

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche**  
**Scientifique**

**Université A. MIRA – Bejaïa**

**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie**

**Département de sciences biologique de l'environnement**

**Option : Toxicologie Industriel et Environnementale**



Réf : .....

**Mémoire de Fin de Cycle**  
**En vue de l'obtention du diplôme**  
**MASTER**

**Thème**

Application du modèle DKPR pour la cartographie de la vulnérabilité  
des eaux de surface à la contamination : Cas du barrage (Ighil Emda,  
Kherrata)

Présenté par :

Ichalal Amal & Laidi Tiziri

Soutenu le : 13/07/2022

Devant le jury composé de :

M. Laissaoui Mounir	MAA	Président
M. Khemmoudj Kaddour	MCA	Examineur
M. Saadali Riad	MCB	Encadreur

**Année universitaire : 2021/2022.**

## *Remerciements*

Au nom d'ALLAH le plus grand, merci lui revient de nous avoir pourvus du courage et de volonté pour réaliser ce modeste travail.

Nous tenons a remercié notre promoteur Monsieur **SAADALI RIAD**; on le remercie de nous avoir encadré, aidé et conseillé.

Nous remercions aussi les membres de jury : Monsieur **KHEMMOUDJ K** et Monsieur **LAISSAOUI M** qui ont accepté d'examiner et jugé notre travail.

Nous remercions vivement Monsieur **ICHALAL MANAA** de nous avoir accompagnés et transportés lors de la sortie vers le barrage d'Ighil Emda.

Nous remercions toute personne contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

**Et merci une autre fois à Dieu.**

## *Dédicaces*

Je dédie ce modeste travail à :

La lumière de ma vie, au personne qui a sacrifiée toutes sa vie pour je serais ce que je suis aujourd'hui « ma chère maman ».

La mémoire de mon cher papa que dieu l'accueil dans son vaste paradis.

Mon cher mari pour sa compréhension et son soutien.

Ma belle-mère, et à la mémoire de mon beau père (que dieu l'accueil dans son vaste paradis).

Ma chère sœur, mes belles sœurs, et mon beau-frère.

Mes grands-parents.

Mes oncles et leurs familles.

Toutes mes amies : Chahineze, Lina, Yamina, Zineb, Kenza, Mélissa, Selma, chaque'une avec son nom.

Ma chère enseignante G. Aidli Eps Debbou et mon oncle R. Debbou.

Ma binôme T.Laidi et sa famille.

**Amal**

## Dédicaces

Avant tout, nous remercions dieu de nous avoir donné la santé, le courage et la puissance de pouvoir accomplir ce travail.

Je dédie ce modeste travail :

- A mes très chers parents, qui m'ont encouragé et soutenue durant toute ma carrière d'étude ; que le bon dieu les garde pour nous.
- A mes chers frères : Ouassim et Salim.
- A ma chère et meilleure copine avec laquelle j'ai vécu les plus beaux moments : Lydia.
- A toutes la famille LAIDI et la famille IDRI.
- A tous mes amies et toute la promotion Master 2 toxicologie industriel et environnemental 2021-2022.
- A tous ceux qui qui m'ont aidé du prêt ou de loin durant mes études.
- A ma binôme Amel et toute sa famille.

Tiziri

# Sommaire

## Table des matières

### Liste des figures

### Liste des tableaux

### Liste des abréviations

<b>1. Introduction</b>	1
<b>2. Synthèse bibliographique</b>	3
2.1. Définition de l'eau	3
2.2. Le cycle de l'eau	3
2.3. Les forme de l'eau	4
2.3.1. Les précipitations	4
2.3.2. Les glaciers	4
2.3.3. Les zones humides	4
2.3.4. Les nappes phréatiques	4
2.3.5. Le bassin versant des fleuves	4
2.4. La pollution des eaux de surfaces	4
2.4.1. Définition de la pollution	4
2.4.2. Origine de la pollution	5
2.4.2.1. Pollution d'origine naturelle	5
2.4.2.2. Pollution d'origine anthropique	5
2.4.2.3. Pollution domestique	5
2.4.2.4. Pollution d'origine industrielle	5
2.4.2.5. Pollution d'origine agricole	5
2.4.3. Types de pollution des eaux	6
2.4.3.1. La pollution physique	6
a-Pollution solide	6
b-Pollution thermique	6
c-Pollution radioactive	6
2.4.3.2. La pollution chimique	6
2.4.3.3. La pollution microbiologique	6
2.5. La contamination des eaux de surface	6
2.6. Les barrages en Algérie	6

2.7. Le bassin versant	7
2.7.1. Types de bassin versant	7
a. Le bassin versant topographique	7
B .Le bassin versant hydrographique	7
2.8. La vulnérabilité	8
2.8.1. Définition de la vulnérabilité	8
2-8.2. Types de la vulnérabilité	8
2.8.2.1. La vulnérabilité intrinsèque	8
2.8.2.2. La vulnérabilité spécifique	9
2.8.3. Evaluation de la vulnérabilité	9
2.8.4. Les critères de la vulnérabilité	9
2.8.5. Méthodes de mesure de la vulnérabilité	9
2.8.5.1. Les méthodes de cartographies à index	9
2.8.5.2. Les méthodes de simulation	9
2.8.5.3. Les méthodes statistiques	10
2.8.6. Les différentes méthodes de vulnérabilité à la pollution des eaux	10
<b>3. Matériels et méthodes</b>	12
3.1 .Présentation de la zone d'étude	12
3.1.1. Situation régionale	12
3.1.2. Situation géographique du barrage Ighil Emda	12
3.2. Présentation du bassin versant d'Ighil Emda	13
3.2.1. La topographie du bassin versant d'Ighil Emda	13
3.2.2. Les caractéristiques du bassin versant d'Ighil Emda	14
3.2.2.1.La forme du bassin versant d'Ighil Emda	14
3.2.2.2. La superficie	15
3.2.2.3. Le périmètre	15
3.2.2.4. Indice de compacité de Gravelius	15
3.2.2.5. Le rectangle équivalent	15
3.3. Aperçu géomorphologique et géologique	15
3.3.1 .la géomorphologie du barrage d'Ighil Emda	15
3.4. Cadre géologique	17

3.4.1. La géologie locale	17
3.4.2. Intérêt hydrogéologique des formations du barrage Ighil Emda	18
3.4.3. L'occupation du sol du bassin versant d'Ighil Emda	19
3.5. Etude climatologique :	20
3.5.1. Etude climatique	20
3.5.1.1 : Les précipitations	20
A. Variations spatio-temporelles des pluies	21
B. Précipitation moyenne saisonnières	22
C. Précipitations annuelles	23
3.5.1.2. Les températures	25
A. le diagramme pluviométrique (ombrothermique)	26
3.5.1.3. Le bilan hydrique	28
A. Détermination des paramètres du bilan :	28
a. Evapotranspiration	28
1. Evapotranspiration potentiel	28
2. Evapotranspiration réelle (ETR)	29
b. Ruissellement (R)	31
c. L'infiltration (I)	31
3.5.1.3. Interprétation du bilan de C.W. Thornthwaite	32
Conclusion	33
3.6. Matériel et la méthode utilisée lors de la sortie vers le barrage d'Ighil Emda	34
3.6.1. Les matériels utilisés	35
3.6.2. Méthodes d'échantillonnage et de stockage	36
3.7. Vulnérabilité du modèle DKPR	36
3.7.1. Matériels utilisés	36
3.7.2. Présentation du logiciel Surfer 11	36
3.7.3. Présentation de la méthode DKPR	36
4. Résultats et Discussion	40
4.1. Accessibilité du milieu aquatique (D)	40
4.2. Fonctionnement hydrique du sol et du sous-sol (K)	41
4.2.1. Indice de développement et de persistance des réseaux (IDPR)	42
4.2.2. Indice de battance (IB)	43
4.2.3. Occupation du sol (OS)	44

4.2.4. Calcule du facteur (K)	45
4.3. Physiologie du bassin versant (P)	48
4.3.1. L'indice d'intensité des pentes (Pi)	48
4.3.2. Indice des courbures des pentes (Pc)	50
4.3.3.-Réalisation de la carte du paramètre (P) à partir des sous-paramètres (Pi) et (Pc)	52
4.4. L'érosivité des pluies (R)	54
4.5. La carte de vulnérabilité à la contamination des eaux de surface selon la méthode DKPR	56
4.5.1. Le calcul de l'indice de vulnérabilité	56
4.5.2. Réalisation de la carte de vulnérabilité	59
6. Carte de risque	62
<b>5. Conclusion générale</b>	<b>64</b>



# **Listes des Figures**

<b>Fig. 01.</b> Le cycle de l'eau (Centre d'information sur l'eau).	3
<b>Fig.02.</b> Vue en 3D d'un bassin versant	7
<b>Fig.03.</b> La différence entre le bassin hydrogéologique et le bassin topographique.	8
<b>Fig.04.</b> Situation géographique du bassin versant d'Ighil Emda.	12
<b>Fig.05.</b> La forme et le réseau hydrographique du bassin versant d'Ighil Emda	13
<b>Fig.06.</b> Carte des courbes de niveau du bassin versant du barrage Ighil Emda.	14
<b>Fig.07.</b> profils en long des principaux cours d'eau du barrage.	16
<b>Fig.08.</b> Photo de la forme des pentes prise lors de la sortie vers le barrage d'Ighil Emda (Mai 2022).	17
<b>Fig.09.</b> La carte pédologique et géologique du bassin versant d'Ighil Emda	17
<b>Fig.10.</b> La carte d'occupation du sol du bassin versant d'Ighil Emda	19
<b>Fig.11.</b> Photo d'occupation du sol prise lors de la sortie vers le barrage Ighil Emda (Mai 2022).	19
<b>Fig.12.</b> Histogramme des précipitations moyenne mensuelle dans la station de Bejaïa et La station de Sétif (2000/2021).	21
<b>Fig.13.</b> Histogramme des précipitations moyennes saisonnières dans la station de Bejaïa et La station de Sétif (2000/2021).	22
<b>Fig.14.</b> Variation des précipitations annuelles dans la station de Sétif et la station de Bejaïa (2000/2021).	25
<b>Fig.15.</b> Histogramme des précipitations moyennes saisonnière dans la station de Bejaïa et La station de Sétif (200/2021)	25
<b>Fig.16.</b> Diagramme d'ombrothermique de la station de Béjaïa et de Sétif (2000-2021).	27
<b>Fig.17.</b> Carte de localisation des points de prélèvements	34
<b>Fig.18.</b> Photo de ressource d'eau prisent lors de la sortie vers le barrage Ighil Emda (Mai 2022).	35
<b>Fig.19.</b> Photos de matériels utilisés durant la sortie vers le barrage Ighil Emda (mai 2022)	36
<b>Fig.20.</b> La vulnérabilité du paramètre ( <b>D</b> ) selon la méthode <b>DKPR</b> du bassin versant d'Ighil Emda	40
<b>Fig.21.</b> Diagramme des classes du Paramètre ( <b>D</b> ).	41
<b>Fig.22.</b> La méthode de réalisation de la carte du sous-paramètre ( <b>IDPR</b> ) du bassin versant d'Ighil Emda.	42
<b>Fig.23.</b> La vulnérabilité du sous- paramètre ( <b>IDPR</b> ) du bassin versant d'Ighil Emda de la méthode <b>DKPR</b> .	43
<b>Fig.24.</b> La vulnérabilité du sous paramètres ( <b>OS</b> ) selon la méthode <b>DKPR</b> du barrage d'Ighil Emda.	44
<b>Fig.25.</b> Diagramme circulaires des classes de l'occupation du sol.	45
<b>Fig.26.</b> La superposition des deux cartes des deux sous paramètres ( <b>IDPR</b> ) et ( <b>OS</b> )	45

pour obtenir la carte du paramètre (K).	
<b>Fig.27.</b> La vulnérabilité du paramètre (K) de la méthode DKPR du barrage d'Ighil Emda.	46
<b>Fig.28.</b> Diagramme circulaire des classes du paramètre (K).	47
<b>Fig.29.</b> La vulnérabilité du sous-paramètre (Pi) de la méthode DKPR du barrage d'Ighil Emda.	49
<b>Fig.30.</b> Diagramme d'intensité des pentes (Pi).	50
<b>Fig.31.</b> La vulnérabilité du sous-paramètre (Pc) de la méthode <b>DKPR</b> pour le bassin versant d'Ighil Emda.	51
<b>Fig.32.</b> Diagramme circulaires des classes du sous-paramètre (Pc).	51
<b>Fig.33.</b> La superposition des sous-paramètre (Pi) et (Pc) pour obtenir le paramètre (P) selon la méthode <b>DKPR</b> du bassin versant d'Ighil Emda.	52
<b>Fig.34.</b> La vulnérabilité du paramètre (P) de la méthode DKPR du bassin versant d'Ighil Emda.	53
<b>Fig.35.</b> Diagramme circulaire des classes du paramètre (P).	54
<b>Fig.36.</b> La vulnérabilité du paramètre (R) de la méthode <b>DKPR</b> pour le bassin versant d'Ighil Emda	55
<b>Fig.37.</b> Diagramme circulaires des classes du paramètre (R).	56
<b>Fig.38.</b> La superposition des cartes des paramètres de la méthode <b>DKPR</b> pour obtenir La carte de la vulnérabilité du bassin versant d'Ighil Emda.	59
<b>Fig.39.</b> Carte de vulnérabilité des eaux de surface à la contamination selon la méthode <b>DKPR</b> du barrage d'Ighil Emda	60
<b>Fig.40.</b> Diagramme circulaires des classes de la vulnérabilité	61
<b>Fig.41.</b> La superposition de la carte de vulnérabilité et la carte des aléa pour obtenir La Carte du risque du bassin versant d'Ighil Emda	62
<b>Fig.42.</b> Carte du risque périodique du bassin versant d'Ighil Emda.	63

# Liste des tableaux

<b>Tab.01.</b> Les différentes méthodes de vulnérabilité à la pollution des eaux.	10
<b>Tab.02.</b> intérêt hydrogéologique des formations géologiques du barrage	18
<b>Tab.03.</b> Coordonnées des stations pluviométriques dans la région de Bejaia et Sétif	20
<b>Tab.04.</b> Pluies moyenne mensuelle dans la station de Bejaia et la station de Sétif (2000/2021).	21
<b>Tab.05.</b> Répartition saisonnière des précipitations dans les stations de Bejaïa et de Sétif (2000/2021).	22
<b>Tab.06.</b> Le coefficient pluviométrique ( <b>Cp</b> ) de la station de bejaia (periode 2000/2021).	23
<b>Tab.07.</b> Le coefficient pluviométrique ( <b>Cp</b> ) de la station de Sétif (période 2000/2021)	24
<b>Tab.08.</b> Températures moyennes mensuelles en (C°) dans la station de Bejaïa et de Sétif (2000/2021).	26
<b>Tab.09.</b> Résultats de l'Evapotranspiration par la formule « <b>C.W.Thorthwaite (1948)</b> »pour la station de Bejaïa et la station de Sétif (2000/2021)	29
<b>Tab.10.</b> Résultats de l'Evapotranspiration réelle par la formule « <b>Truc</b> » Pour La station de Bejaia et la station de sétif (2000/2021).	29
<b>Tab.11.</b> Bilan de C.W.Thomthwaite de la station de Bejaïa (2000-2021).	30
<b>Tab.12.</b> Bilan de C.W.Thomthwaite de la station de Sétif (2000-2021).	31
<b>Tab.13.</b> Résultats du ruissellement pour la station de Bejaïa et la station de Sétif (2000/2021).	31
<b>Tab.14.</b> Résultats de l'infiltration par l'équation du bilan hydrique pour la station de Bejaïa et la station de Sétif (2000/2021).	32
<b>Tab.15.</b> Degrée de vulnérabilité des classes du paramètre DKPR	37
<b>Tab.16.</b> Classes du paramètre (D).	42
<b>Tab.17.</b> Classes d'intensité des pentes ( <b>Pi</b> ) selon <b>DOUAY</b> et <b>LARDIEG</b>	49
<b>Tab.18.</b> Classes du sous- paramètre ( <b>Pc</b> ) selon <b>DOUAY</b> et <b>LARDIEG</b>	50
<b>Tab.19.</b> Les classes du paramètre ( <b>P</b> ) selon <b>DOUAY</b> et <b>LARDIEG</b>	53
<b>Tab.20.</b> La valeur du facteur ( <b>R</b> ) obtenue dans les deux stations de Bejaïa et de Sétif (2000-20021).	54
<b>Tab.21.</b> Classes du paramètre ( <b>R</b> ) selon <b>DOUAY</b> et <b>LARDIEG</b> :	55
<b>Tab.22.</b> Les paramètres de l'indice de vulnérabilité de la méthode <b>DKPR</b> .	56
<b>Tab.23.</b> Classe des indices de la vulnérabilité de la ressource ( <b>Vr</b> )	61

## **Liste des abréviations**

% : Pourcentage.

C° : Degrés Celsius.

Moy : Moyenne.

P : précipitation.

T : Température.

ETP : Evapotranspiration potentiel.

ETR : Evapotranspiration réelle.

R : Ruissèlement.

I : Infiltration.

RFU ; Réserve facilement utilisable.

AD : Année déficitaire.

AE : Année excédentaire.

BRGM : Bureau de recherche géologique et minière.

SAA : Spectrophotométrie d'absorption atomique.

MNT : modèles numériques du terrain.

D : Accessibilité du milieu aquatique.

K : Fonctionnement hydrique du sol et du sous- sol.

OS ; Occupation du sol.

IB : Indice de battance.

IDPR : Indice de développement et de persistance des réseaux.

P : Physiologie du bassin versant.

Pi : L'indice d'intensité des pentes.

Pc : Indice des courbures des pentes.

R : L'érosivité des pluies.

# **Introduction Générale**



## 1. Introduction :

L'eau est un élément indispensable à la vie des êtres vivants (hommes, animaux, plantes) [1], cette dernière est une substance naturelle, liquide, incolore, sans aucune odeur et saveur, elle est composée chimiquement d'une molécule d'oxygène et de deux molécules de l'hydrogène (H<sub>2</sub>O) [2]. Les réserves de l'eau naturelle sont disponibles sur terre en eaux souterraines, de surface et en eaux de mer [3].

Les ressources mondiales en eau représentent environ 71% de la surface de la terre, elles se présentent en deux sources principales selon le mode de gisement : les eaux souterraines et les eaux de surfaces, l'eau souterraine est une eau qui se trouve dans les nappes souterraines, tandis que, l'eau de surfaces est une eau prélevée dans les cours d'eau, lacs ou rivières, le traitement de ces eaux est indispensable parce qu'elles sont polluées par la vie aquatique et par les produits chimiques, ainsi par les déchets [4].

Les eaux de surface sont très vulnérables par des différents types de polluants. La contamination des eaux de surfaces est devenue aujourd'hui une préoccupation mondiale, pour cela, les deux chercheurs **Douay.D et lardieg.E** [5] ont adopté un programme de surveillance de la qualité des eaux superficielles qui a pour but de réduire les conséquences de la contamination par des différents agents polluants. Cette méthode est nommée : la méthode DKPR ; c'est une méthode de cartographie de la vulnérabilité des ressources hydrique basée sur plusieurs critères, ces critères sont des éléments descriptifs physiques, déterminables à l'échelle du bassin versant elle représente (D : l'accessibilité du milieu aquatique, K : le fonctionnement hydrologique du sol et du sous-sol, P : la physiographie du bassin versant, R : l'érosion de la pluie) [6].

Notre région d'étude (bassin d'Ighil Emda) est connue par la prédominance des terrains agricoles qui ne se trouvent recouverts que saisonnièrement plus précisément en printemps et reste nue pendant le reste de l'année, cette région elle est touché par des différents types de pollution : les rejets domestiques, les décharges sauvages et l'utilisation intensives des pesticides et fongicides...etc [7].

Dans notre étude, nous avons utilisé la méthode DKPR, cette méthode a été proposée afin d'étudier la vulnérabilité des eaux de surface, c'est une méthode de cartographie élaboré en 2010 par le bureau de recherche géologique et minière (BRGM) [8]. L'objectif de notre travail est d'établir une carte de vulnérabilité à la pollution des eaux du barrage d'Ighil Imda,

cette carte elle nous permet d'élaborer une carte de risque, sur la base de cette dernière, nous allons proposer des recommandations pertinentes.

Notre travail est composé de trois chapitres principales: Le premier chapitre a été consacré pour la synthèse bibliographique sur le cycle de l'eau, la pollution des eaux, les barrages en Algérie et les bassins versants, la contamination des eaux de surface et la vulnérabilité, le deuxième chapitre a été consacré pour matériels et méthodes, dont lequel nous allons donner une description de notre zone d'étude, la présentation de ses caractéristiques et ou se présente aussi la méthode utilisé dans notre travail. Le troisième chapitre a été consacré pour résultats et discussion dans lequel nous allons interpréter et évaluer les résultats obtenus sous forme des cartes thématiques, et enfin, nous allons terminer notre travail par une conclusion et des perspectives de recherche.

# **Synthèse bibliographique**

## 2. Synthèse bibliographique

### 2.1. Définition de l'eau

L'eau constitue un élément indispensable à la vie des êtres vivants, surtout celle de l'homme et des animaux [1], elle constitue 70% du poids du corps humains.

C'est une substance naturelle, sans couleur et sans odeur et sans saveur. Elle est dans la nature en trois états : solide, liquide, ou gaz [9].

### 2.2. Le cycle de l'eau :

L'eau effectue tout un voyage, que nous appelons cycle de l'eau. Il a pour but de présenter le point par lequel commence l'étude hydrologique.

Grâce des rayonnements solaires, l'eau des océans et des surface terrestre passent en phase gazeuse et s'élève dans l'atmosphère et elle se condense sous forme de gouttelettes, elle retombe sur les continents et les océans sous forme de neiges ou de précipitations, une partie des précipitations peut rejoindre l'atmosphère par évaporation et transpiration, l'autre partie des précipitations s'infiltré dans le sol pour rejoindre les nappes d'eau souterraines, ou par ruissellement sur le sol pour former les cours d'eau et réserves d'eau de surfaces.

Les eaux de surface (cours d'eau, lacs,...etc) sont alimentées par le ruissèlement des eaux de pluie, elles résultent des précipitations [10].

Le cycle de l'eau se déroule par évaporation permanente des eaux de mer ou de rivière, formant des nuages puis retombent sous forme de précipitation (Fig.01).

