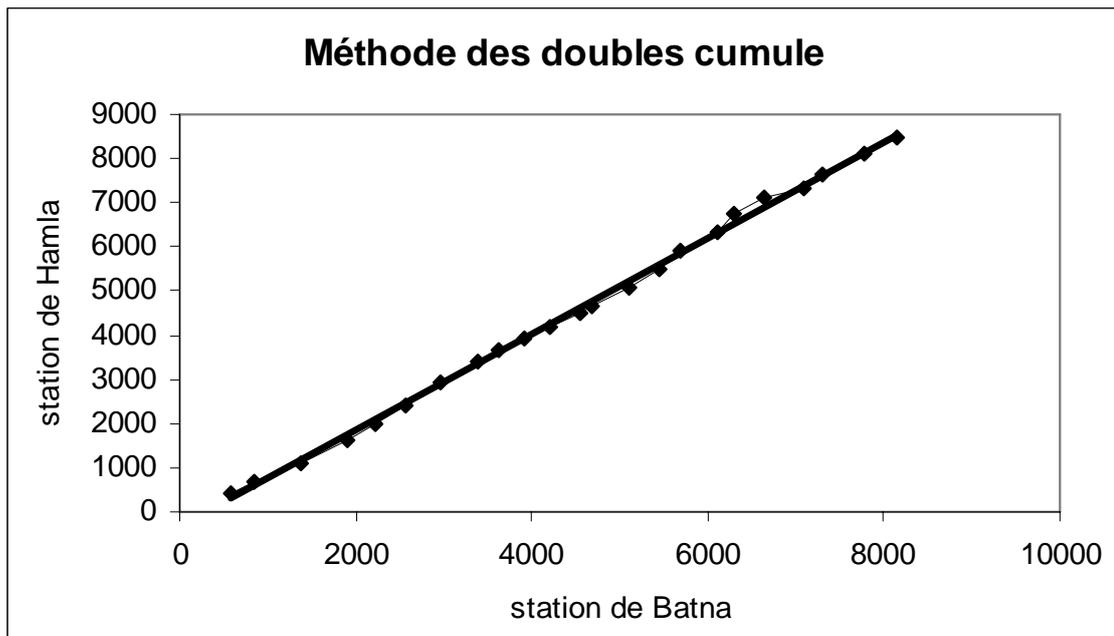
**Méthode de double cumule**

<b>Batna</b>	<b>Merouana</b>
579	330,6
840,2	523,7
1380,7	1124,8
1902,7	1684,6
2224	2063,4
2565	2606,1
2950	3391,1
3385,2	3968,1
3619,2	4328,1
3909,2	4694
4215,5	5127
4552	5600
4675,3	5900
5110,4	7064,9
5448,2	7593,3
6118,6	8085
6300	8454,2
6589,9	8756
6649,5	9142,5
7100,5	9657
7294,2	9867
7770,1	10227,6
9141,1	10434,8



**Méthode de double cumule**

<b>Batna</b>	<b>N'Gaous</b>
579,9	258,3
841,1	426,8
1382	931,0
1904,1	1465,0
2225,1	1792,3
2566,1	2146,7
2951,8	2734,6
3386,3	3161,5
3692,6	3369,2
4029,9	3728,9
4408,3	4149,0
4744,3	4542,2
5055,3	4790,2
5177,8	5038,3
5612,9	5494,9
5950,7	5849,5
6287,7	6203,2
6524,7	6551,0
7000	7028,3
7420,7	7234,4
7803,7	7704,1
8120,7	8170,2
8302,7	8311,4
8651,7	8632,0
9102,7	8998,6
9296	9356,0
9693,7	9775,5
9893,7	10065,3
10264,7	10442,3



### Méthode de double cumule

<b>Batna</b>	<b>Hamla</b>
579	433,4
840,2	692,7
1380,7	1098,9
1902,7	1635
2224	1993
2565	2422,5
2950,7	2923,6
3375	3375,5
3619	3655,5
3909,2	3923,6
4215	4165,1
4552	4524,71
4675,3	4656,28
5110,4	5096,46
5448,2	5483,12
5685,9	5907,99
6118	6332,87
6300	6757,74
6649,5	7104,16
7100,5	7345,60
7294,2	7628,70
7770,1	8088,27
8141,1	8474,69