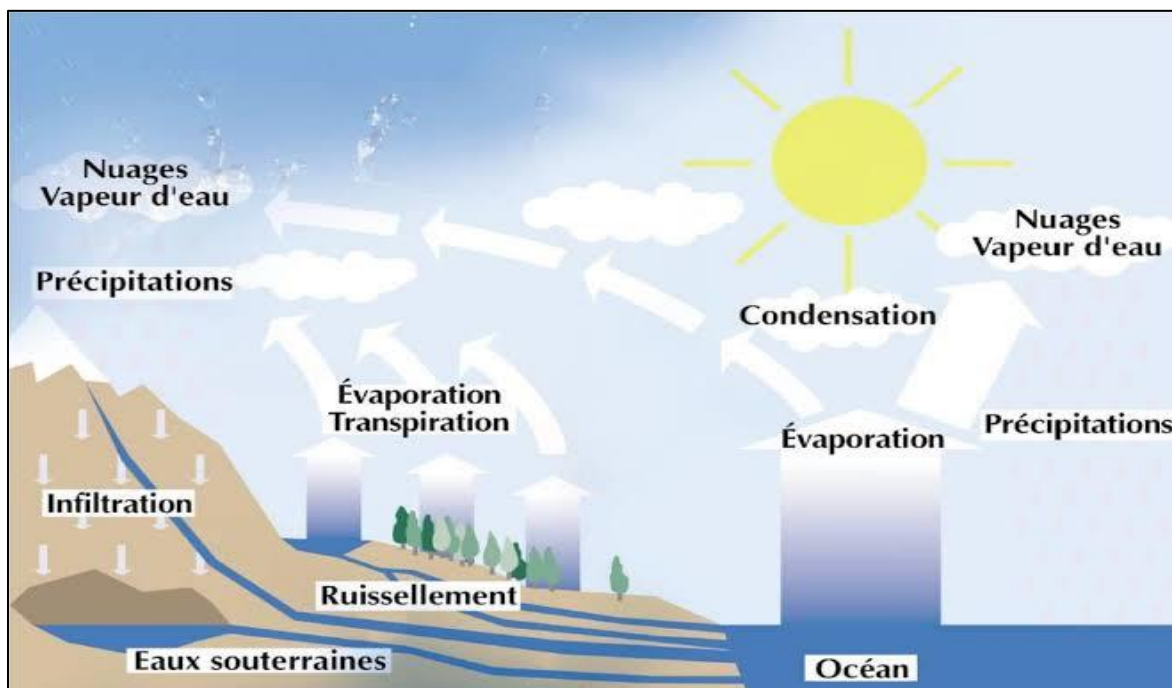


Fig. 01. Le cycle de l'eau (Centre d'information sur l'eau).

### **2.3. Les formes de l'eau :**

L'eau se présente sous différentes formes :

#### **2.3.1. Les précipitations :**

Se présente sous forme de pluie et neige. Elles jouent un rôle essentiel dans le renouvellement des ressources en les rivières et les lacs et constituer les nappes eaux en aliment les rivières et les lacs et reconstituer les nappes phréatiques ou elles peuvent retourner dans l'atmosphère par évaporation [11].

#### **2.3.2. Les glaciers :**

Stockent l'eau sous forme de glacier et alimentent les cours d'eaux locaux.

#### **2.3.3. Les zones humides :**

Les zones humides représentent selon le code de l'environnement des terrains exploités ou non, habituellement inondé ou gorgés d'eau douce ou salé, de façon permanente ou temporaire, caractérisé principalement par la présence de l'eau [11].

#### **2.3.4. Les nappes phréatiques :**

Ce sont des réservoirs naturels d'eaux souterraines stockées dans des petites profondeurs dans des roches perméables qui composent les zones aquifères. Ces nappes phréatiques sont proches de la surface de la terre pour être accessible aux activités humaine [12].

La surexploitation des eaux de nappe phréatique provoque le rabattement de nappe et la sous exploitation des nappes phréatiques provoquent la remontée de nappe [11].

#### **2.3.5. Le bassin versant des fleuves :**

C'est un bassin hydrographique délimité par des lignes de crête ou la ligne de partage des eaux, alimenté par un même réseau hydrographique [13].

### **2.4. La pollution des eaux de surfaces :**

La pollution d'une eau de surface est la dégradation de sa qualité en modifiant ses propriétés physique, chimiques et biologiques. Cette pollution est d'origine anthropique (urbaines ; agricoles ; industrielles,..) [14].

#### **2.4.1. Définition de la pollution :**

La pollution signifie toute modification défavorable du milieu naturel, liée aux activités humaines, par diffusion direct ou indirect de substances chimiques, physique ou biologiques qui sont toxiques pour les organismes vivants et qui perturbent le fonctionnement naturel des écosystèmes .Elle peut être défini aussi, comme la surexploitation des capacités d'auto épuration du milieu naturel [15].

## **2.4.2. Origine de la pollution :**

### **2.4.2.1. Pollution d'origine naturelle :**

Certains phénomènes naturels peuvent être la cause de la pollution de l'eau. Par exemple : les éruptions volcaniques, peuvent être à l'origine de la pollution. Ainsi, le contact de l'eau avec les gisements minéraux peut, par érosion ou dissolution, engendrer des concentrations inhabituelles en métaux lourds [16].

### **2.4.2.2. Pollution d'origine anthropique :**

La pollution anthropique veut dire que l'homme est le plus grand responsable de la pollution d'une partie très importante de la planète [17].

### **2.4.2.3. Pollution domestique :**

C'est une pollution qui provient des habitations. Elle résulte des usages de l'eau par les ménages. Elle comprend les eaux de vannes et les eaux de ménagères et se compose surtout de pollution organique. Elle est véhiculée par un réseau d'assainissement, qui collecte les rejets de chaque foyer, vers une station de traitement des eaux usées [18].

La capacité de traitement des eaux usées en Algérie a atteint environ 5 millions de m<sup>3</sup> soit 10% des rejets produits.

La station d'épuration est sensée apporter une amélioration substantielle de l'hygiène publique et de la protection des ressources hydriques [19].

La quantité des déchets ménagers produite annuellement est estimée à 5.2 millions de tonnes et un algérien produit en moyenne 0.5 kg de déchets solides. La quantité des eaux usées est très élevée comparé au nombre de stations d'épuration opérationnelles à travers le pays

### **2.4.2.4. Pollution d'origine industrielle :**

Elle peut se composer principalement de déchets organiques (industrie agro-alimentaire, papeterie, sucrerie, brasserie,..), mais également de multiples polluants chimiques tels que : les hydrocarbures, métaux lourds, de dissolvants, de produits azotés [20].

### **2.4.2.5. Pollution d'origine agricole :**

Elle engendre des rejets de matières organiques d'engrais chimique et de pesticides très divers et aussi la pollution bactériologique (élevages). Ces produits sont rarement rejetés directement dans les eaux de surfaces, mais leur épandage en excès entraîne leur lessivage par les eaux de pluie et pollution diffuse des eaux de surface et des eaux souterraines [19].

### **2.4.3. Types de pollution des eaux :**

#### **2.4.3.1. La pollution physique :**

Cette pollution est liée aux facteurs qui influencent sur l'état physique de l'eau tels que la température, la présence des particules ou mousses et le changement de l'effet réfractaire de l'eau. L'eau chaude déversée les industries utilisant l'eau pour le réchauffage, ce qui provoque l'augmentation brutale de la température du bassin [21].

##### **a-Pollution solide :**

Les eaux de ruissellement et les eaux industrielles et les décharges de déchets à ciel ouvert sont à l'origine de la pollution solide [22].

##### **b-Pollution thermique :**

Causée par les eaux des circuits de refroidissement des usines, car tout changement de température de l'eau à des conséquences sur l'équilibre écologique du milieu aquatique [22].

##### **c-Pollution radioactive :**

Causée par le rejet des éléments radioactifs par les usines de traitement de déchets radioactifs et par les centrales nucléaires [23].

#### **2.4.3.2. La pollution chimique :**

Causée par le déversement de métaux. Elle est due aux polluants chimiques de nature organique et minérale générés par les différentes activités anthropique. Elle résulte de l'introduction de substances à effet toxique, de critères multiples et d'origines diverses (pesticides, détergents, métaux lourds, ...) dans le milieu.

#### **2.4.3.3. La pollution microbiologique :**

Traduite par une forte contamination bactériologique. Elle correspond à la présence des germes dans l'eau qui sont pathogènes pour l'homme et pour la faune aquatique. Elle provient des rejets contaminés non traités. Elle provient de plusieurs sources comme les rejets des hôpitaux, l'agriculture ainsi que les rejets d'eaux usées [24].

### **2.5. La contamination des eaux de surface :**

La pollution des eaux de surfaces est la dégradation de sa qualité en modifiant ses propriétés physiques, chimiques et biologiques. Cette pollution est d'origine anthropique (urbaines, agricoles et industrielles,..). Les eaux de surfaces font l'objet de multiples pressions liées aux activités humaines, agricoles, industrielles et domestiques [25].

### **2.6. Les barrages en Algérie :**

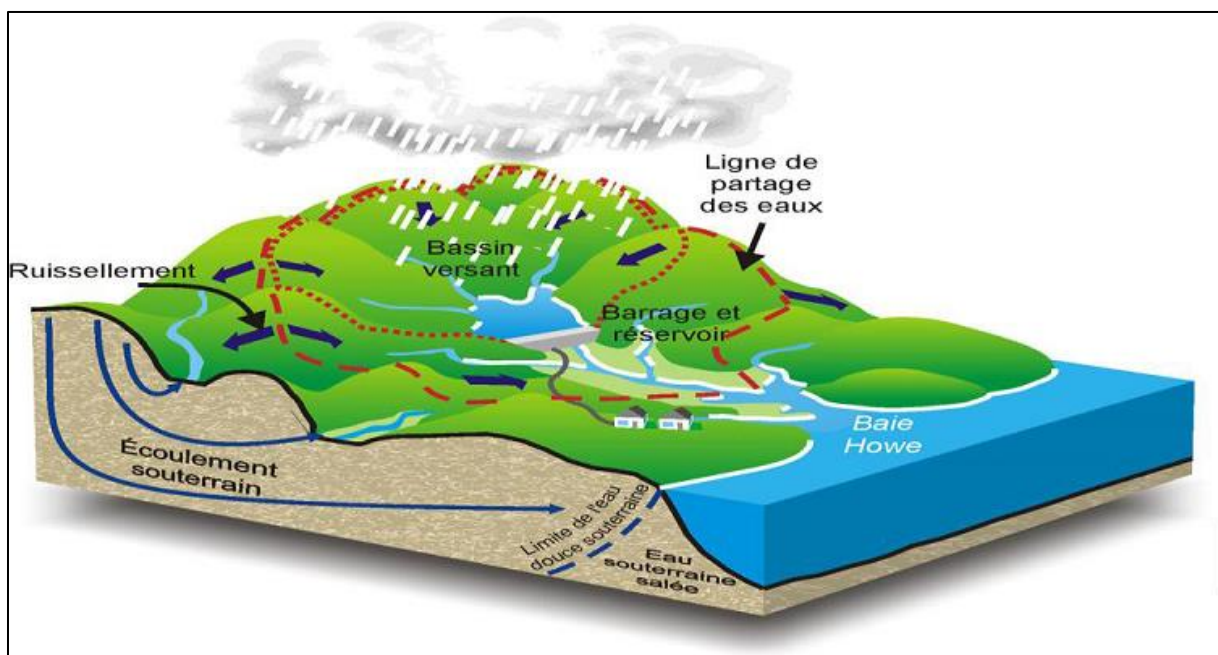
L'Algérie est connue par l'aridité de son climat, elle dispose d'environ 98 barrages en exploitation, dont 43 ayant une capacité de plus de 10 millions de m<sup>3</sup>. Ces barrages

accumulent des volumes très importants chaque année d'environ 20 millions de m<sup>3</sup> par an à cause de la forte érosion de leurs bassins versants.

### 2.7. Le bassin versant :

Le bassin versant est une notion géographique dont les limites sont naturelles sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrologique et ses effets. Il constitue l'ensemble des territoires drainés par une cour d'eau principal et ses tributaires lesquels s'écoulent vers un même point appelé exutoire.

Le bassin versant a des frontières naturelles qu'on appelle lignes de partage des eaux et qui suivent la crête des montagnes (**Fig.02**).



**Fig.02.** Vue en 3D d'un bassin versant [26].

#### 2.7.1. Types de bassin versant :

Deux types de bassin versant sont mis en évidence.

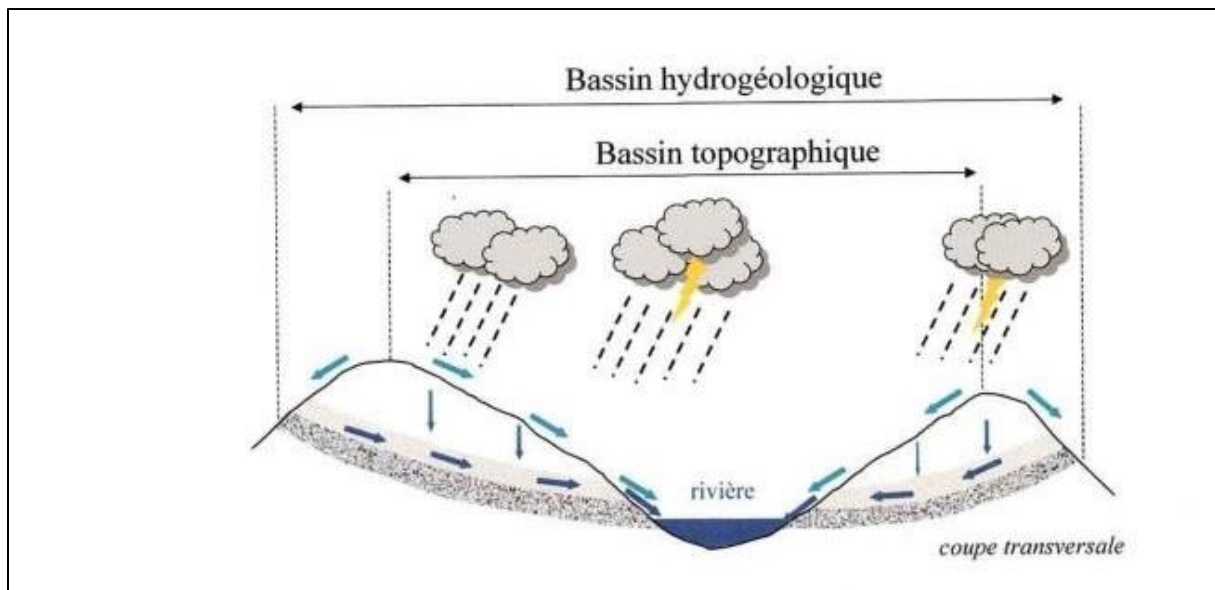
##### 2.7.1.1. Le bassin versant topographique :

La ligne de partage des eaux correspond à la ligne de crête (**Fig.03**).

##### 2.7.1.2. Le bassin versant hydrographique :

Le bassin est délimité par des lignes de crêtes ou ligne de partage des eaux. Il est alimenté par une rivière avec tous ses affluents et tous les cours d'eau. Toutes les eaux reçues à l'intérieur de ce bassin suivent une pente naturelle grâce au relief et se concentrent vers un même point de sortie appelé exutoire (**Fig.03**).





**Fig.03.** La différence entre le bassin hydrogéologique et le bassin topographique [27].

## 2.8. La vulnérabilité :

La protection des ressources en eaux est présente depuis très longtemps dans nos sociétés. Mais depuis quelques années, l'obligation de planification du territoire selon des méthodes tolérables pour l'environnement de surface a contribué au développement de la notion d'estimation de la vulnérabilité des eaux de surface à la pollution [28].

### 2.8.1. Définition de la vulnérabilité :

La vulnérabilité est définie comme la fragilité ou la sensibilité d'un système face à une menace externe. C'est le caractère de ce qui peut être attaqué, endommagé et blessé. Ce terme a été introduit en hydrogéologie par afin de sensibiliser la population [29].

### 2-8.2. Types de la vulnérabilité :

Le concept de vulnérabilité englobe deux types de vulnérabilité : Vulnérabilité intrinsèque et vulnérabilité spécifique.

La distinction des deux types de vulnérabilité intrinsèque et considéré comme invariante dans le temps, alors que la vulnérabilité spécifique est directement liée aux polluants éventuels [30].

#### 2.8.2.1. La vulnérabilité intrinsèque :

C'est le terme qui est utilisé pour représenter la nature géologique, hydrogéologique du sous-sol, profondeur de la surface libre et drainage de surface d'un milieu naturel qui déterminent la sensibilité des eaux souterraines à la pollution par les activités humaines.

Cette notion peut être définie aussi par l'aptitude d'un aquifère à absorber ou à diffuser un polluant transporté par l'eau [31].

### **2.8.2.2. La vulnérabilité spécifique :**

C'est le terme utilisé pour définir la sensibilité d'une eau souterraine à un polluant spécifique ou à un groupe de polluants. Elle prend en compte les propriétés des polluants et leurs relations avec les différents composants intrinsèques.

Qui fait intervenir les paramètres naturels et aussi les propriétés relatives au contaminant, aux activités humaines ou même aux populations de risque.

La notion de vulnérabilité spécifique fait alors intervenir la notion de risque de contamination [31].

### **2.8.3. Evaluation de la vulnérabilité :**

La vulnérabilité est un concept mal défini. Par contre elle peut être exprimée sous forme de concepts hydrologiques.

La vulnérabilité est appréciée suivant deux critères : la facilité avec laquelle un fait polluant pourra porter atteinte à la qualité de l'eau et la difficulté et la lenteur de régénération des qualités de l'eau souterraine. Quelle que soit la méthode, la notion de vulnérabilité intègre de différents facteurs physiques déterminant le degré d'exposition à la pollution à partir de la surface du sol.

### **2.8.4. Les critères de la vulnérabilité :**

La vulnérabilité dépend des facteurs qui interviennent soit sur la nature et la concentration, soit sur son temps de transfert. Elle est évaluée grâce aux caractéristiques du sol, de la zone saturée et de la zone non saturée qui contrôlent le comportement des polluants.

### **2.8.5. Méthodes de mesure de la vulnérabilité :**

Les méthodes de vulnérabilité sont classées en trois grandes classes, elles sont développées et appliquées, décrites et évaluées [32].

#### **2.8.5.1. Les méthodes de cartographies à index :**

Cette méthode est basée sur la combinaison de cartes de différents paramètres de vulnérabilité. Cette combinaison se fait grâce aux logiciels de traitement multicritères (exemple : logiciel SIG) [33].

#### **2.8.5.2. Les méthodes de simulation :**

C'est une méthode qui sert à trouver une solution numérique à des équations mathématiques pour représenter le processus de transfert de contaminants [34].

### 2.8.5.3. Les méthodes statistiques :

Ces méthodes intègrent des données sur la distribution des contaminants sur la zone d'étude et fournissent des caractéristiques sur les probabilités de contamination sur la zone d'étude [33].

### 2.8.6. Les différentes méthodes de vulnérabilité à la pollution des eaux:

Toutes les méthodes de vulnérabilité sont basées sur des systèmes paramétriques qui consistent à sélectionner les paramètres sur lesquels se base l'évaluation de la vulnérabilité [35] (Tab.01).

**Tab.01.** Les différentes méthodes de vulnérabilité à la pollution des eaux.

Les sources d'eau	La méthode de vulnérabilité	Les critères de la méthode
Eaux souterraines	<b>GOD :</b> -C'est un système développé par Foster en 1987. -Cette méthode ne traite pas de la migration latérale des polluants dans la zone saturée. -Elle présente la vulnérabilité de l'aquifère face à la percolation vertical de polluants à travers la zone non saturée. -Basée sur trois critères	<b>IG=Ca*CI*Ci</b> <b>-IG :</b> l'indice de GOD. <b>-Ca :</b> type de l'aquifère. <b>-CI :</b> l' lithologie d'aquifère. <b>-Ci :</b> profondeur de la nappe.
	<b>DRASTIC :</b> -C'est la méthode la plus utiliser dans le monde. -Elle a été élaborée par Aller et al 1987. -Elle fait partie du groupe des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des aquifères. -Elle est basée sur sept paramètres relatifs à la recharge, au sol, à la zone non saturée et à la zone saturée de l'aquifère.	<b>-D :</b> Profondeur de la surface de la nappe. <b>-R :</b> Recharge nette. <b>-A :</b> Nature lithologique de l'aquifère. <b>-S :</b> Sol. <b>-T :</b> Topographie des terrains. <b>-I :</b> Impact de la zone non saturée. <b>-C :</b> Conductivité hydraulique.
	<b>EPIK :</b> -C'est la première méthode utiliser dans les aquifères karstiques. -C'est une méthode multicritère composé de quatre critères principaux.	<b>-E :</b> L'épi karst. <b>-P :</b> La couverture protectrice <b>-I :</b> Les conditions d'infiltration <b>-K :</b> Le développement du réseau karstique.

	<p><b>RISKE :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Elle est inspiré de la méthode suisse EPIK en raison de sa spécialité karstique.</li> <li>-Elle est basée sur cinq critères caractéristiques du fonctionnement et de la structure des aquifères karstiques.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-<b>R</b> : Roche aquifère.</li> <li>-<b>I</b> : Les conditions d'infiltration.</li> <li>-<b>S</b> : Sol et la couverture protectrice.</li> <li>-<b>K</b> : Le degré de développement de la karstification.</li> <li>-<b>E</b> : pour l'épi karst.</li> </ul>
	<p><b>DISCO :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Elle a pour but de définir les zones de protection en tenant compte de l'hétérogénéité du milieu.</li> <li>-Trois caractères sont nécessaires et suffisant pour évaluer le transport d'un polluant.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-<b>D</b> : Les discontinuités.</li> <li>-<b>I</b> : Couche protectrice.</li> <li>-<b>R</b> : Ruissellement.</li> </ul>
<p><b>Les eaux de surface</b></p>	<p><b>DKPR :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-C'est la méthode de cartographie de la vulnérabilité à la contamination des eaux de surface proposée par Douay D et Lardieg E.</li> <li>-Elle est basée sur quatre critères.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-<b>D</b> : L'accessibilité du milieu aquatique.</li> <li>-<b>K</b> : Le fonctionnement hydrologique du sol et du sous-sol.</li> <li>-<b>P</b> : La physiologie du bassin versant.</li> <li>-<b>R</b> : L'érosion de la pluie.</li> </ul>

# **Matériels et méthodes**

### 3. Matériels et Méthodes :

#### 3.1 .Présentation de la zone d'étude.

##### 3.1.1. Situation régionale :

La région de Kherrata est localisée dans l'extrémité sud-est de la wilaya de Bejaia. Elle est limitée administrativement par la commune de Taskariout au nord, la commune de Tizi n Bechar au sud, commune de Darguina à l'est et enfin la commune Draa el kaid à l'ouest. Elle s'étend sur une surface de 217,85 Km<sup>2</sup> [36].

En 1974 ; la région de Draa El Kaid faisait partie de la wilaya de Sétif. Suite au découpage administratif de 1984, elle a été rattachée à la commune de kherrata wilaya de Bejaïa [36].

##### 3.1.2. Situation géographique du barrage Ighil Emda :

Le barrage d'Ighil Emda (Fig.04) est situé à l'est de l'Algérie, à 60Km de la wilaya de Bejaïa plus exactement à la commune de Kherrata [36]. Il est construit en 1945 à Kherrata durant la période de la colonisation française sur Oued Agrioune [37,38], ce dernier constitue l'exutoire principal du barrage Ighil Emda vers la mer [39]. Le début de la mise en eau du barrage était en septembre 1953, sa capacité de stockage d'eau est de 1560000m<sup>3</sup>. Il alimente deux usines hydroélectriques [39].

Ce barrage est parmi les premiers à être équipés d'un dispositif qui est destiné au soutirage des vases par courant de densité. Ce dernier comprend à 03 vannes de dégrèvement qui mesure 1,80 m de largeur et 2,75 m de hauteur, 08 pertuis de dévasement qui représente un diamètre de 40cm [39].

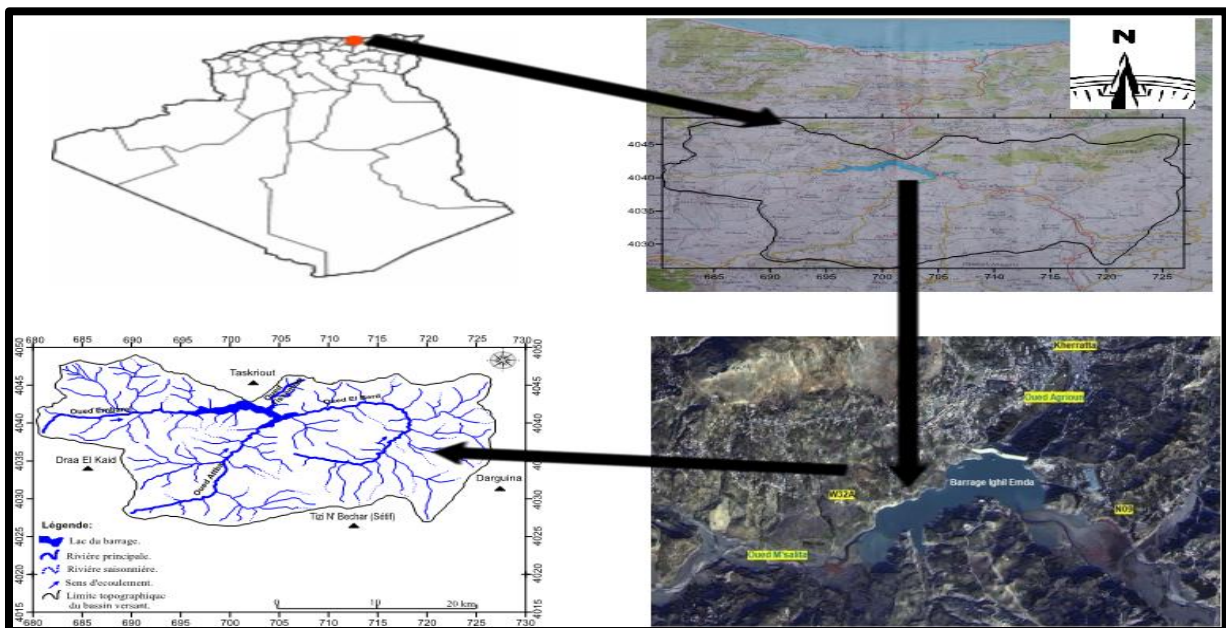


Fig.04. Situation géographique du bassin versant d'Ighil Emda.

### 3.2. Présentation du bassin versant d'Ighil Emda :

Le bassin versant du barrage d'Ighil Emda (Fig.05) à une superficie de 652 Km<sup>2</sup>, il est limité par la commune Taskariout (wilaya de Bejaia) au nord, la commune de Tizi n Bechar (wilaya de Sétif) au sud, la commune de Darguina (wilaya de Bejaia) à l'est et la commune Draa El kaid (wilaya de Bejaia) à l'ouest. Il est réparti entre les massifs de la petite Kabylie et les hauts plateaux constantinois.

Le barrage Ighil Emda contient quatre oueds principale: Oued Attba, Oued Tissemlt, Oued El Bard et Oued Embarel, chaque oued contient plusieurs affluent comme il est mentionné dans <sup>2</sup> la figure05.

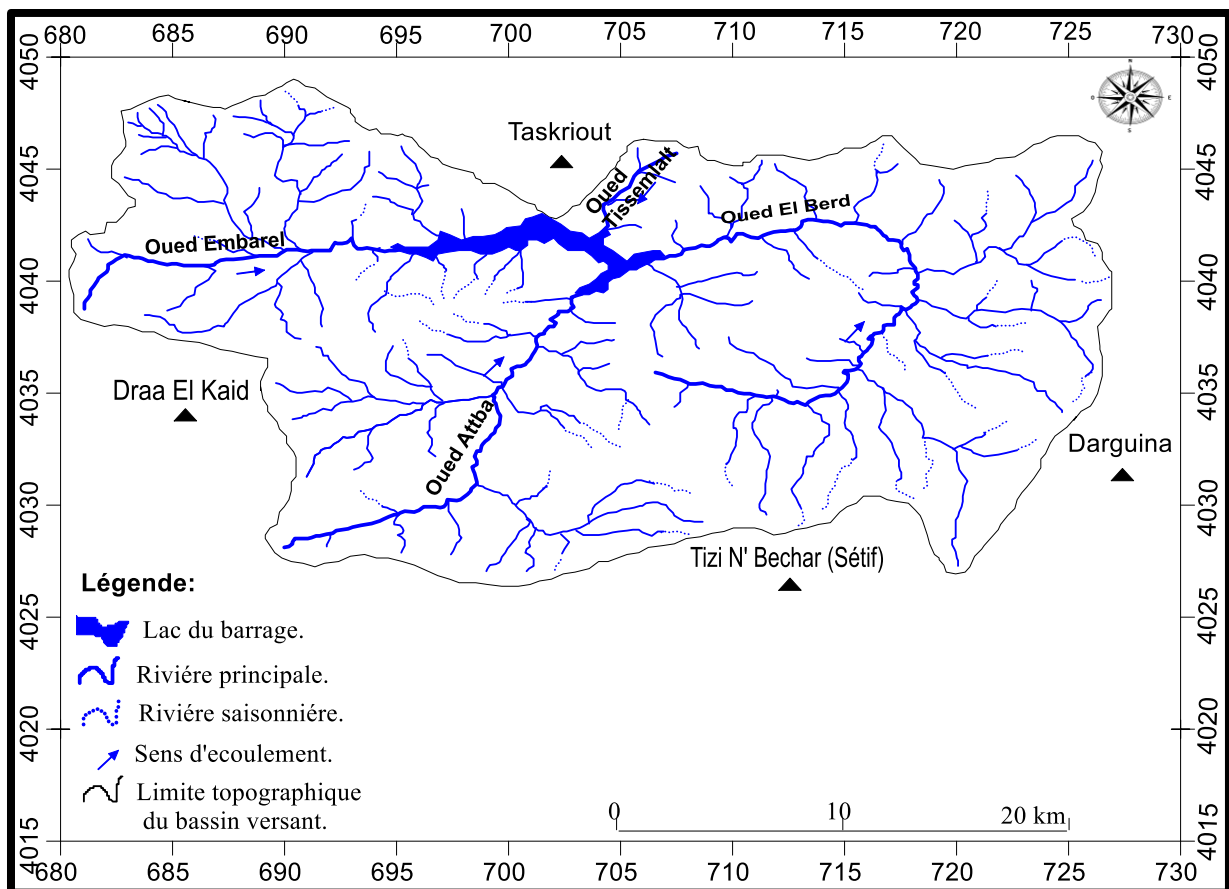


Fig.05 .Le bassin versant du barrage d'Ighil Emda.

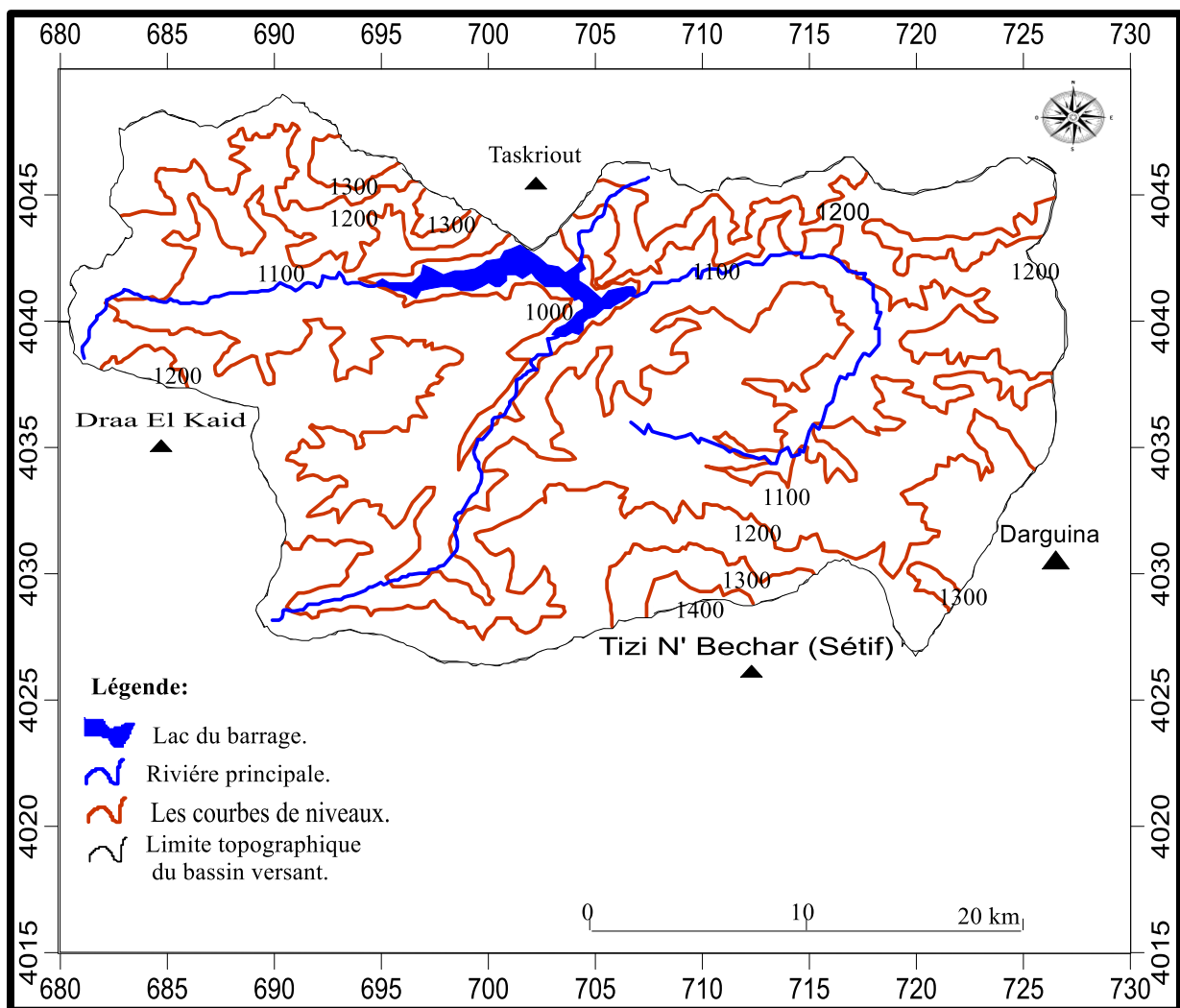
#### 3.2.1. Topographie du bassin versant d'Ighil Emda :

Le bassin versant est une surface topographique (Fig.06) où tous les écoulements d'eau dans ce domaine confluent à l'exutoire du bassin. Les eaux et les gouttes d'eau qui tombent dans le territoire délimité par des limites et frontières naturelle orientent vers le cours d'eau ou ses affluents. Cette espace d'alimentation contient des limites géographiques qui se diffèrent des limites administratives.

Le bassin versant est séparé par une ligne de partage des eaux, qui sera tracés sur une carte de courbe de niveau par le suivi des lignes de crête encadrant le bassin et ne traversera le cours d'eau droit de l'exutoire.

Ce bassin versant est caractérisé par :

- La présence d'un couvert végétal arborescent.
- La présence d'un couvert ligneux bas et dégradé.
- La prédominance de pente de plus de 25%.
- Le réseau hydrographique est conditionné par la topographie, la couverture végétale, la nature de la couverture sédimentaire géologique, et enfin le climat [39].



**Fig.06.** Carte des courbes de niveau du bassin versant du barrage Ighil Emda.



### 3-2-2- Les caractéristiques du bassin versant d'Ighil Emda :

#### 3-2-2-1- La forme du bassin versant d'Ighil Emda :

La forme du bassin affecte l'hydrogramme afférent à une averse donnée et en particulier le débit de pointe à l'exutoire dudit bassin. Plusieurs efforts ont été déployés afin de développer un facteur permettant de décrire la forme d'un bassin versant. Les bassins tendent en général vers la forme d'une " poire plus ou moins ovale ". Cependant des contraintes géologiques peuvent modifier cette forme. Plusieurs indices sont utilisés pour décrire la forme d'un bassin.

#### 3-2-2-2-La superficie :

La surface du bassin versant d'Ighil Emda (S) est exprimée en km<sup>2</sup> ou en Ha, elle est obtenue à partir d'une carte du notre bassin versant réalisé sur un papier millimétré.

$$S = 664,3478 \text{ Km}^2$$

#### 3-2-2-3- Le périmètre :

Il représente la longueur de la ligne de partage des eaux délimitant le bassin versant, il est de faible importance en hydrologie.

$$P = 158,4 \text{ Km}$$

#### 3-2-2-4-Indice de compacité de Gravelius :

Cet indice caractérisant la forme du bassin versant. Si la valeur de cet indice est supérieure à 1 cela veut dire que la forme du bassin est allongée.

$$C = \frac{0.28P}{\sqrt{A}}$$

$$C = 1,72$$

#### 3-2-2-5-Le rectangle équivalent :

C'est la transformation géométrique du bassin versant en un rectangle de dimensions L et l ; il permet la comparaison entre les bassins versant du point de vue de l'écoulement.

$$L_e = \frac{C \sqrt{A}}{1.128} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.128}{C} \right)^2} \right]$$

$$L_e = 61,70 \text{ Km}$$

### 3.3. Aperçu géomorphologique et géologique :

#### 3.3.1 .la géomorphologie du barrage d'Ighil Emda :

La géomorphologie est une partie de l'hydrologie qui est une science consacrée à l'étude d'existence, circulation, propriété physico-chimique et la distribution des eaux terrestre. Elle couvre toute l'histoire de l'eau sur terre. La définition de l'hydrologie se diffère d'un auteur à

un autre [40]. Pour une bonne compréhension du comportement hydrologique du bassin versant du barrage Ighil Emda, il est obligatoire d'accéder aux analyses minutieuses des éléments morpho-métrique comme la pente qui est un paramètre essentiel pour l'identification du terrain [41].

Pour bien comprendre, nous avons réalisés un profil en long (Fig.07) des principaux cours d'eau du bassin versant du barrage(Oued Attba, Elberd ,Emberel et tissemlalt), il montre une pente supérieur 6% ,et d'autres inférieur du 3,57%.

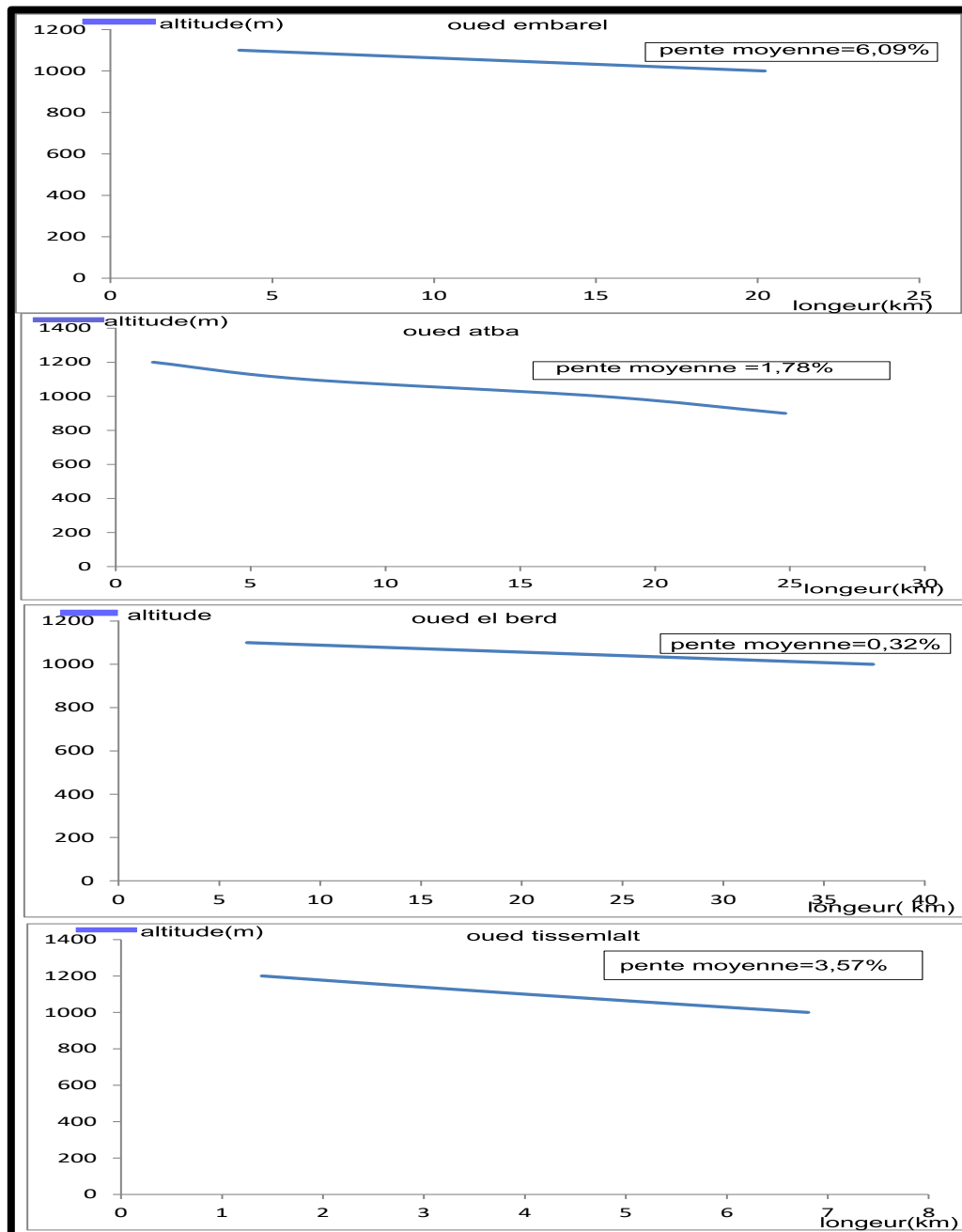


Fig.07. profils en long des principaux cours d'eau du barrage.

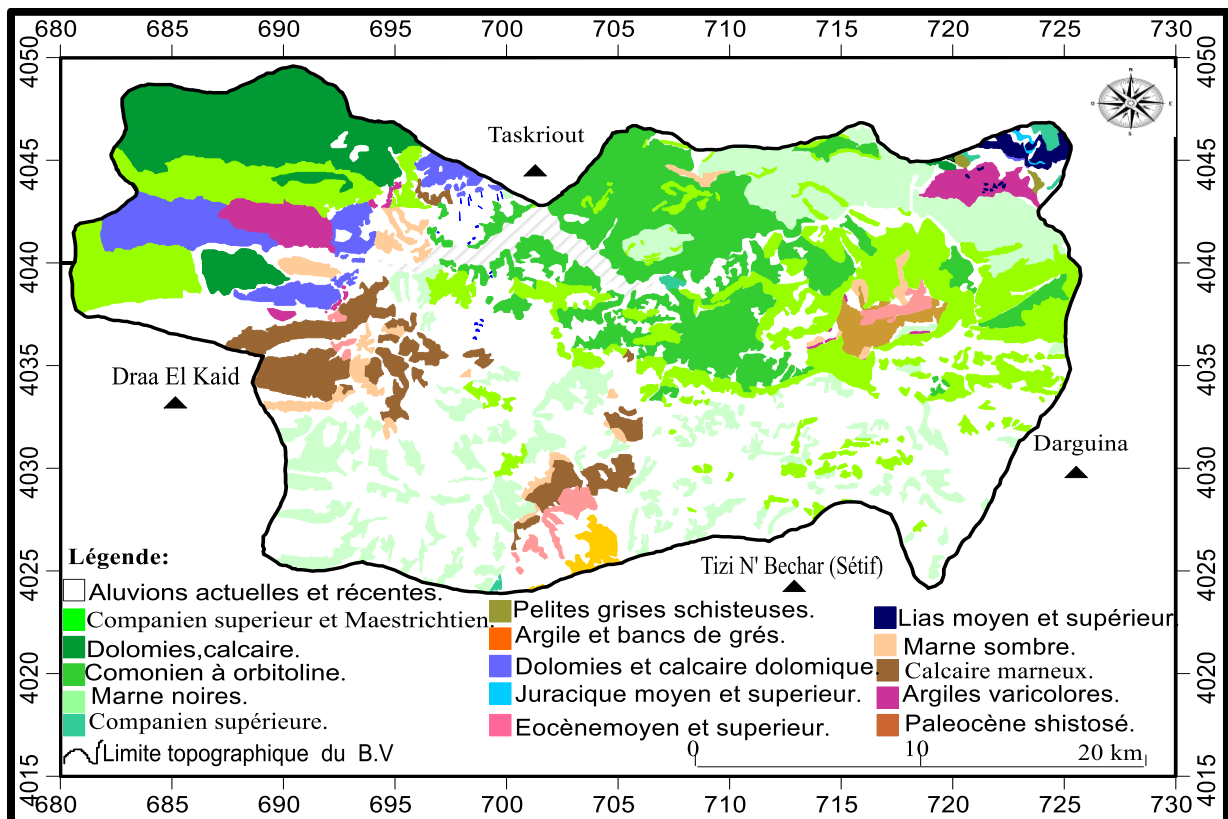


**Fig.08.** Photo de la forme des pentes prise lors de la sortie vers le barrage d'Ighil Emda (Mai 2022).

### 3.4. Cadre géologique :

#### 3.4.1. La géologie locale :

Sur la base de la carte géologique 1/50000 de la région de kherrata qui était faite en 1960, Notre région d'étude représente un terrain sédimentaire quaternaire, contient des alluvions actuelle et récente.



**Fig.09.** La carte pédologique et géologique du bassin versant d'Ighil Emda.

Des flyshes kabyle qui contiennent : la nappe numidienne qui présente des flyshes numidien, sont formés à partir de l'argile et bancs de grès .Des alluvions actuelles et récentes. Et la formation tellienne. Cette dernière contient des nappes ultra-tellienne, et des nappes de types Draa el arba-Erragène, elle contient : des campaniens qui sont formés par des marnes jaunes ou grises à banc de calcaire noir ou gris et à boules jaune abondantes. On note aussi d'yprésien et lutétien inférieur contient du calcaire marneux schistosés, des pliocènes schistosé, calcaire marneux. Des maestrichtien contiennent de marne noire. Et la dernière nappe c'est la nappe de Djemila qui contienne des danien, sont formés par de marne noir et calcaire gris marneux ; paléocène contient des marnes noires ou brunes.

Et aussi des campaniens supérieur ; barrémo-aptien et alien.Néocomien-Barrémien construit par calcaire marneux schisteux. Des dolomies et calcaire dolomique. Des cénomanien à turonien, dolomies calcaire. Finalement on site l'argile varicolore contient du gypse broyés, glaçons calcaro-dolomique[42].

### 3.4.2. Intérêt hydrogéologique des formations du barrage Ighil Emda :

Le bassin versant d'Ighil Emda a enregistré trois formations géologique : les alluvions, le calcaire et le marne+ l'argile.