## *Références bibliographiques*

- ALLEGRE C., 1977** : La dérive des continents, la tectonique des plaques, S.A.R.L Paris, 215P.
- BLANQUET, 1952** : Les groupements végétaux de la France méditerranéenne MASSON, 297 p.
- BRAVARD J. P. PETIT F, 2000** : Les cours d'eau, dynamique du système fluvial. Ed Armand Colin, 240 p.
- DESPOIS J., RAYNAL R. et PAYOT : 1967** : Géographie de l'Afrique du nord ouest. 511p.
- DUCHAUFOR, Ph., 1965** : Précis de géomorphologie, Ed. MASSON, Paris, 1965, 481 p.
- DUMAS, 1965** : Relation entre l'Erodibilité des sols et leurs caractéristiques analytique, cahier ORSTON, série pédologie.
- DURAND, 1954** : Les sols d'Algérie, publication du services de l'hydraulique, Alger, 244 p.
- DURREAU M., 2002** : précis de géomorphologie. Masson, Paris, 45 p.
- FOURNIER, 1960** : Débit solide des cours d'eau, essai d'estimation la perte en terre subie par l'ensemble du globe terrestre. Pub AIHS 53283P).
- GAUTHIER V., 1963** : Rayonnement solaire et échanges radiatifs naturels, Paris, 300 p.
- GLEIZES C., 1968** : Techniques rurales en Afrique, évaluation des quantités d'eau nécessaires aux irrigations, ministère de la coopération française. 224 p.
- GRECO J., 1966** : L'érosion, la défense et la restauration des sols le reboisement en Algérie. 377 p.
- HALIMMI A., 1980** : L'atlas Blidieen : Climats et étages végétaux. OPU Alger 515 p.
- QUEN, 1970** : Elément de météorologie, MASSON, Paris, 360 p.
- QUEN, 1975** : L'évapotranspiration potentielle et ses implications, géographiques. Ed. Armand, Collin, 1975, 275 p.
- QUEZEL, PISANTA, 1962** : Nouvelle flore de l'Algérie. tome 2, CNRS, Paris.
- REMENIERAS G., 1986** : Hydrologie de l'ingénieur. Edition MASSON Paris.
- SARI A., 2002** : L'hydrologie de surface, Houma Bouzérea, 223 p.

**SECAETTA, 1935** : Terminologie, climatique bioclimatique et microclimatique, la météorologie, 345 p.

**SELTZER, 1940** : Le climat de l'Algérie. Tome 2. Université d'Alger.

**Ministère de l'agriculture et l'alimentation de l'ONTARIO, 1994** :

- Les pratiques de gestion optimales.
- Gestion du sol.
- La gestion d'eau.
- Gestion de l'agroforesterie et de l'habitat

## Résumé

Le bassin de Nafla, qui fait partie des monts de Belezma présente toutes les caractéristiques des milieux montagneux aux géosystèmes et aux écosystèmes fragiles. Ce milieu porte sa fragilité et sa vulnérabilité en puissance.

En effet l'interaction des composantes stables des géosystèmes; à savoir une lithologie très érodable, des pentes importantes un couvert végétal de plus, en plus dégradé avec un régime pluviométrique à caractère torrentiel et surtout une socialisation profonde de l'espace fait de ce milieu un espace hautement vulnérable à l'érosion.

Une approche quantitative et qualitative du phénomène érosif permet d'évaluer objectivement l'état de dégradation de ce bassin, dont le bilan traduit ce qui se passe dans l'ensemble du massif.

C'est sur la base d'un tel constat chiffré qu'on peut envisager des actions de protection à caractère curatif et préventif.

**Les mots clés :** Massif de Belezma- érosion quantitative - dégradation - géosystème protection.

## ملخص

إن حوض نافلة يشكل قسم مهم من جبال بلزمة التي تعبر عن مجال ذو خصائص جبلية تمتاز بالهشاشة في وحدتها الجغرافية الطبيعية و البيئية، و تظهر هذه الهشاشة بصفة كبيرة .

إن تفاعل مجموعة من المركبات الثابتة للوحدات الجغرافية الطبيعية القابلة للتآكل، الانحدارات الشديدة، الغطاء النباتي المتقهقر بنسب متفاوتة، نظام مطري متذبذب و متغير بالإضافة إلى التأثير البشري الكبير على المجال. كل هذه المركبات تجعل الحوض شديد الحساسية و الهشاشة للتعرية (قابلية الانجراف).

المقاربة الكمية و الكيفية لظاهرة التعرية تسمح بتقييم التقهقر في الحوض و عموماً الحوصلة تعبر عن سلوك الحوض و كتله الجبلية إزاء التعرية.

انطلاقاً من الملاحظات و المعطيات الرقمية يمكن تحديد أساليب الحماية من جانبها الوقائي و العلاجي.

**الكلمات المفتاحية :** سلسلة بلزمة، التعرية الكمية، التقهقر، الوحدة الجغرافية الطبيعية، حماية.