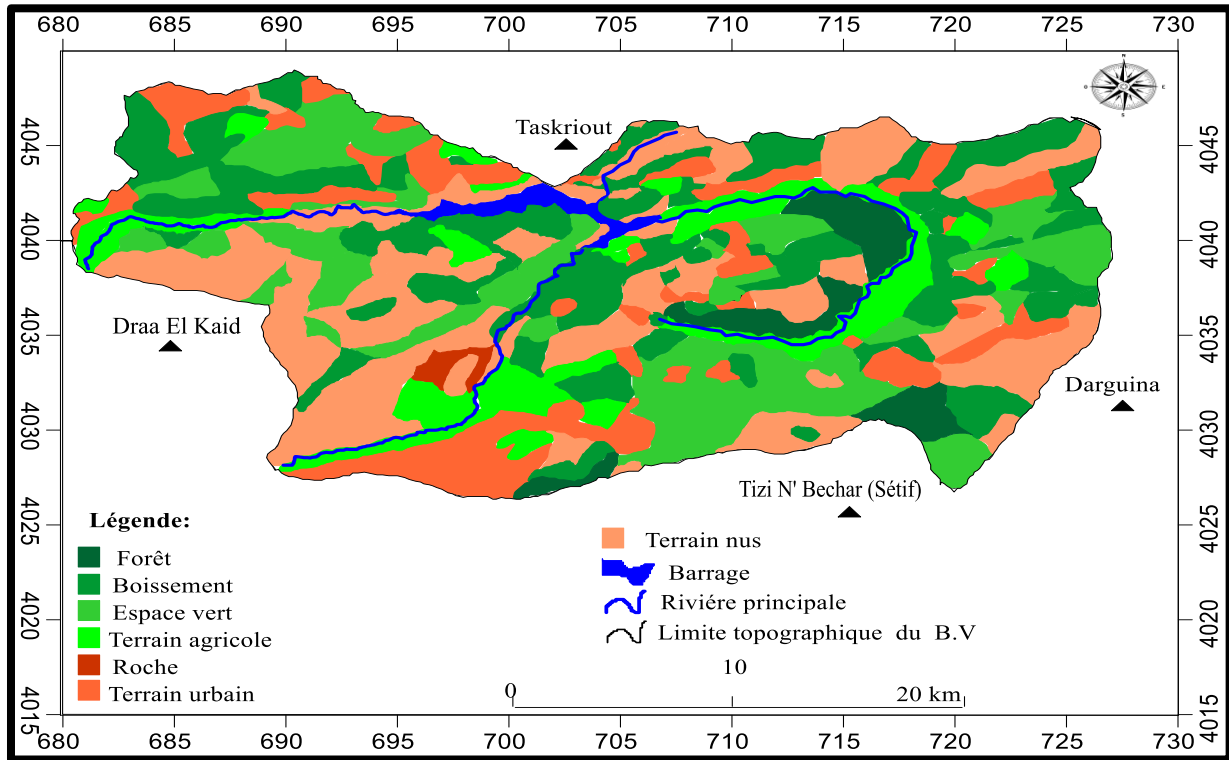
-Les alluvions permet l'infiltration des eaux, le calcire permet le ruissèlement de l'eau et le marne + l'argile permet permet le nruissèlement + l'infiltration de l'eau. (Tab.02)

**Tab.02.** intérêt hydrogéologique des formations géologiques du barrage.

formation	Intérêt hydrogéologique
Alluvion	Perméable : permet l'infiltration des eaux
Calcaire	Imperméable : permet le ruissèlement de l'eau
Marne +Argile	Semi perméable : permet le ruissèlement +l'infiltration d'eau

**3.4.3. L'occupation du sol du bassin versant d'Ighil Emda :**

Le sol du bassin versant du barrage Ighil Emda est occupé par des forêts, espaces verts, terrains agricoles, des roches, terrains urbains et des terrains nus.



**Fig.10.**La carte d'occupation du sol du bassin versant d'Ighil Emda

55



**Fig.11.**Photo d'occupation du sol prise lors de la sortie vers le barrage Ighil Emda (Mai 2022).

### 3.5. Etude climatologique :

#### 3.5.1. Etude climatique :

La pluviométrie est un élément fondamental et essentiel du climat, il a une importance telle que: les différentes classifications du climat repose essentiellement sur la moyenne mensuelle ou annuelle des précipitations ; on combine avec les moyennes et les extrêmes de température [43].

Parmi les facteurs les plus importants pour un projet de station d'épuration ou d'assainissement nous citons les données climatiques [44].

La région d'étude est influencée par un climat de la méditerranée ; doux pluvieux et parfois neigeux en hiver ; chaud et sec en été.

Pour choisir les stations ; il faut baser sur 3 critères telle que [43] :

Répartition spatial uniforme.

Station professionnelle.

Donnée d'observation complète ou quasi complète.

L'étude de la climatologie nécessite une connaissance des précipitations, la température. Ces derniers représentent des éléments climatiques.

L'étude climatique est très importante, elle nous aide à identifier les caractéristiques du notre bassin versant (les paramètres du bilan hydrique :I,R,EVTP,P), et confirmé la fiabilité de notre étude et notre résultats.

Pour réaliser notre étude climatique, nous avons choisis la station météorologique de Béjaïa et celle de Sétif avec une serie des données de 20 ans.

**Tab.03.**Coordonnées des stations pluviométriques dans la région de Bejaia et Sétif

Station	Z (mm)	Latitudes	Longitudes
Bejaïa	1.75	E05°06''	N36°43''
Sétif	1081	5,42 E	36,18

#### 3.5.1.1. Les précipitations :

Les précipitations sont un facteur important du climat, elles expriment généralement la quantité d'eau mesurée durant un certain temps.

Elles représentent un apport d'eau qui provient au sol sous forme solide ou liquide, d'une façon directe ou indirecte de la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique [44].Elles constituent l'élément fondamental du bilan hydrologique.

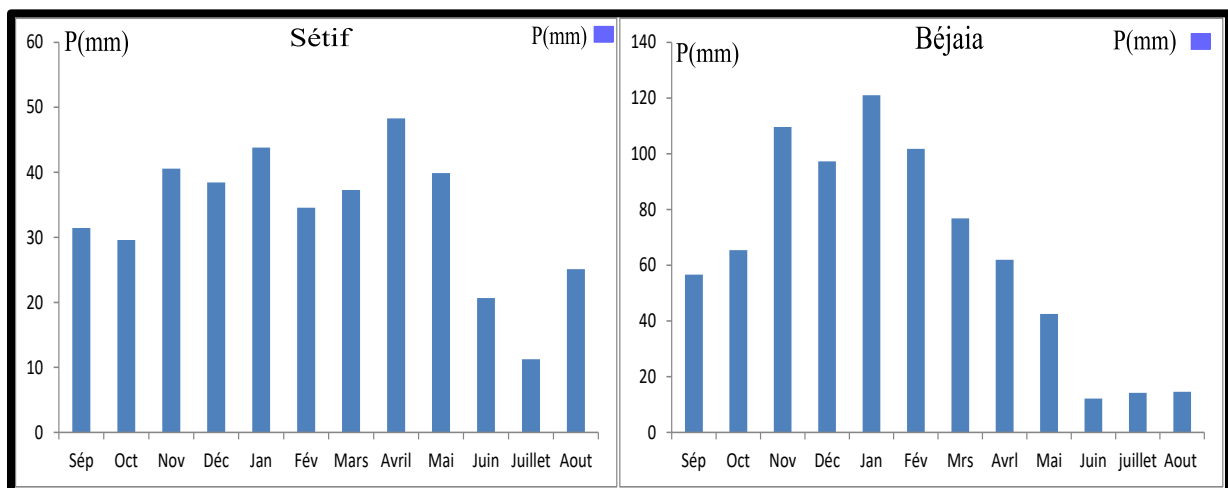
### A. Variations spatio-temporelles des pluies :

La pluviosité dans la région de Bejaïa est caractérisée par une forte intensité des précipitations durant le mois novembre jusqu'au mois de Mars. Dans la région de Sétif, la pluviosité est caractérisée par une forte intensité des précipitations durant le mois de novembre jusqu'au mois d'avril.

**Tab.04.** Pluies moyenne mensuelle dans la station de Bejaia et la station de Sétif (2000/2021).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Totale
Précipitation moyenne enregistrée à la station de Bejaia	56.698	65.45	109.58	97.22	121.038	101.78	76.79	61.93	42.49	12.14	14.22	14.55	774.228
Précipitation moyenne enregistrée à la station de Sétif	31.42	29.61	40.58	38.45	43.82	34.55	37.28	48.30	39.88	20.68	11.24	25.11	400.92

La différence entre ces résultats enregistrés est justifiée par les lois de l'éloignement de la mer, l'orographie et l'exposition des versants aux vents humides. (**Tab.04**)



**Fig.12.** Histogramme des précipitations moyenne mensuelle dans la station de Bejaia et la station de Sétif (2000/2021).

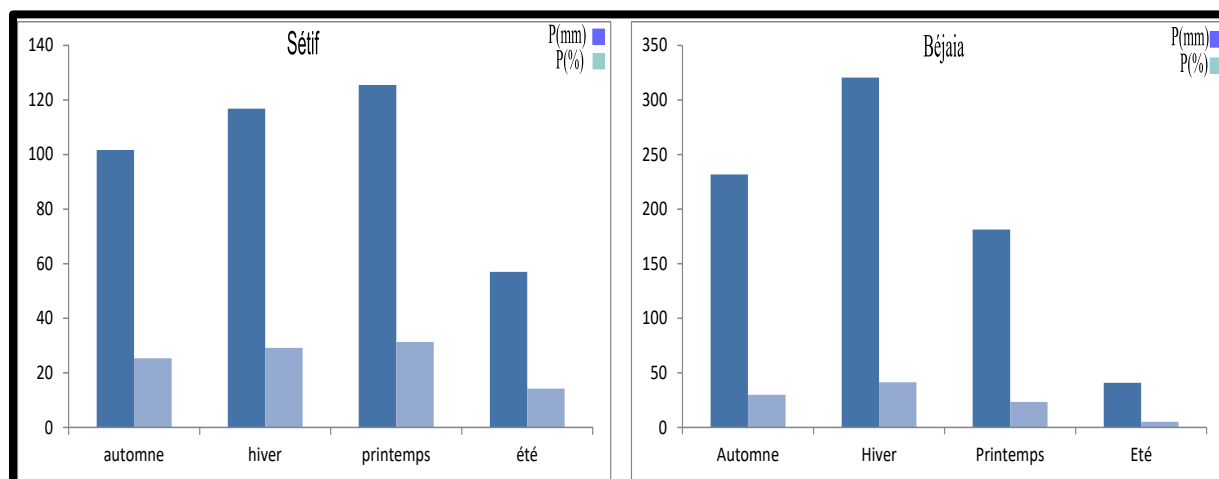
Dans la station de Bejaïa les précipitations atteignent la valeur maximale en mois de Janvier avec un Taux de 121.038 mm et leurs valeurs minimales sont enregistrées en mois de Juillet avec un Taux de 12.14 mm. Tandis que la station de Sétif a enregistré le plus grand Taux de précipitation en mois de Avril à P= 43.82 mm et la précipitation minimale a été enregistrée en mois de Juillet où P=11.24 mm.

### B). Précipitation moyenne saisonnières :

Les précipitations moyennes saisonnières permettent la détermination de la distribution de l'eau Précipitée durant notre période d'étude (2000/2021).

**Tab.05.** Répartition saisonnière des précipitations dans les stations de Bejaïa et de Sétif (2000/2021).

Saisons Mois	Automne			Hiver			Eté			Printemps			Totale		
	Se p	Oc t	No v	Dé c	Ja n	Fé v	Ma rs	Avr il	M ai	Jui n	Juill et	Ao ut			
Stations	P (mm)		P (%)	P (mm)		P (%)	P (mm)		P (%)	P (mm)		P (%)	P (mm)		P (%)
Bejaïa	231.7 28		29.93	320.3 8		41.3 8	181.21		23.40	40.91		5.28	774.2 28		100
Sétif	101.6 1		25.34	116.8 2		29.1 3	125.46		31.29	57.03		14.22	400.9 2		100



**Fig.13.** Histogramme des précipitations moyennes saisonnières dans la station de Bejaia et La station de Sétif (2000/2021).

La figure 13 représente les histogrammes de précipitations saisonnières dans la station de Béjaia et dans la station Sétif. A partir de cette figure, nous constatons que pour la wilaya de Béjaia la saison la plus pluvieuse est l'hiver, par contre la saison la plus sèche est l'été (un climat tempéré).

Pour la wilaya de Sétif, la saison la plus pluvieuse est le printemps, par contre la saison la plus sèche est l'été (climat semi-aride).



**C) . Précipitations annuelles :**

Les données pluviométriques sont disponible sous forme d'échantillon d'une étude très longue (plus de vingt ans).

Il est obligatoire de classer les données ramasser par certain paramètres notamment : la moyenne arithmétique (P moy), le coefficient pluviométrique (**Cp**).

Le coefficient pluviométrique ce calcule avec la formule suivante :

$$\mathbf{Cp = P / P \text{ moyenne .}}$$

**Cp** : Le coefficient pluviométrique .

**P** :Les précipitations annuelle d'une année en (mm).

**P moyenne** : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

Le coefficient de (**Cp**) nous permet de distinguer les années excédentaires et les années déficitaires.

**Si le Cp > 1 : l'année est excédentaire (AE).**

**Si le Cp < 1 : L'année est déficitaire ( AD).**

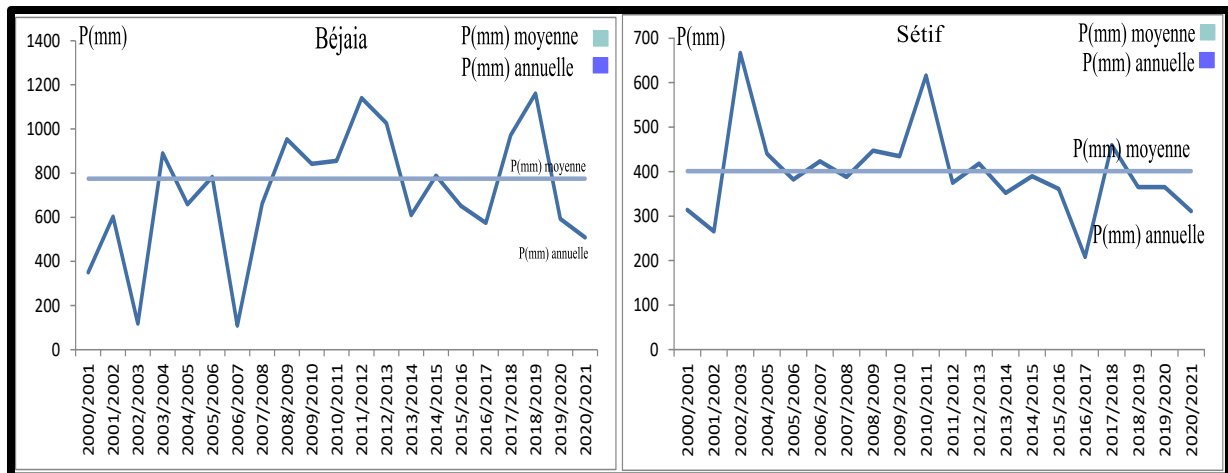
**Tab.06.** Le coefficient pluviométrique (**Cp**) de la station de bejaia (periode 2000/2021).

Année	Totale	Moyenne	Cp	1<Cp<1
2000/2001	550.6	774.228	0.71116002	AD
2001/2002	603.2	774.228	0.779098663	AD
2002/2003	1171.7	774.228	1.513388262	AE
2003/2004	889.2	774.228	1.148498892	AE
2004/2005	658.6	774.228	0.850653812	AD
2005/2006	782.7	774.228	1.010942513	AE
2006/2007	109.5	774.228	0.141431206	AD
2007/2008	660.5	774.228	0.85310787	AD
2008/2009	952.9	774.228	1.23077397	AE
2009/2010	842.3	774.228	1.087922421	AE
2010/2011	855.1	774.228	1.104455018	AE
2011/2012	1140.4	774.228	1.47295112	AE
2012/2013	1026.3	774.228	1.325578512	AE
2013/2014	609.6	774.228	0.787364962	AD
2014/2015	788.9	774.228	1.01895049	AE
2015/2016	651.3	774.228	0.841168569	AD
2016/2017	574	774.228	0.741383675	AD
2017/2018	971.7	774.228	1.25505665	AE
2018/2019	1160.6	774.228	1.499041626	AE
2019/2020	592.3	774.228	0.765020123	AD
2020/2021	508.7	774.228	0.657041595	AD

**Tab.07.**Le coefficient pluviométrique (Cp) de la station de Sétif (période 2000/2021).

Année	Totale	Moyenne	Cp	1<Cp<1
2000/2001	313,8	400,92	0.78269979	AD
2001/2002	265,5	400,92	0.662226878	AD
2002/2003	666,5	400,92	1.662426419	AE
2003/2004	440,2	400,92	1.0974658	AE
2004/2005	382	400,92	0.952808554	AD
2005/2006	423,3	400,92	1.05582161	AE
2006/2007	396,9	400,92	0.989973062	AD
2007/2008	387,8	400,92	0.967275266	AD
2008/2009	447,3	400,92	1.115683927	AE
2009/2010	434,6	400,92	1.084006784	AE
2010/2011	616,2	400,92	1.536964981	AE
2011/2012	374,9	400,92	0,935099271	AD
2012/2013	418,2	400,92	1.043100868	AE
2013/2014	352,1	400,92	0.87823007	AD
2014/2015	389,7	400,92	0,972014367	AD
2015/2016	361,3	400,92	0.901177292	AD
2016/2017	208,1	400,92	0.519056	AD
2017/2018	459,5	400,92	1.146113938	AE
2018/2019	356,1	400,92	0.888207123	AD
2019/2020	364,9	400,92	0.910156639	AD
2020/2021	311,3	400,92	0,776464123	AD

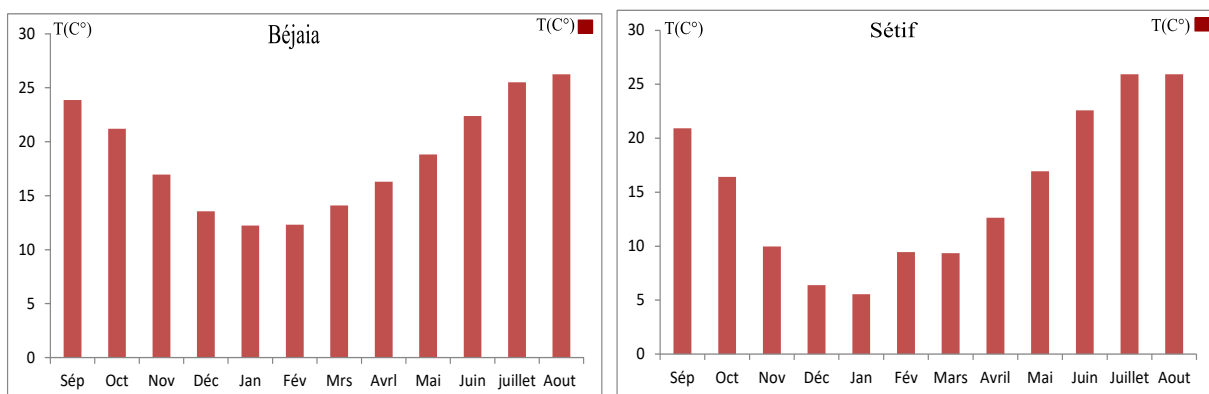
A partir de ( la figure 14) et les deux tableaux (06et07), nous constatons qu'à Bejaia le nombre des années déficitaires c'est 10 années et à Sétif c'est 13 années. Tandis que pour les années excédentaires, à la station de Bejaia c'est 11années ont été enregistré et la station de Sétif 8 années. Nous constatons aussi que les pluies annuelles se répartissent d'une façon irrégulière.



**Fig.14.** Variation des précipitations annuelles dans la station de Sétif et la station de Béjaïa (2000/2021).

### 3.5.1.2. Les températures :

La température est reconnue depuis le 19<sup>ème</sup> siècle ; elle représente un facteur climatique très important. C'est un phénomène physiologique qui a des conséquences des conséquences écologiques importantes [44]. Elle joue le rôle de facteur limitant parce qu'elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques, et conditionne la répartition spatiale de la faune et les orthoptères [45]. Il existe des espèces qui ne peuvent pas vivre qu'entre certaines limites de température [44]. Son unité internationale est le kelvin (K), et le degré Celsius (C°). La région de Kherrata contient deux climats, la partie qui est proche à Sétif caractérisée par un climat comme celui de Sétif, et la partie proche à Béjaïa caractérisé par un climat méditerranéen.



**Fig.15.** Histogramme des températures moyennes mensuelles dans la station de Béjaïa et la station de Sétif (2000/2021).

D'après (la figure 15), les résultats enregistrés aux stations de Béjaïa et Sétif montrent que pour la station de Béjaïa, la saison la plus froide s'étale du mois de novembre jusqu'au mois d'avril. La valeur la plus basse est enregistrée au mois de janvier (12,23 C°), puis vient le mois de février (12,32 C°).

Dans la station de Sétif la saison la plus froide s'étale du mois d'octobre jusqu'au mois de mai. La valeur la plus basse était enregistrée au mois de janvier (5,54°C), puis vient le mois de décembre (6,40°C), une saison chaude était enregistrée durant les mois du juin jusqu'à septembre dans les deux stations.

La valeur la plus élevée était enregistrée au mois d'août (26,25 °C) à Béjaïa et au mois de juillet et août (25,92°C) à Sétif.

**Tab.08.** Températures moyennes mensuelles en (°C) dans la station de Béjaïa et de Sétif (2000/2021).

	Sép	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avri	Mai	Juin	Juillet	Aout
<b>Béjaïa</b>	23.86	21.21	16.96	13.56	12.23	12.32	14.10	16.30	18.82	22.38	25.52	26.25
<b>Sétif</b>	20.94	16.42	9.97	6.40	5.54	9.46	9.35	12.64	16.94	22.59	25.92	25.92

#### A. le diagramme pluviométrique (ombrothermique) :

Le diagramme ombrothermique est un type de diagramme climatique. Il nous permet de déterminer la période humide, sèche ou le mois humide, sec, en appliquant la formule  $P=2T$ .

Le mois sec est celui où la moyenne des précipitations est inférieure ou égale au double de la température moyenne.

Lorsque la courbe des précipitations est au-dessous de la courbe des températures, la période étudiée est dite une période sèche.

#### ❖ L'indice d'aridité de « de Martonne » :

Est un indicateur quantitatif du degré du manque d'eau qui est enregistré à un endroit donné.

Il est donné par la formule suivante :

$$A = P / (T + 10)$$

Avec :

**A** : Indice d'aridité annuelle.

**P** : précipitations moyennes annuelles (mm), (la somme des précipitations de chaque année pendant la période étudiée divisée par 21).

**T** : température moyennes annuelles (°C), (la somme des températures de chaque année pendant la période étudiée divisée par 21).

Tel que :

**A < 05** : climat hyperaride.

**10 < A < 20** : climat semi-aride.

**05 < A < 7,5** : climat désertique.

**20 < A < 30** : climat tempéré.

**7,5 < A < 10** : climat steppique.

**A > 30** : climat humide.

#### ➤ Calcul de l'indice d'aridité dans la station de Béjaïa :

Précipitation moyenne annuelle = 766,63 mm

Température moyenne annuelle = 18,84 °C.

Alors :

$$A = 766,63 / (18,84 + 10)$$

$$A = 26,58.$$

**20<A<30 : climat tempéré.**

- Calcule d'indice d'aridité dans la station de Sétif :

Précipitation moyenne annuelle = 398,58 mm

Température moyenne annuelle = 14,14 C°

Alors :

$$A = 398,58 / (14,14 + 10)$$

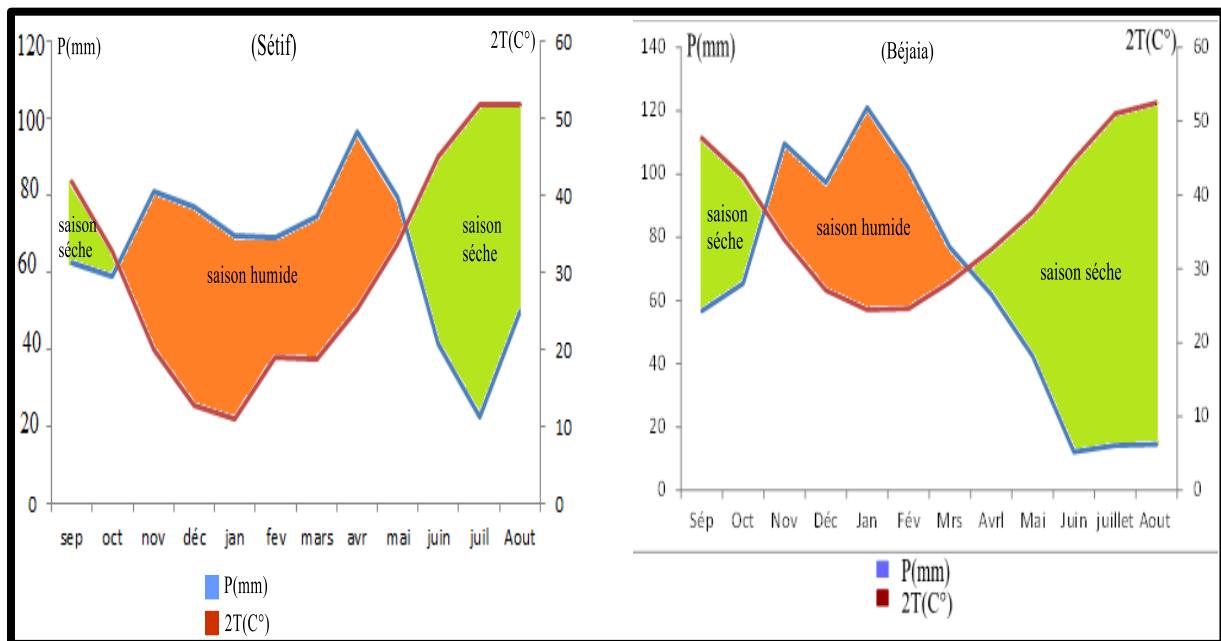
$$A = 16,51.$$

**10<A<20 : climat semi-aride.**

Durant la période d'observation allant de 2000 jusqu'à 2021 et d'après les calculs réalisées les résultats est comme suit :

Pour la station de Bejaïa, P=766,63 et T =18,84 nous trouvons que A=26,58, ce qui correspond à un climat « tempéré ».

Pour la station de Sétif, p=398,58 et T =14,14 nous trouvons que A=16,51 ce qui correspond à un climat « semi-aride ».



**Fig.16.**Diagramme d'ombrothermique de la station de Béjaïa et de Sétif (2000-2021).

D'après la (figure 16), les résultats enregistrées dans la station de Bejaïa montre une saison humide et froide s'étale entre le mois d'octobre et le mois d'avril, et une saison sèche et chaude, elle s'étend entre le mois de mai et le mois de septembre.

Dans la station de Sétif, les résultats enregistrés montrent une saison humide et froide s'étale entre le mois d'octobre et le mois de mai, et une saison sèche et chaude s'étend entre le mois du juin et le mois de septembre.

### 3.5.1.3. Le bilan hydrique :

Le but d'établissement d'un bilan hydrique d'une région est la connaissance de la répartition plus ou moins grossière des précipitations entre l'écoulement, l'infiltration et l'évapotranspiration.

$$P = ETR + R + I$$

Avec :

**P** : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

**ETR** : Evapotranspiration réelle moyenne annuelle en (mm).

**R** : Ruissellement moyen annuel en (mm).

**I** : Infiltration en (mm).

#### A. Détermination des paramètres du bilan :

##### a. Evapotranspiration :

L'évapotranspiration est un facteur déterminé par la température, elle représente un ensemble des phénomènes d'évaporation et de transpiration [47].

L'évapotranspiration se divise en deux types tel que : l'évapotranspiration potentiel et l'évapotranspiration réelle.

##### 1. Evapotranspiration potentiel :

Elle signifie la somme des quantités des eaux qui peuvent transpirer et évaporer sur une surface donnée, durant une période d'étude bien défini [48].

Elle est calculée par la formule de « C.W.Thornthwait » qui était proposée en 1948.

$$ETP = 16 (10t / I)^a \cdot K$$

Avec:

$$a = 0,016 I + 0,5 \quad I = \sum i. \quad i = (t / 5)^{1,514}$$

**ETP**: Evapotranspiration potentielle mensuelle en (mm).

**t** : Température moyenne mensuelle en (°C).

**i** : Indice thermique mensuel.

**I** : La somme des indices mensuels de l'année.

**K** : Facteur correctif intégrant la durée d'insolation et la température.

**Tab.09.** Résultats de l'Evapotranspiration par la formule « **C.W.Thorthwaite (1948)** » pour la station de Bejaïa et la station de Sétif (2000/2021).

Mois	Sép	Oct	No v	Déc	Jan	Fév	Ma rs	avr il	Ma i	Jui n	Juill et	Ao ut	Tota le
<b>I</b> (Béja ia)	10.6 54	8.9 15	6.3 54	4.5 28	3.8 73	3.9 16	4.8 04	5.9 84	7.4 39	9.6 70	11.7 83	12. 31	90.2 3
<b>I</b> (Sétif )	8.74	6.0 5	2.8 4	1.4 5	1.1 6	2.6 2	2.5 7	4.0 7	6.3 4	9.8 0	12.0 7	12. 07	69.7 8
<b>K</b> (Béja ia)	1,03	0.9 7	0.8 6	0.8 1	0.8 7	0.8 5	1.0 3	1.1	1.2 1	1.2 2	1.24	1.1 6	12.3 5
<b>K</b> (Sétif )	1,03	0.9 7	0.8 6	0.8 1	0.8 7	0.8 5	1.0 3	1	1.2 1	1.2 2	1.24	1.1 6	12,2 5
<b>ETP</b> (Beja ia)	30.6 9	26. 86	20. 10	16. 36	16. 50	16. 20	21. 31	25. 02	30. 51	35. 35	40.5 4	39. 02	318. 46
<b>ETP</b> (Sétif )	33,2 5	25, 84	16, 71	12, 34	12, 35	16, 03	19, 30	22, 38	32, 99	42, 18	49,2 5	46, 08	328, 70

## 2. Evapotranspiration réelle (ETR) :

L'évapotranspiration réelle signifie l'évapotranspiration qui se produit durant un intervalle du temps (période d'étude), dans des conditions réelle des quantités en eau abondantes du sol.

Elle est calculée par plusieurs formules, prenant en compte les précipitations et les températures [49].

Calcul de l'ETR avec la formule de Truc :

$$\text{ETR (mm/an)} = P / (0,9 + P^2 / L^2)^{1/2}$$

Avec :

**ETR** : Evapotranspiration réelle en (mm).

**L** = pouvoir évaporant =  $0,05T^3 + 25 T + 300$

**P** = Précipitations moyenne mensuelle en (mm).

**T** = température moyenne mensuelle en °C.

**Tab.10.** Résultats de l'Evapotranspiration réelle par la formule « **Truc** » pour La station de Bejaïa et la station de sétif (2000/2021).

Facteur	P(mm)	T(c °)	L	ETR
<b>Béjaia</b>	774.228	18.624	1088.59	722.898
<b>Sétif</b>	400.92	14.81	832,66	376,84

D'après le tableau10, les valeurs de l'ETR des stations de Bejaïa et Sétif sont inférieures aux valeurs des P, et la valeur de l'infiltration est négative. Dans ce cas la formule de Truc ne peut

pas être suivie. Donc nous suivons la formule de « C.W .Thornthwait (1948) ». C.W.Thornthwaite : Calcul de l'ETR en (mm) par cette méthode liée aux précipitations, Il existe trois cas pour son calcul :

➤ **1 er cas :  $P \geq ETP \Rightarrow ETR = ETP$  :**

P-ETP est conditionné par RFU : Si le sous-sol a une capacité élevée d'infiltration, cet excédent constitue la composante de l'infiltration vers la nappe.

Si la RFU est complète, la quantité d'eau qui reste (P-ETP) destinée à l'alimentation de l'écoulement [50].

➤ **2ème cas :  $P < ETP \Rightarrow ETR = P + RFU$  :**

La RFU va s'épuiser jusqu'à la satisfaction de l'ETP.

➤ **3ème cas :  $P < ETP$  et  $RFU = 0 \Rightarrow ETR = P$  :**

Dans ce cas, y'a un déficit agricole. Ce déficit représenté par la quantité d'eau qui est apporté pour l'irrigation.

Cette valeur permet de déterminer la valeur de l'ETR pour les stations d'étude par la méthode de Thornthwait.

**Tab.11.** Bilan de C.W.Thomthwaite de la station de Bejaïa (2000-2021).

Mois	T (°C)	K	I	ETP (mm)	P (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DEF	EXC
Septembre	23.86	1	10.654	30,69	56.698	26,008	30,69	0	26,008
Octobre	21.21	0.97	8.915	26,86	65.45	38,59	26,86	0	38,59
Novembre	16.96	0.86	6.354	20,10	109.58	89,48	20,10	0	89,48
Décembre	13.56	0.81	4.528	16,36	97.22	80,86	16,36	0	97,22
Janvier	12.23	0.87	3.873	16,50	121.038	104,538	16,50	0	104,538
Février	12.32	0.85	3.916	16,20	101.78	85,58	16,20	0	85,58
Mars	14.10	1.03	4.804	21,31	76.79	55,48	21,31	0	55,48
Avril	16.30	1.1	5.984	25,02	61.93	36,91	25,02	0	36,91
Mai	18.82	1.21	7.439	30,51	42.49	11,98	42,49	0	11,98
Juin	22.38	1.22	9.670	35,35	12.14	0	12,14	23,21	0
Juillet	25.50	1.24	11.783	40,54	14.22	0	14,22	26,32	0
Aout	26.25	1.16	12.31	39,02	14.55	0	14,55	24,47	0
Totale	223.49	12.35	90.23	318,46	774.228	545,78	244,46	74	545,78



**Tab.12.**Bilan de C.W.Thomthwaite de la station de Sétif (2000-2021).

Mois	T (°C)	K	I	ETP (mm)	P (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DEF	EXC
Septembre	20,94	1,03	8,74	33,25	31,42	0	31,42	1,83	0
Octobre	16,42	0,97	6,05	25,84	29,61	3,77	25,84	0	3,77
Novembre	9,97	0,86	2,84	16,71	40,58	23,87	16,71	0	23,87
Décembre	6,40	0,81	1,45	12,34	38,45	26,11	12,34	0	26,11
Janvier	5,54	0,87	1,16	12,35	43,82	31,47	12,35	0	31,47
Février	9,46	0,85	2,62	16,03	34,55	18,52	16,03	0	18,52
Mars	9,35	1,03	2,57	19,30	37,28	17,98	19,30	0	17,98
Avril	12,64	1	4,07	22,38	48,30	25,92	22,38	0	25,92
Mai	16,94	1,21	6,34	32,99	39,88	6,89	32,99	0	6,89
Juin	22,59	1,22	9,80	42,18	20,68	0	20,68	21,5	0
Juillet	25,92	1,24	12,07	49,25	11,24	0	11,24	38,01	0
Aout	25,92	1,16	12,07	46,08	25,11	0	25,11	20,97	0
Totale	182,09	12,25	69,78	328,70	400,92	154,53	246,39	82,31	154,53

**b. Ruissellement (R) :**

Le ruissellement est défini comme suit : c'est la quantité d'eau qui s'échappe au cours des précipitations, à l'évapotranspiration et à l'infiltration.

Il est calculé par deux formules :

-Lorsque la somme des précipitations est supérieur à 600 :  $R = P^3 / (ETR)^2$

-Lorsque la somme des précipitations est inférieur de 600 :  $R = P^3 / 3(ETR)^2$

Avec :

**R** : Ruissellement en (mm).

**P** : Précipitation moyenne mensuelle en (mm).

**ETP** : Evapotranspiration potentielle en (mm).

**Tab.13.**Résultats du ruissellement pour la station de Bejaïa et la station de Sétif (2000/2021).

	P (mm)	R (mm)
<b>Bejaïa</b>	774.228	390.289
<b>Sétif</b>	400.92	151,26

**c. L'infiltration(I) :**

C'est la quantité de l'eau qui traverse la surface du sol et rentre à l'intérieur du sol. Elle participe dans le renouvellement de la réserve d'eau. Elle accueille le débit de l'écoulement des eaux 'après circulation dans les différents formations hydrogéologiques perméables.

Elle se calcule par la formule suivante :

$$P = ETR + R + I \Rightarrow I = P - (R + ETR)$$

Avec :

**I** : L'infiltration en (mm).

**R** : Ruissellement en (mm).

**P** : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

**ETR** : Evapotranspiration annuelle en (mm) selon la méthode de "C.W.Thornthwaite".

**Tab.14.** Résultats de l'infiltration par l'équation du bilan hydrique pour la station de Bejaïa et la station de Sétif (2000/2021).

	<b>P (mm)</b>	<b>R (mm)</b>	<b>ETR (mm)</b>	<b>I (mm)</b>
<b>Bejaia</b>	774,228	390,289	244,46	139,479
<b>Sétif</b>	400,92	151,26	246,39	3,27

### 3.5.1.3. Interprétation du bilan de C.W.Thornthwaite :

Le bilan d'eau fait et calculer par la formule de Thornthwaite a montré que :

Dans la station de Bejaia les résultats enregistrés sont : l'ETP annuelle atteint son maximum au mois de juillet (49,25 mm) et son minimum au mois de Février (16,20mm). Le réserve du sol commence à s'effectuée entre les mois de septembre et le mois de mai ; il commence à s'épuiser à partir du moi du mois de juin pour se vider complètement durant le mois ce mois, il atteint son maximum au mois de janvier (104,538mm) et son minimum au mois de Mai (11,98mm).

Et enfin pour le déficit agricole, il atteint son maximum au mois de juillet avec une valeur de 26,36mm/an au mois de juillet. Il s'étale du mois de juin jusqu'au mois d'aout. Il de l'ordre de 74mm/an.

L'ETP annuelle atteint son maximum au mois de juillet (40,54 mm) et son minimum au mois de décembre (12,34mm). Le réserve du sol commence à s'effectuée entre les mois de septembre et le mois de mai ; il commence à s'épuiser à partir du moi du mois de juin pour se vider complètement durant le mois ce mois, il atteint son maximum au mois de janvier (31,47mm) et son minimum au mois de octobre (3,77mm).

Et enfin pour le déficit agricole, il atteint son maximum au mois de juillet avec une valeur de (38,01mm/an) au mois de juillet. Il s'étale du mois de juin jusqu'au mois d'aout. Il de l'ordre de 82,31 mm/an.

**Conclusion :**

La région de Bejaïa se caractérise par des forts écarts thermiques, les valeurs maximales et minimales divisent l'année à la saison froide et une autre chaude bien déterminer. La variation des températures se déroule d'une manière croissante, avec une moyenne de 18,624C°.

La pluviosité dans cette région d'étude se distingue par une forte activité des précipitations en hiver ; et une dégradation d'intensité pluviométrique en été.

Le volume montagneux proche (à proximité) de la mer, les reliefs très compartimentés et la position par rapport au vent humide du nord, sont les facteurs les plus importants, qui participent à donner un paysage qui présente un climat à forte différence entre la partie nord et la partie sud de cette région.

Bejaïa est caractérisée donc par un climat tempéré (un climat méditerranéen).

La région de Sétif se caractérise par des forts écarts thermiques, les valeurs maximales et minimales divisent l'année à une saison froide et à une autre saison chaude bien déterminée. La variation des températures se déroule d'une manière croissante, avec une moyenne de 14,81C°.

La pluviosité dans zone d'étude se distingue par une forte activité des précipitations en hiver et en printemps ; et une dégradation d'intensité pluviométrique en été.

La région de Sétif est très loin de la mer, c'est pour cela elle présente un climat semi-aride.

Le bilan hydrique et les calculs de ses paramètres, nous ont permis d'obtenir les résultats suivants :

- Une évapotranspiration réelle de l'ordre : 244,46 mm à Bejaia et 246,39mm à Sétif.
- Une infiltration de 139, 479 mm/an à Bejaia et 3,27mm/an à Sétif.
- Un ruissellement de 390,289mm/an à Bejaïa et 151,26 à Sétif.
- Une évapotranspiration potentielle de l'ordre : 318,46 mm/an à Bejaïa et 328,70 mm/an à Sétif.

### 3.6. Le matériel et la méthode utilisée lors de la sortie vers le barrage d'Ighil Emda :

Pour confirmer la vulnérabilité à la pollution des eaux de surface dans le barrage Ighil Emda (Kherrata) un ensemble de prélèvements (15 prélèvements étaient fait) d'eau a été réalisé. Ces prélèvements ont été faits le 13 Mai 2022.

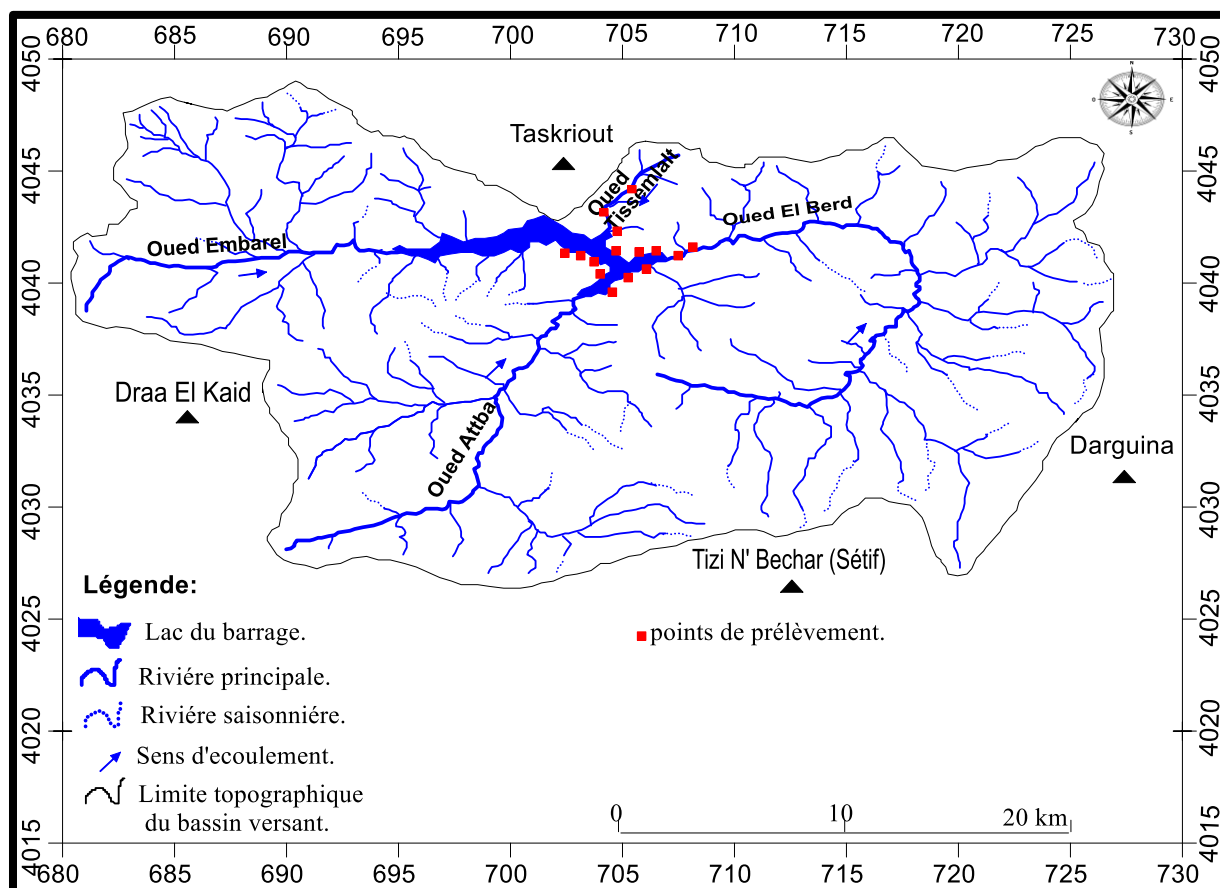


Fig.17. Carte des sites de prélèvements de l'eau au bassin versant d'Ighil Emda.



**Fig.18.**Photo de quelques oueds pris lors de la sortie vers le barrage Ighil Emda (Mai 2022).

### 3.6.1. Les matériels utilisés :

- Google earth pour la localisation des places.
- Une carte topographique pour citer les places des prélèvements.
- Des bouteilles d'eau en plastique (vide) 50 cl.
- L'eau distillée pour rincer les bouteilles avant leur utilisation.



- Un effaceur pour citer les numéros des prélèvements sur la bouteille d'eau prélevé.
- Une appareil photo.



**Fig.19.**Photos de matériels utilisés durant la sortie vers le barrage Ighil Emda (mai 2022).

### 3.6.2. Méthodes d'échantillonnage et de stockage:

Le prélèvement et le stockage des échantillons sont conditionné par plusieurs lois qui sont strictement obligatoires :

- Les bouteilles utilisées doivent être rincées avec l'eau prélevée.
- Les bouteilles doivent être identifiées par une étiquette pour indiquer le lieu de prélèvement.
- Les échantillons doivent être mis au réfrigérateur.

### 3.7. Vulnérabilité du modèle DKPR :

#### 3.7.1. Matériels utilisés :

- La Carte topographique (type de la carte 1960)
- La Carte géologique de la région du kherrata (type 1960).
- Logiciel Surfer.11.

#### 3.7.2. Présentation du logiciel Surfer 11 :

Le surfer 11 est un logiciel scientifique, introduit en 1984 par Golden Software, il est d'origine américain, il est apparu comme logiciel de cartographie.

Le surfer permet la réalisation des modèles numériques du terrain (MTN), à partir des données collectés sur le terrain d'étude ou bien à partir des cartes déjà établis ; telle que, les cartes géologiques, topographique ...etc.

Il a pour principe de crée des grilles ; qui vont insérés les données illégales des points X, Y, Z. Ces grilles nous permettent d'établir plusieurs types de cartes ; base maps, contourne maps, 3D surface.

#### 3.7.3 .Présentation de la méthode DKPR :

DKPR est un modèle français qui représente la vulnérabilité des eaux de surface (Tab.15).

Cette méthode est basée sur la combinaison des 4paramètres qui sont :

**D** : Accessibilité du milieu aquatique

**K** : Fonctionnement hydrique du sol et du sous-sol

**P** : Physiologie du bassin vessant.

**R** : L'érosivité des pluies.

**Tab.15.** Le degré de vulnérabilité des classes du paramètre DKPR [51].

Parameter	Degree of vulnerability and classes				
	Very High 4	High 3	Moderate 2	Low 1	Very Low 0
D	0–50 m	50–100 m	100–200 m	200–500 m	>500
K IDPR	Wet areas >2000 mm	Mainstream runoff 1500–2000 mm	Infiltration and runoff 1000–1500 mm	Mainstream infiltration <1000 mm	–
IB	No ground area >1.3	1.2–1.3	1.1–1.2	1–1.1	<1
Os	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Continuous urban area</li> <li>• Industrial and commercial zones</li> <li>• Road and rail networks and related areas</li> <li>• Port areas</li> <li>• Airports</li> <li>• Material extraction</li> <li>• Bare rocks</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Discontinuous urban area</li> <li>• Landfills</li> <li>• Building sites</li> <li>• Permanently irrigated perimeters</li> <li>• Vineyards</li> <li>• Olive groves</li> <li>• Sclerophyllous vegetation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sports and leisure equipment</li> <li>• Arable land outside irrigation perimeters</li> <li>• Annual crops associated with permanent crops</li> <li>• Complex cropping and plot systems</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Urban green spaces</li> <li>• Rice paddies</li> <li>• Orchards and berries</li> <li>• Prairies</li> <li>• Mainly agricultural areas, interrupted by large natural areas</li> <li>• Agro-forestry territories</li> <li>• Natural grass and pastures</li> <li>• Sparse vegetation</li> <li>• Burnt areas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hardwood forests</li> <li>• Coniferous forests</li> <li>• Mixed forests</li> <li>• Heath and brush</li> <li>• Forest and shrubby vegetation in mutation</li> <li>• Beaches, dunes, and sand</li> <li>• Glaciers and eternal snows</li> <li>• Seas and oceans</li> <li>• Estuaries</li> <li>• Shore lagoons</li> <li>• Water plans</li> <li>• Courses and waterways</li> <li>• Intertidal zones</li> <li>• Salt marshes</li> <li>• Maritime marshes</li> <li>• Peat bogs</li> <li>• Indoor marshes</li> </ul>
K	3.2–4	2.4–3.19	1.6–2.39	0.8–1.59	0–0.79
P Pi	>10°	7–10°	3–7°	1.5–3°	<1.5°
Pc	• Concave-convex	• Linear concave • Linear-convex	• Convex-convex • Linear-linear • Concave-concave	• Linear-concave • Convex-linear	• Convex-concave
P	3.2–4	2.4–3.19	1.6–2.39	0.8–1.59	0–0.79
R	>5000 mm	4000–5000 mm	3000–4000 mm	3000–2000 mm	0–2000 mm

Cette méthode de cartographie est proposée pour étudier la vulnérabilité des eaux de surface, elle est élaborée par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) en 2010.

$$Vr = \sum_{j=1}^{j=n} (WjRj)$$

**-Sachant que :**

**Vr** : est l'indice de vulnérabilité global d'une unité cartographique

**Wj** : le facteur de pondération du paramètre j,

**Rj** : la classe du critère

**j** et **n**: le nombre de critères pris en compte.

❖ La vulnérabilité des ressources aquatique est obtenue selon l'équation suivante :

$$Vr = aD + bK + cP + dR$$

**-Sachant que :**

**a, b, c et d :** Facteurs de pondérations (**a=0.4 ; b=0.3 ; c=0.2 ; d=0.1 et a+b+c+d=1**) ;

**Vr :** Indice de vulnérabilité d;

**D :** L'accessibilité du milieu aquatique ;

**K :** Le fonctionnement hydrologique du sol et du sous-sol ;

**P :** La physiologie du bassin versant ;

**R :** L'érosivité de la pluie.

❖ Les paramètres retenus dans la méthode du DKPR sont :

• **L'accessibilité du milieu aquatique (D) :** C'est la distance hydraulique de chaque point du cours d'eau le plus proche de son bassin topographique.

• **Le fonctionnement hydrologique du sol et du sous-sol (K) :** Ce paramètre est en fonction de l'occupation du sol (OS), l'indice de persistance du réseau (IDPR), et de l'indice de battance (IB).

- **IDPR :** c'est un indice de persistance du réseau qui a été créé en 2004 par le bureau de recherche géologique et minière sur le territoire français et publié en 2010. Il est basé essentiellement sur la capacité du sol à laisser infiltrer ou ruisseler les eaux de surfaces.
- **OS :** L'indice d'occupation du sol est déterminé par l'image satellite.
- **IB :** Il est indispensable dans les zones tropicales comme en zones tempérée pour préparer les matériaux avant que ses constituants seront transportés. Par contre, en zone méditerranéenne il n'est pas indispensable [52].

-La valeur du paramètre (**K**) est la somme des produits des classes (**IDPR**), (**IB**) et (**OS**) par des facteurs de pondération :

$$K = a IDPR + b IB + c OS$$

**-Sachant que:**

**a, b et c** sont des facteurs de pondération (**a = 0.4 ; b = 0.2 ; c = 0.4 et a+b+c=1**).

**-Et :**

**K :** Index du critère d fonctionnement hydrique d sol et du sous-sol ;

**IDPR :** Class d l'indice de développement et persistance des réseaux ;

**IB :** Classe de l'indice de battance ;

**OS :** Classe d'occupation du sol.



• **La physiographie du bassin versant (P)** : Ce paramètre est en fonction des courbures des pentes ( $P_c$ ), et l'intensité des pentes ( $P_i$ ).

Le facteur P est calculé avec la formule suivante:

$$P=0,8P_i+0,2P_c$$

• **L'érosivité de la pluie (R)** : Ce paramètre influençant l'érosion hydrique.

**Remarque :**

La sortie pédagogique était faite avec succès, mais malheureusement nous n'avons pas de la chance, pour réaliser les analyses du SAA au laboratoire du département du génie des procédés à fin de vérifier nos résultats obtenu qui vont confirmer la contamination de l'eau de surface du barrage d'Ighil Emda.

## **Résultats et discussions**

4. Résultats et Discussion :

4.1. Accessibilité du milieu aquatique (D) :

Pour déterminer le paramètre (D), Nous avons basés sur le réseau hydrographique du bassin versant d'Ighil Emda en dressant des intervalles de distance autour des cours d'eau en respectant les valeurs indiquées dans la méthode **DKPR**.

Pour réaliser notre carte de l'accessibilité du milieu aquatique (Fig.20) (Carte de distance), nous avons utilisé la fonction de zone tampon multiple pour le réseau hydrographique de notre bassin versant d'Ighil Emda et précisément sur des distances de 50, 100, 200, 500m et supérieur à 500m.

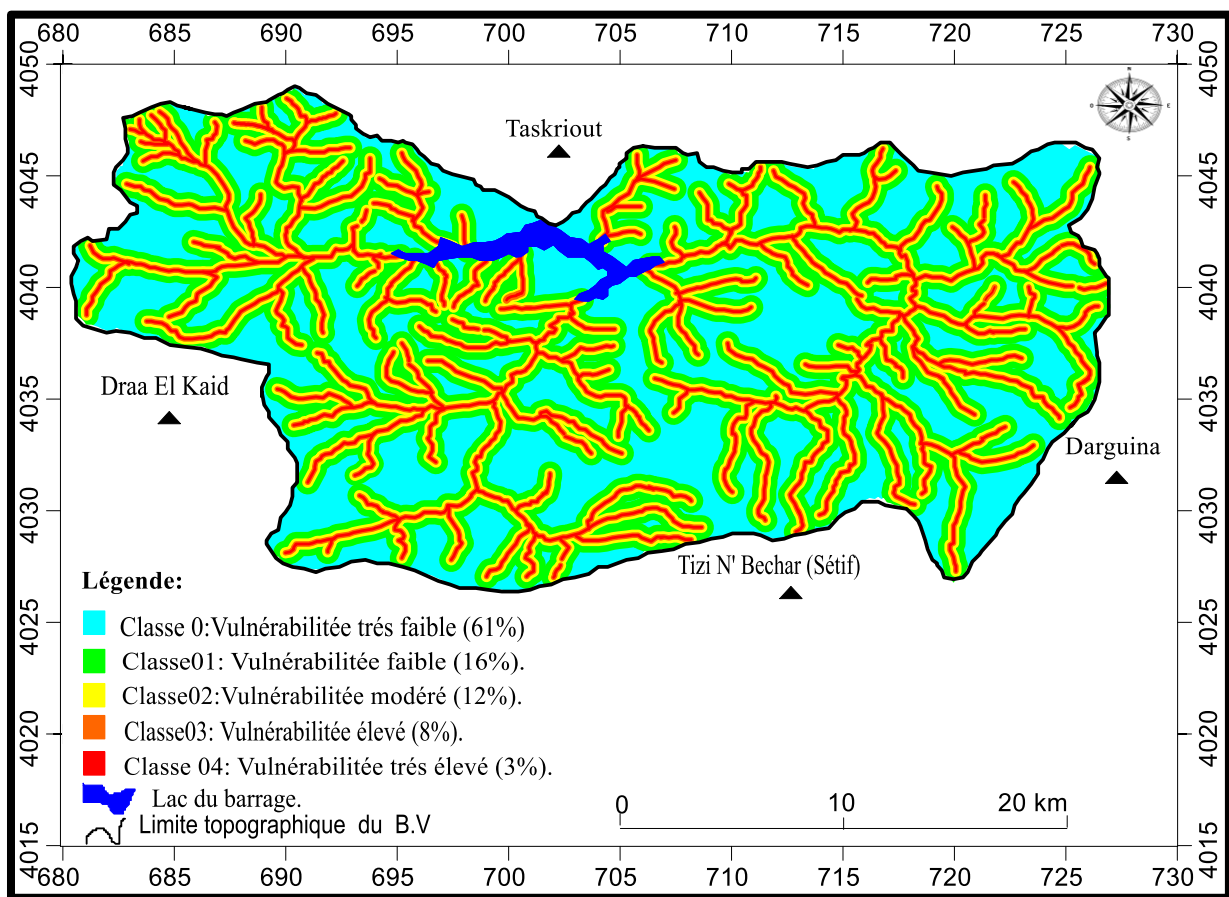


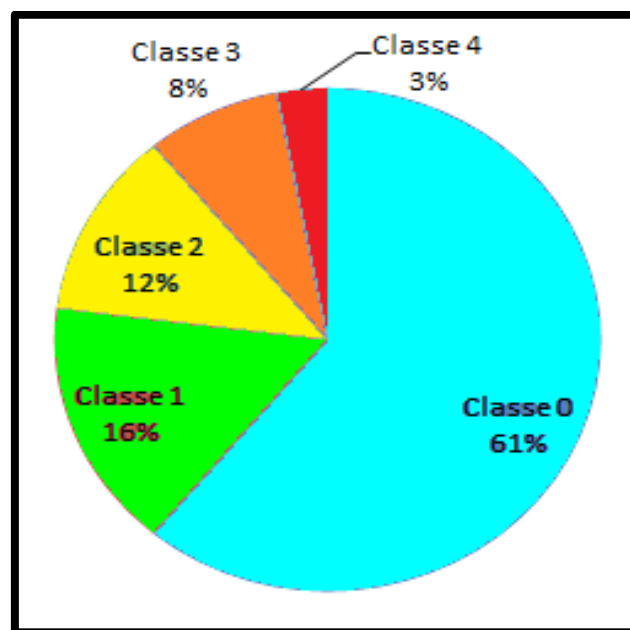
Fig.20. La vulnérabilité du paramètre (D) selon la méthode **DKPR** du bassin versant d'Ighil Emda.

D'après la répartition spatiale du paramètre (D), on remarque que la très faible classe présente (Fig.21, Tab.16) 74% de la superficie totale du bassin versant se trouve à plus de 500m de cours d'eau, suivie par la faible classe qui présente 16%, qui se trouve entre 200m et 500m. La classe modérée présente 12% et se trouve entre 100m et 200m du réseau

hydrographique. Tandis que la classe élevée présente 8% qui se trouve entre 50m et 100m. Enfin, 3% présente la classe très élevée et s'éloigne des cours d'eau de 0m à 50m.

**Tab.16.** Classes du paramètre (D).

Classe	Valeurs de l'indice D (m)	Niveau de vulnirabilité
4	0-50	Très élevé
3	50-100	Elevé
2	100-200	Modéré
1	200-500	Faible
0	500 <	Très faible



**Fig.21.**Diagramme des classes du Paramètre (D).

#### 4-2- Fonctionnement hydrique du sol et du sous- sol (K) :

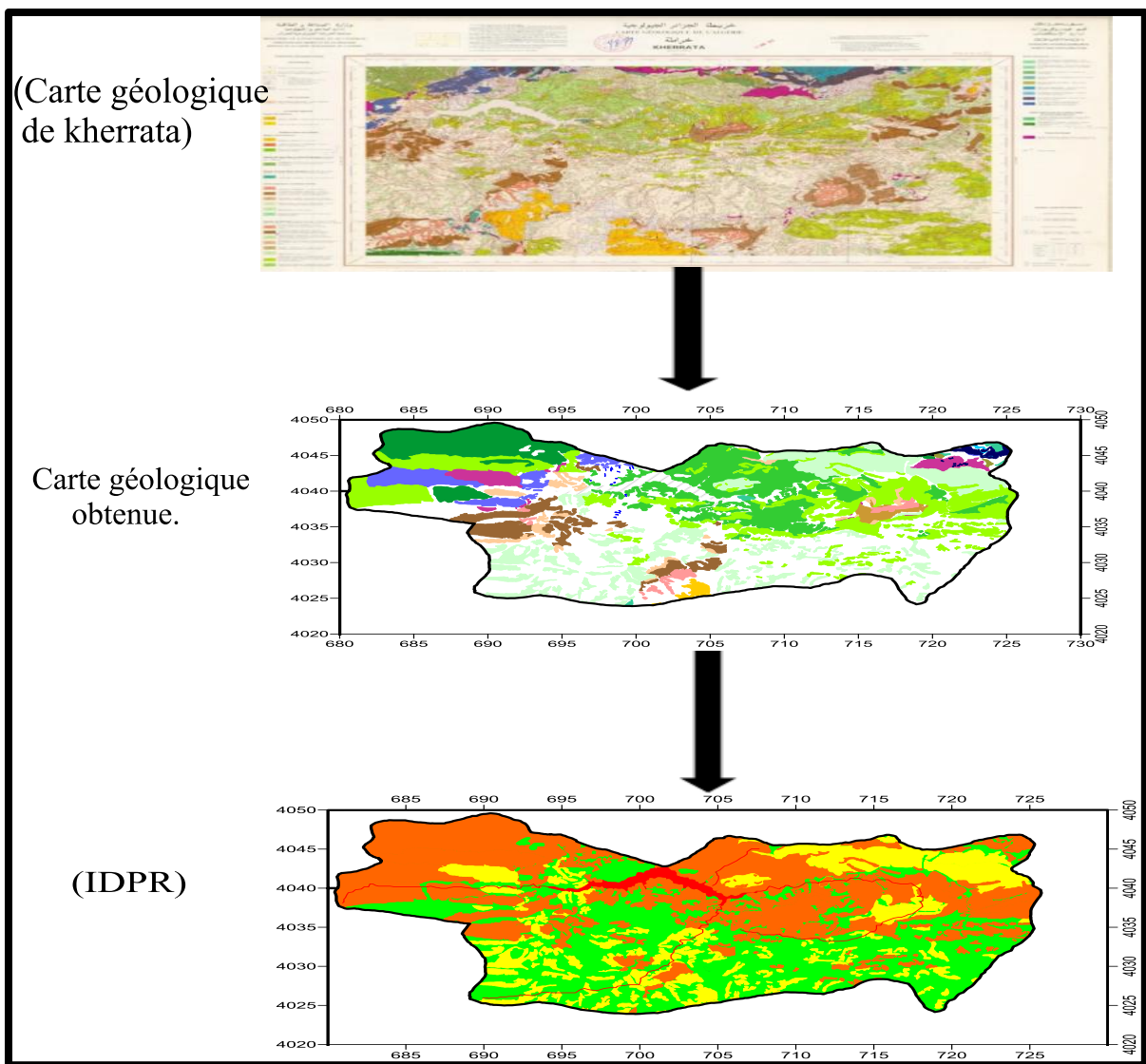
Ce facteur est composé de trois sous paramètres (indices):

- Indice de développement et de persistance des réseaux (IDPR) ;
- Indice de Battance (IB) ;
- Occupation du sol (OS).

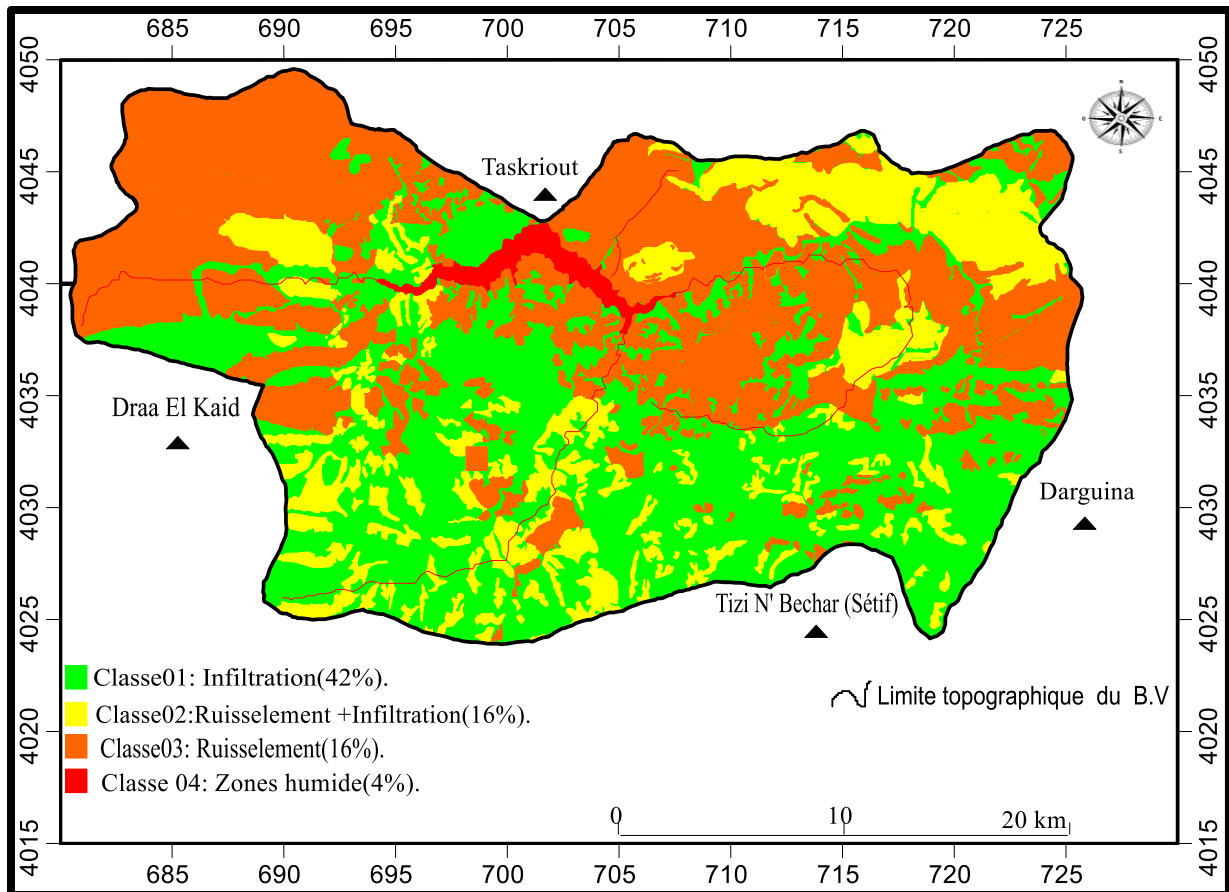
**4.2.1. Indice de développement et de persistance des réseaux (IDPR) :**

L’IDPR est un indice qui a été créé par le bureau de recherche géologique et minière (BRGM) en 2004 et publiée en 2010 en France. Il est basé sur la capacité du sol, de ruisseller et infiltrer les eaux de surface.

Pour élaborer la carte de sous-paramètre (IDPR) du barrage d’Ighil Emda , nous avons superposé la limite topographique de notre bassin versant sur une carte géologique réelle établi en 1960 à l’échelle 1/50000 à fin d’obtenir une deuxième carte géologique faite manuellement qui sera utilisé de suite à obtenir la carte du sous paramètre (IDPR) selon la méthode DKPR(Fig.22) .



**Fig.22.**La méthode de réalisation de la carte du sous-paramètre (IDPR) du bassin versant d’Ighil Emda.



**Fig.23.**La vulnérabilité du sous- paramètre (**IDPR**) du bassin versant d’Ighil Emda de la méthode **DKPR**.

D’après la carte du sous- paramètre (**IDPR**), quatre classes ont été enregistré (Fig.23):

La classe01 du phénomène d’infiltration a été enregistré sur une grande surface d’environ 42% de la superficie totale de notre bassin versant causé par la présence des alluvions. Notre terrain d’étude contient du calcaire qui est imperméable, cela cause le phénomène du ruissèlement enregistré dans la classe03 d’environ 36% de la superficie totale du bassin versant de notre région d’étude. Il est aussi constitué d’argile et des marnes représentés dans la classe02 qui sont semi perméable à l’eau occupant une superficie d’environ 16% de la superficie totale ; donc les deux phénomènes de ruissèlement et infiltration sont présents. La classe04 qui représente les zones humides autour du barrage et ses rivières ne représente que 4% de la superficie totale.

**4.2.2. Indice de battance (IB) :**

D’après l’article de ROOSE (1991) qui disait que la battance des pluies n’influence pas le contexte méditerranéen, l’indice de battance (**IB**) a été éliminé de l’équation

(**K = a IDPR + b IB + c OS**) parce qu’il y a la pente et l’énergie de ruissèlement qui érodent et transportent les particules.

4.2.3. Occupation du sol (OS) :

La carte de vulnérabilité d’occupation du sol (OS) est réalisée manuellement lors de notre sortie vers le terrain de la région de notre étude. Nous avons ainsi servie de l’image satellite pour bien préciser l’occupation du sol de notre bassin versant à fin de ne pas dépasser sa limite topographique.

Les résultats ont été classés selon le tableau le tableau de **Douay et Lardiegau**.

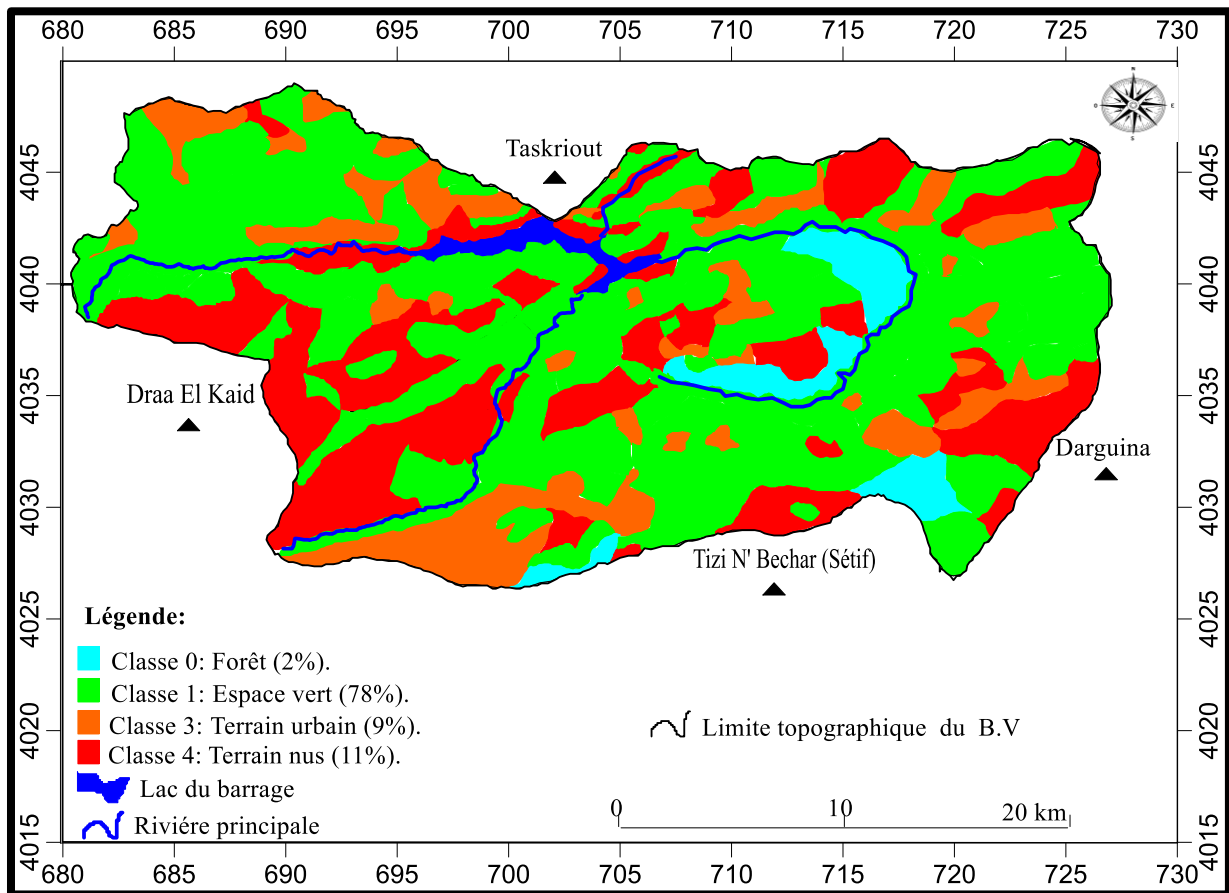


Fig.24.La vulnérabilité du sous paramètres (OS) selon la méthode **DKPR** du barrage d’Ighil Emda.

La répartition des différentes classes du sous paramètre (Os) accordées par la méthode **DKPR** à chacune des occupations du sol sont représentées dans la figure. 24. Les différentes occupations du sol du bassin versant d’Ighil Emda ont été classées en quatre classes :

-La classe 0 dans notre carte d’occupation du sol indique la présence de forêts occupantes que 2% de la superficie totale du bassin versant. La classe 1 occupe plus de  $\frac{3}{4}$  de la superficie totale de ce derniers et représente tout l’espace vert présent dans notre région d’étude, tandis que la classe 2 n’est pas été enregistré. La classe 3 occupe 9% et représente les terrains urbains. Pour finir la dernière classe représente les terrains nus d’environ 11%.

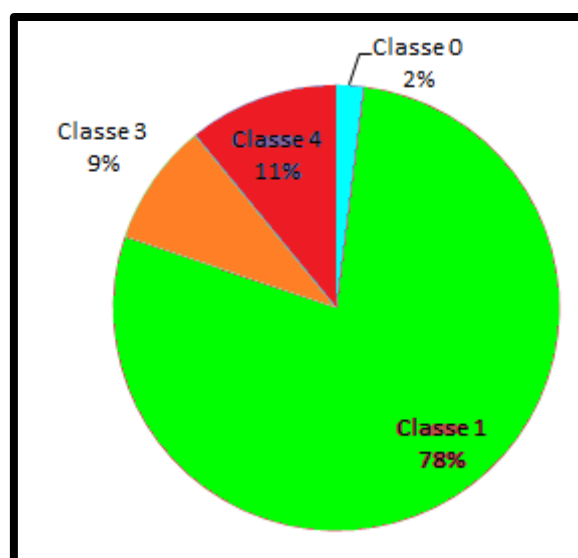


Fig.25. Diagramme circulaires des classes de l'occupation du sol.

4.2.4. Calcule du facteur (K) :

Les deux cartes de sous-paramètre (IDPR) et de sous- paramètre (OS) sont superposées afin d'obtenir la carte du facteur (K).

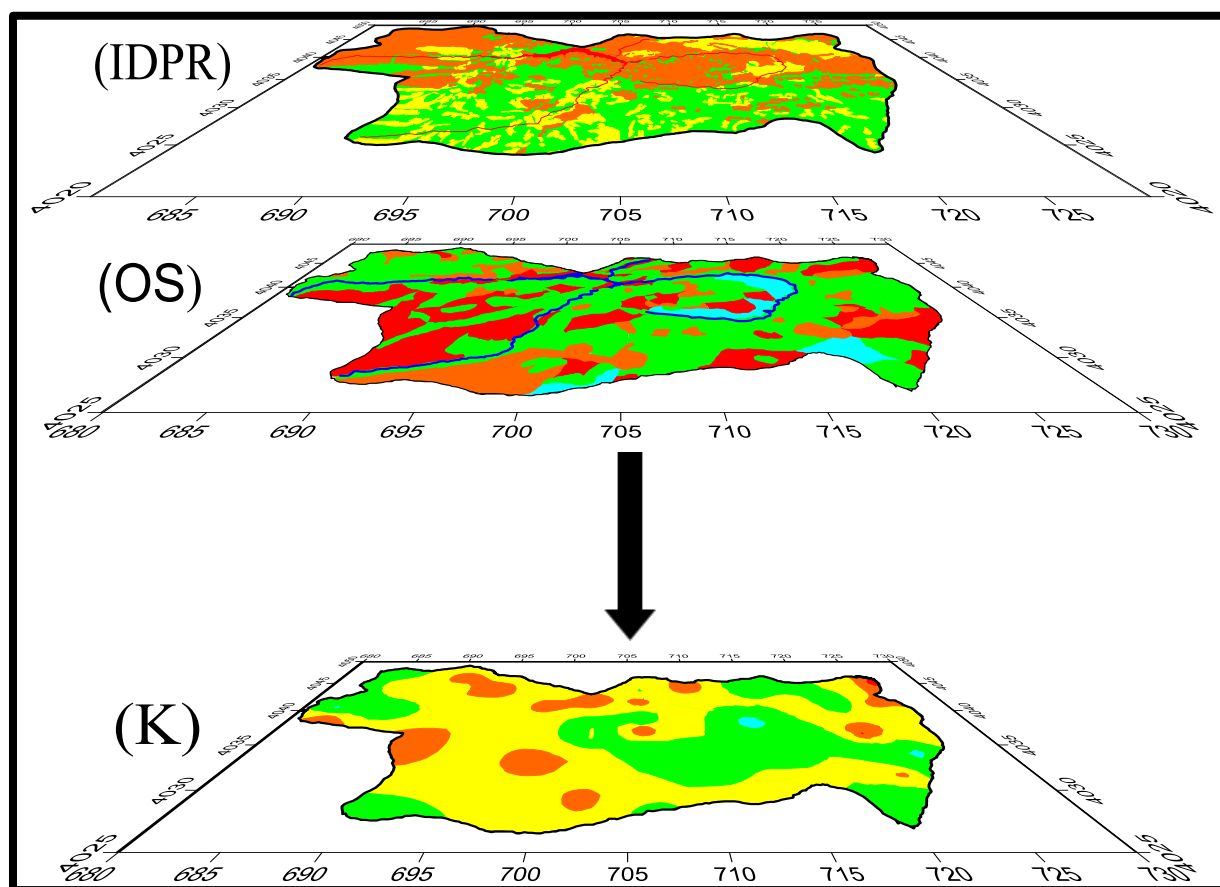


Fig.26. La superposition des deux cartes des deux sous paramètres (IDPR) et (OS) pour obtenir la carte du paramètre (K).



La valeur du paramètre (**K**) est la somme des produits des classes (**IDPR**), (**IB**) et (**OS**) par des facteurs de pondération :

$$K = a \text{ IDPR} + b \text{ IB} + c \text{ OS}$$

**Sachant que:**

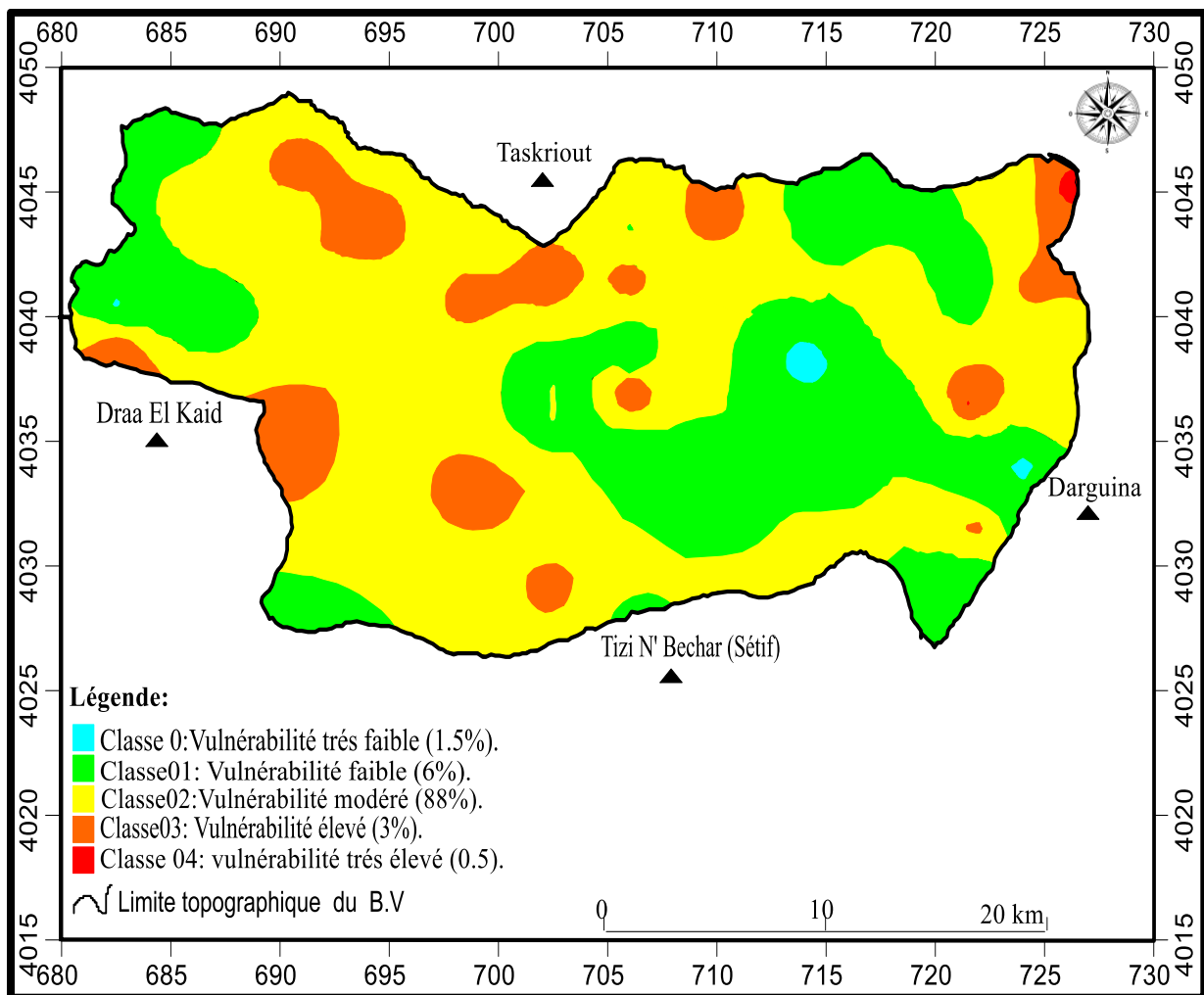
- **a**, **b** et **c** sont des facteurs de pondération (**a = 0.4 ; b = 0.2 ; c = 0.4** et **a+b+c=1**).

**Et :**

- **K** : Index du critère d fonctionnement hydrique d sol et du sous-sol ;
- **IDPR** : Class d l'indice de développement et persistance des réseaux ;
- **IB** : Classe de l'indice de battance ;
- **OS** : Classe d'occupation du sol.

Après avoir négligé le sous- paramètre (**IB**), la formule de calcul du facteur (**K**) est :

$$K = 0.5 \text{ IDPR} + 0.5 \text{ OS}$$



**Fig.27.** La vulnérabilité du paramètre (**K**) de la méthode **DKPR** du barrage d'Ighil Emda.

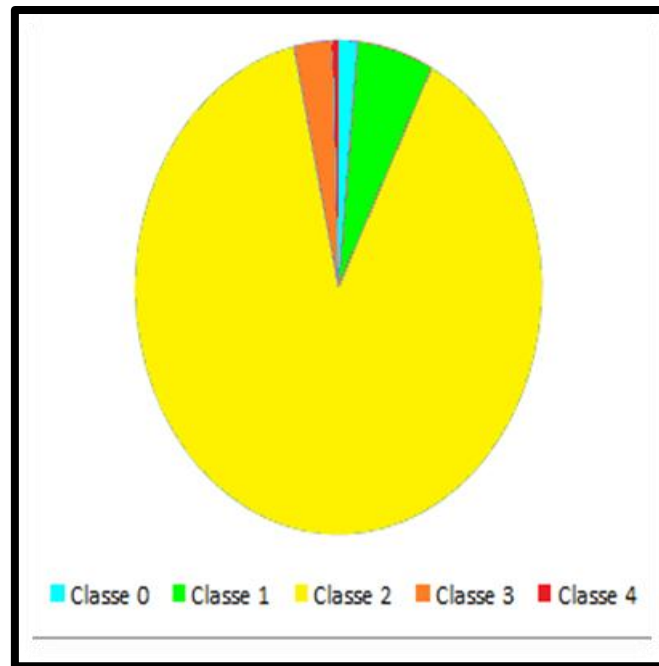


Fig.28. Diagramme circulaire des classes du paramètre (**K**).

D'après la figure 27, cinq classes du paramètre (**K**) sont déterminées :

**-La classe 0** : correspond à des valeurs de l'indice de (**K**) entre 0 et 0.79 ; recouvre que 1.5% de la superficie totale du bassin versant d'Ighil Emda et elle est associée à des forêts.

**-La classe 1** : c'est la classe de l'intervalle (0.80- 1.59) est la plus développée ; 88% de la superficie totale du bassin versant, elle caractérise le terrain agricole, l'espace vert et le boisement.

**-La classe 2** : associée à l'intervalle (1.60- 2.39) des valeurs d'indice (**K**) et s'étale sur 6% de la surface totale du bassin versant.

**-La classe 3** : attribuée à l'intervalle (2.40- 3.19) ; répartie sur 3% de la surface totale de la zone d'étude, elle caractérise les terrains urbains.

**-La classe 4** : elle caractérise les valeurs de l'indice de (**K**) supérieur à 3.20, développe que 1.5% de la surface totale du bassin versant, elle est liée au terrain nu et au terrain rocheux.

### 4.3. Physiologie du bassin versant (P) :

La physiologie du bassin versant (P) est composée de deux sous-paramètres : l'intensité des pentes (Pi) et de la courbure des pentes (Pc).

#### 4.3.1. L'indice d'intensité des pentes (Pi) :

La carte du sous-paramètre d'indice d'intensité des pentes (Pi) a été établit manuellement après avoir montionner les coordonnées (x, y) sur la carte des courbes de niveaux du bassin versant d'Ighil Emda. Ensuite, nous avons mesuré la distance de nos points aux coordonnées (x, y) para port à la courbe de niveaux la plus proche. Après avoir obtenus nos résultats, nous les avons transformés en pourcentages(%) selon la formule suivante :

$$Pi=A(m) /L(km)$$

Sachant que :

A : Altitude

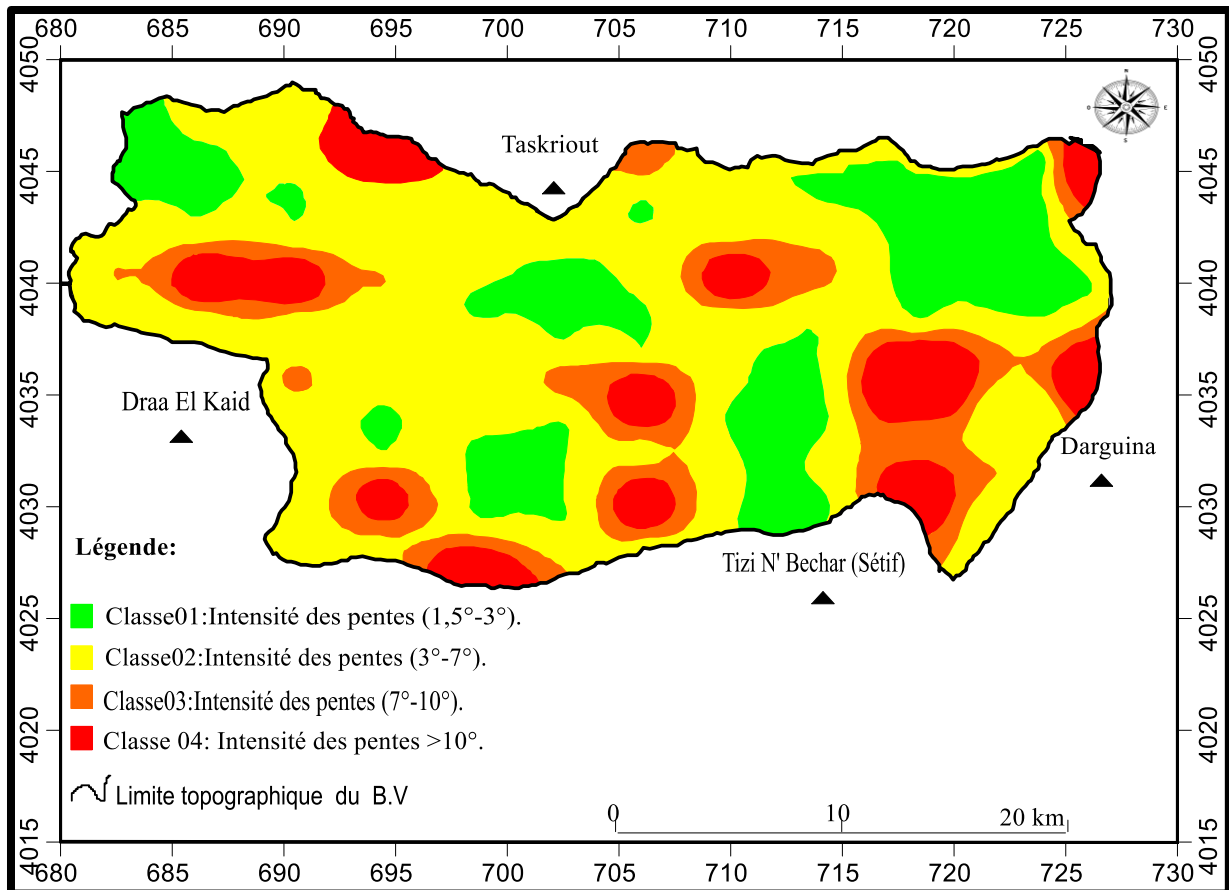
L : Longueur

Puis, nous avons transformé les résultats obtenus du pourcentage à des valeurs en degrés(°) selon la formule suivante :

$$100\% \rightarrow 90^\circ$$

$$X\% \rightarrow (^\circ) ?$$

Après l'obtention des résultats, nous les avons transformées en une carte d'intensité des pentes (Pi) manuellement selon la méthode **DKPR** représentée dans la figure 29.



**Fig.29.**La vulnérabilité du sous-paramètre (**Pi**) de la méthode **DKPR** du barrage d’Ighil Emda.

D’après la carte du sous-paramètre (**Pi**) (Fig.29), l’intensité des pentes entre 1,5°et 3° représente 19% de la superficie totale du bassin versant dans la classe 01. La classe 02 où l’intensité est entre 3° et 7° représente environ 69% de la superficie totale et la classe 03 représente un pourcentage de 7% de la superficie totale avec une intensité entre 7° et 10°. En fin, la classe 04 ne représente que 4% d’intensité des pentes entre 7° et 10° de la superficie totale.

**Tab.17.** Classes d’intensité des pentes (**Pi**) selon **DOUAY** et **LARDIEG** :

Classe	01	02	03	04
L’intensité des pentes	1.5°- 3°	3°-7°	7°-10°	>10°

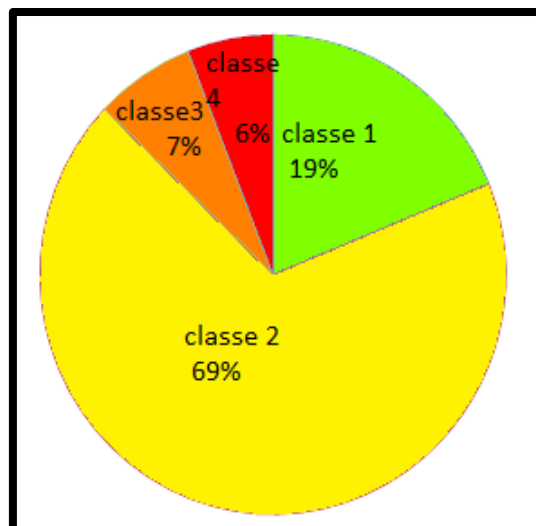


Fig.30. Diagramme d'intensité des pentes (Pi).

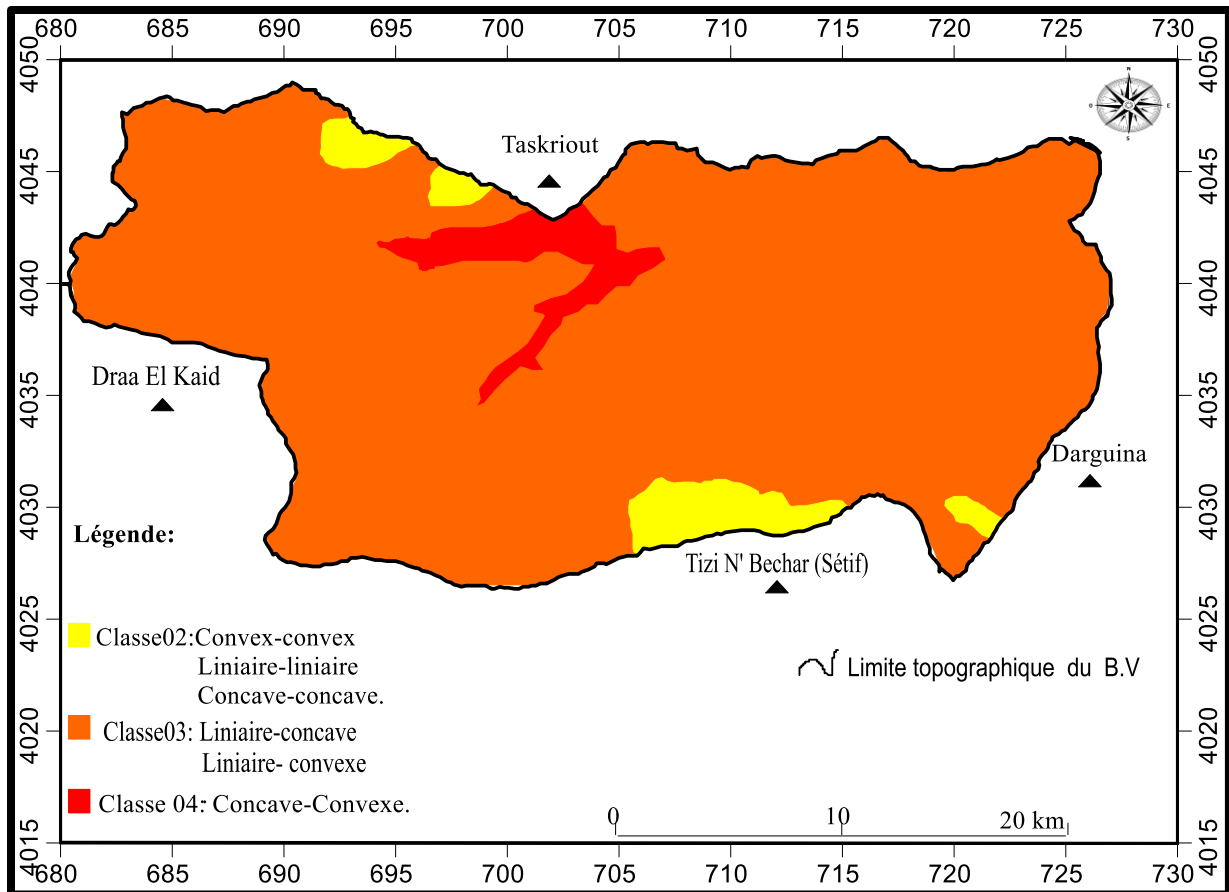
#### 4.3.2. Indice des courbures des pentes (Pc) :

L'indice (Pc) est un indice qui sert à définir la forme géologique (concave, convexe et linéaire) de la région d'étude.

La carte d'indice des courbures des pentes (Pc) est faite manuellement à base de la carte des courbes de niveau du bassin versant d'Ighil Emda en se basant sur les classes du sous-paramètre (Pc) selon méthode DKPR.

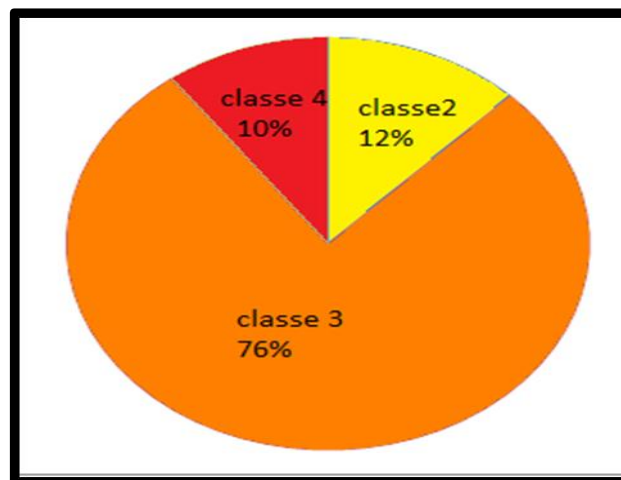
Tab.18. Classes du sous- paramètre (Pc) selon DOUAY et LARDIEG :

Classe	La forme du relief
02	Convexe-convexe Linéaire-linéaire Concave-concave
03	Linéaire-concave Linéaire-convexe
04	Concave-convexe



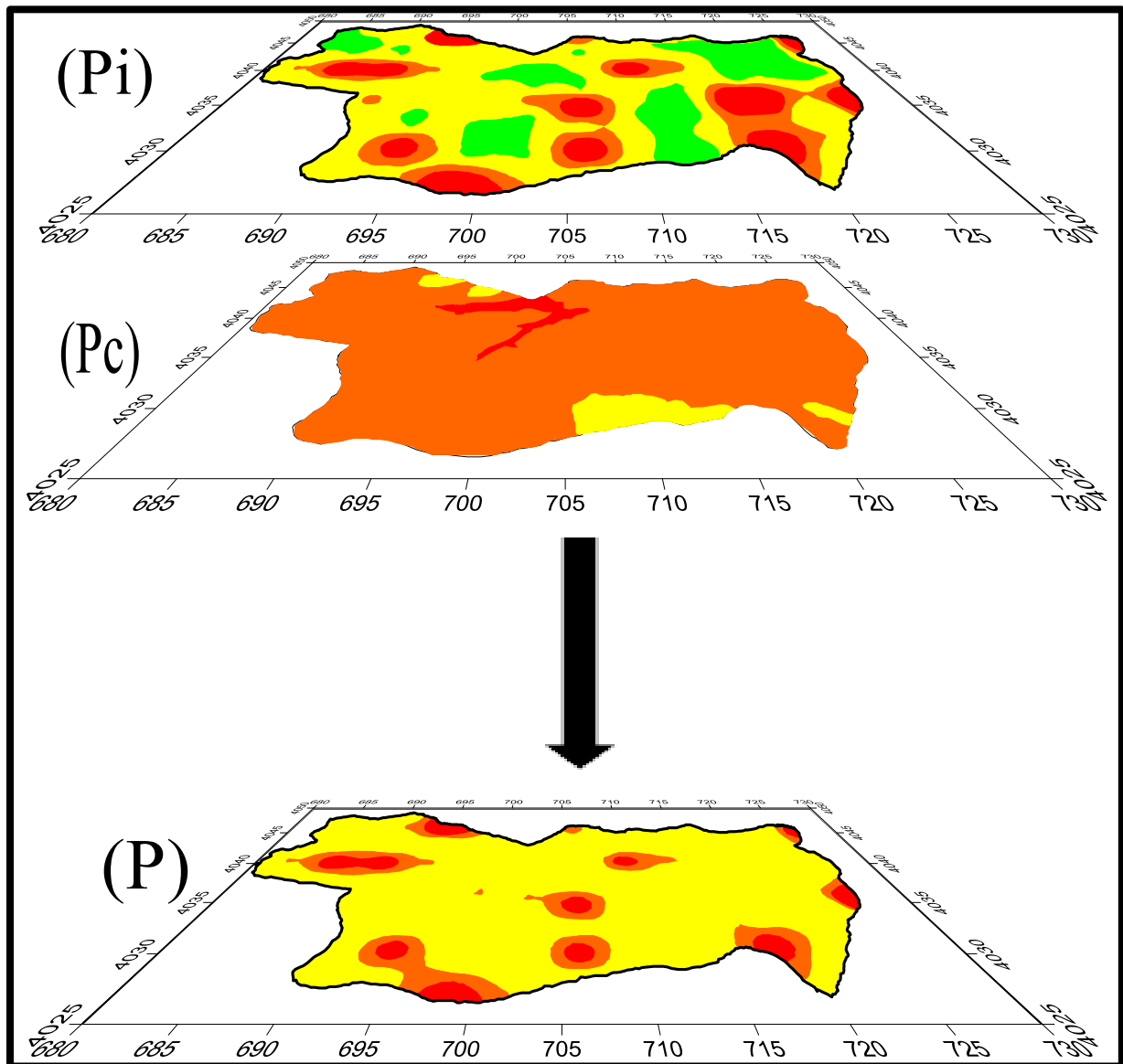
**Fig.31.**La vulnérabilité du sous-paramètre (**Pc**) de la méthode **DKPR** pour le bassin vessant d'Ighil Emda.

D'après la carte d'indice des courbures des pentes (**Pc**), trois classes ont été enregistrées : la classe02 des trois formes (convexe-convexe, linéaire-convexe, concave-concave) représente 12% de la surface totale du bassin. La classe03 représente 78% des deux formes (linaire-concave, linéaire-convexe) de la superficie totale. Pour finir la classe04 ne représente que 10% de la forme (concave-convexe).

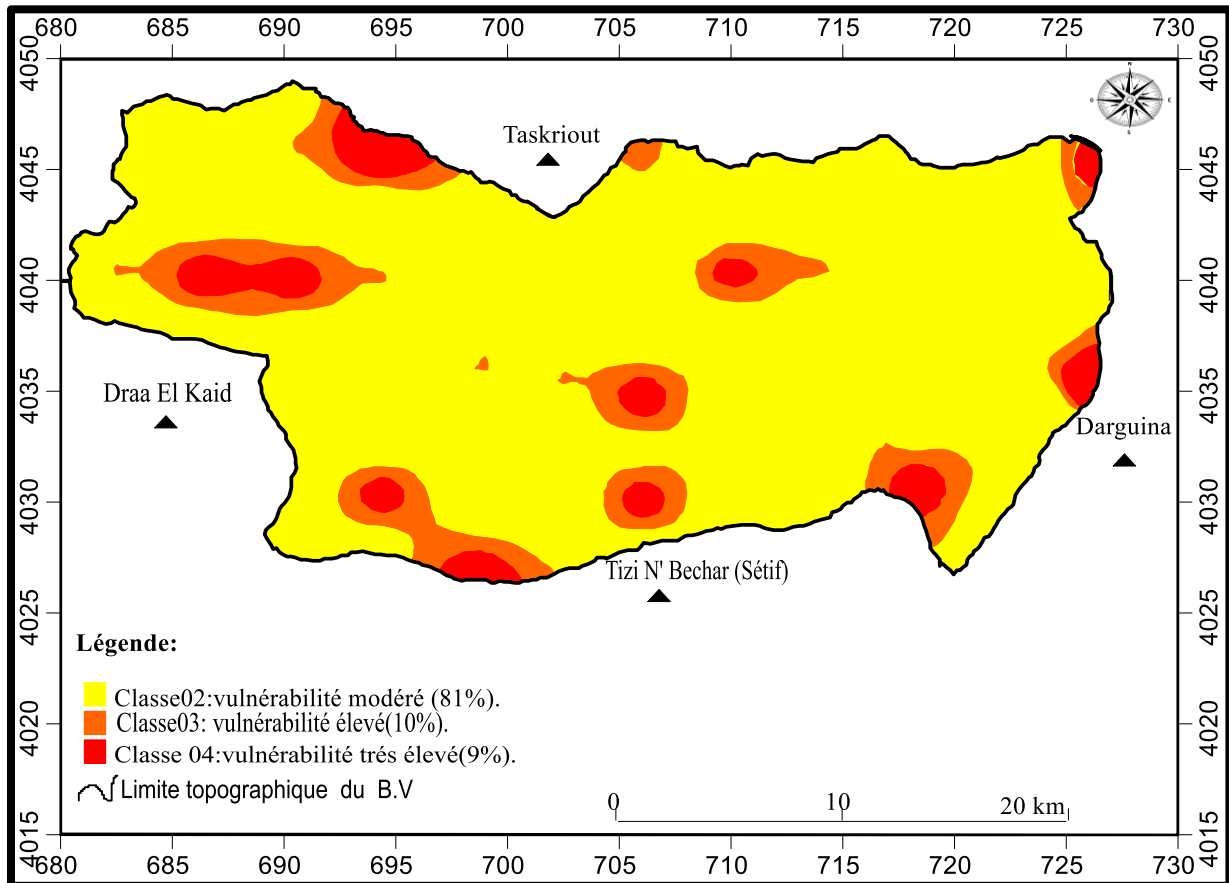


**Fig.32.**Diagramme circulaires des classes du sous-paramètre (**Pc**).

**4.3.3. Réalisation de la carte du paramètre (P) à partir des sous-paramètres (Pi) et (Pc) :**  
 La carte des classes de pente a été réalisée manuellement par la superposition des deux cartes des deux sous-paramètres d'intensité des pentes et des courbes des pentes (figure33).



**Fig.33.**La superposition des sous-paramètre (Pi) et (Pc) pour obtenir le paramètre (P) selon la méthode DKPR du bassin versant d'Ighil Emda.



**Fig.34.**La vulnérabilité du paramètre (P) de la méthode **DKPR** du bassin versant d'Ighil Emda.

La carte de vulnérabilité de la physiologie du bassin versant (P) selon la méthode **DKPR** a enregistré trois classes de pente : la classe02 des pentes moyennes a été enregistré sur la majorité de la superficie totale de notre bassin versant (81%), suivis de la classe03 des pentes élevé occupant d'environ 10% et la classe0 qui est favorisé par des pentes très élevé répartis sur 9% de la surface totale du bassin versant.

**Tab.19.** Les classes du paramètre (P) selon **DOUAY** et **LARDIEG** :

Classe	Valeurs de l'indice P	Niveau de la vulnérabilité
2	1.6-2.39	Très élevé
3	2.4-3.19	élevé
4	3.2-4	Modéré



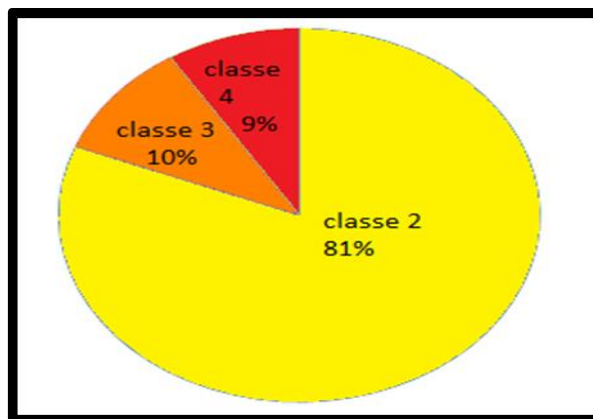


Fig.35. Diagramme circulaire des classes du paramètre (P).

4-4- L'érosivité des pluies (R):

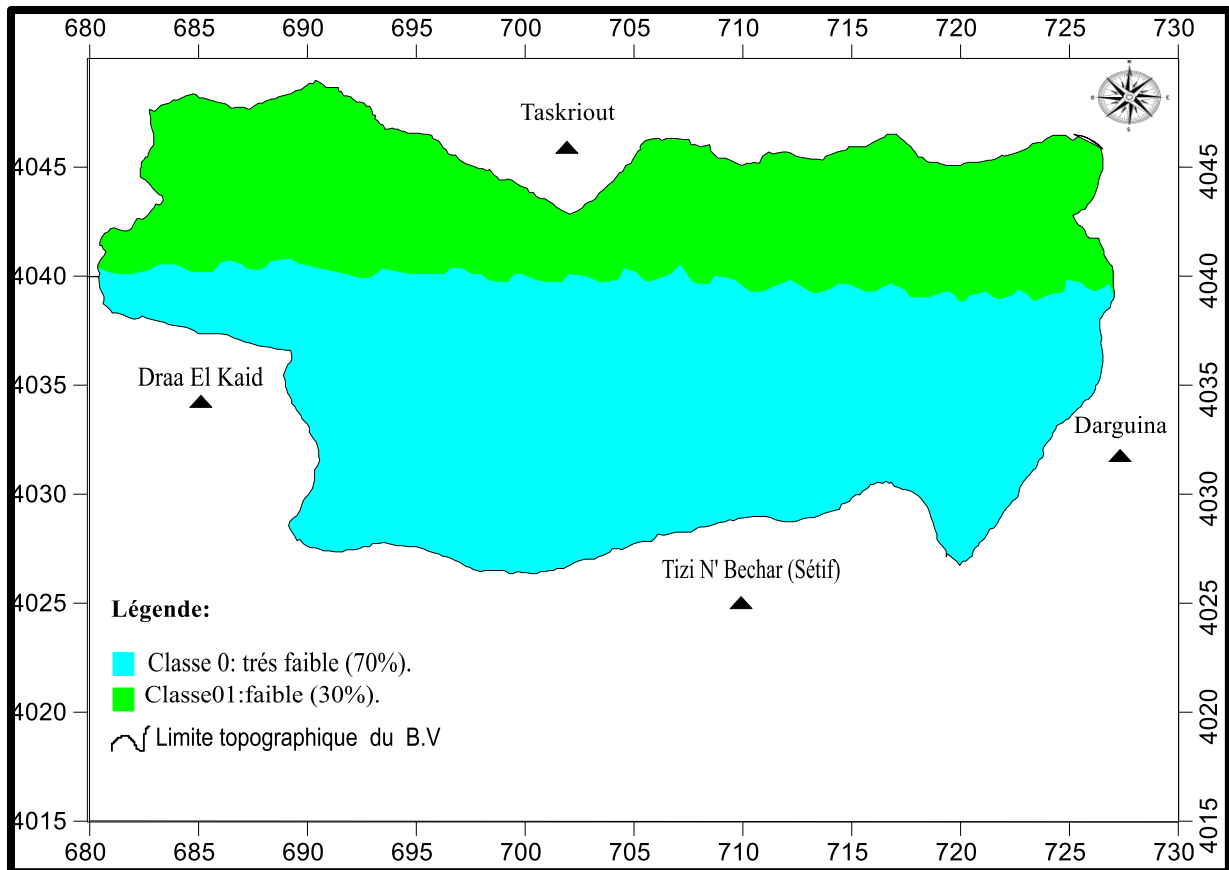
Pour calculer et réaliser la carte de vulnérabilité du paramètre (R), nous avons d'abord dégagés les précipitations moyennes annuelles enregistrées dans les deux stations de Bejaia et de Sétif de l'année 2000 jusqu'à l'année 2021. Ensuite nous avons calculé l'indice de l'érosivité pour les deux stations en appliquant la formule de Renard et Freimund (1994) :

$$R = 0.04830 P^{1.610}$$

Tab.20. La valeur du facteur (R) obtenue dans les deux stations de Bejaïa et de Sétif (2000-20021).

Le facteur (R)	La station de Bejaïa	La station de Sétif
$R = 0.04830 P^{1.610}$	2162.84	1042

La carte de vulnérabilité du paramètre (R) selon la méthode DKPR du barrage d'Ighil Emda est réalisée manuellement après avoirs calculé ce facteur. Les résultats obtenus sont représentés dans la figure.



**Fig.36.** La vulnérabilité du paramètre (**R**) de la méthode **DKPR** pour le bassin versant d’Ighil Emda.

D’après la carte de (la figure 36) , deux classes d’indices d’érosivité des pluies (**R**) de la méthode **DKPR** ont été enregistrés pour le bassin versant d’Ighil Emda. La classe 0 où le niveau d’érosivité est très faible ,l’indice (**R**) (0-2000) occupe presque 2/3 la superficie totale du bassin versant avec d’environ 70%. Alors que la classe 1 avec un niveau d’érosivité faible (2000-3000) recouvre environ 30% de la superficie totale.

**Tab.21.** Classes du paramètre (**R**) selon **DOUAY** et **LARDIEG** :

Classe	Erosivité ( <b>R</b> )	Niveau d’érosivité	Niveau de vulnérabilité
4	5000<	Très forte	Très élevé
3	4000-5000	Forte	Elevé
2	3000-4000	Modérée	Modéré
1	2000-3000	Faible	Faible
0	0-2000	Très faible	Treés faible

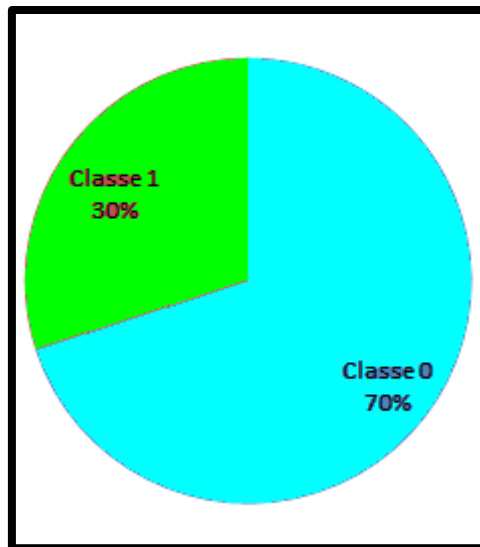


Fig.37. Diagramme circulaires des classes du paramètre (R).

**4.5. La carte de vulnérabilité à la contamination des eaux de surface selon la méthode DKPR:**

**4.5.1. Le calcul de l'indice de vulnérabilité :**

L'indice de vulnérabilité à la contamination des eaux de surface selon la méthode **DKPR (Vr)** est le résultat de la somme des produits de chaque classe par son facteur de pondération, il peut être calculé à partir des paramètres **D, K, P, R** en appliquant l'équation suivante :

$$Vr = aD + bK + cP + dR$$

**-Sachant que :**

**a, b, c et d :** Facteurs de pondérations (**a=0.4 ; b=0.3 ; c=0.2 ; d=0.1 et a+b+c+d=1**) ;

**Vr :** Indice de vulnérabilité d;

**D :** L'accessibilité du milieu aquatique ;

**K :** Le fonctionnement hydrologique du sol et du sous-sol ;

**P :** La physiologie du bassin versant ;

**R :** L'érosivité de la pluie.

**Tab.22.** Les paramètres de l'indice de vulnérabilité de la méthode **DKPR.**

x	y	D	K	P	R	V
682,5399	4041,6	0,7	1,31	3,69	1,2	1,531
682,5399	4040,447	2,3	0,65	7,78	0,9	2,761
682,6286	4038,673	0,3	3,1	2,34	0,65	1,583
686,2657	4047,012	0,85	1,385	3,51	1,5	1,4035
686,2657	4044,971	0,87	2,1	2,2	1,3	1,548
686,2657	4042,576	0,75	1,9	2,99	1,05	1,573
686,2657	4040,092	1,35	0,75	14,96	0,6	3,817

686,2657	4038,052	1,65	2	2,53	0,2	1,786
690,5237	4047,899	1,61	2,05	3,01	1,55	2,016
690,5237	4046,125	3,15	2,8	7,83	1,3	3,796
690,5237	4044,262	3,22	1,975	2,42	1,1	2,4745
690,5237	4042,221	3,18	2,5	3,26	0,95	2,769
690,5237	4040,092	0,95	1,65	14,98	0,78	3,949
690,5237	4037,875	0,82	2,15	2,46	0,65	1,53
690,5237	4035,657	1,5	3,1	7,71	0,4	3,112
690,5237	4033,439	0,81	2,65	2,23	0,25	1,59
690,435	4028,205	0,83	1	3,38	0,15	1,323
694,2495	4045,504	1,64	2,225	18,44	1,45	5,1565
694,2495	4043,907	0,95	2,9	2,99	1,2	1,968
694,3382	4042,044	1,55	2,325	3,5	1	1,6525
694,3382	4040,092	0,78	1,6	7,78	0,78	2,426
694,4269	4038,318	1,57	2,675	2,34	0,7	1,7735
694,3382	4036,367	1,05	2,025	5,26	0,6	2,1375
694,3382	4034,149	2	1,95	2,3	0,5	1,895
694,3382	4032,197	0,9	2,1	2,88	0,4	1,606
694,3382	4030,423	0,95	1,875	14,9	0,3	3,9525
694,3382	4028,205	1,75	1,5	3,38	0,1	1,836
698,7737	4043,197	0,4	1,65	2,99	1,4	1,393
698,7737	4041,068	0,5	2,675	4,36	1,1	0,11
698,7737	4038,762	3,15	2,2	2,17	0,7	2,424
698,7737	4036,278	0,3	1,95	7,7	0,6	2,315
698,7737	4032,907	1,45	2,95	2,52	0,35	2,004
698,7737	4029,536	3,05	1,65	2,11	0,25	2,162
698,7737	4026,786	0,55	2,075	14,89	0,05	3,80475
702,3221	4041,689	0,7	2,725	3,68	1,2	1,9535
702,3221	4039,56	3,95	2,1	2,35	0,75	2,755
702,3221	4037,52	1,45	0,75	2,53	0,65	1,376
702,4108	4035,657	0,55	0,75	7,7	0,45	2,03
702,4995	4033,705	0,65	2,6	2,3	0,35	1,535
702,4995	4031,399	0,35	1,75	2,87	0,25	1,264
702,4995	4029,359	1,2	2,7	2,51	0,15	1,807
706,0478	4045,237	2,1	1,875	7,83	1,5	3,1185
706,0478	4043,463	1,65	1,55	2,21	1,3	1,697
706,0478	4041,423	1,15	2,75	2,34	1	1,853
706,0478	4038,584	0,85	0,8	2,57	0,75	1,169
706,0478	4036,988	0,9	3,2	2,89	0,6	1,958
706,0478	4034,77	0,86	0,975	14,9	0,5	3,6665
706,0478	4032,375	0,45	1,45	3,38	0,4	1,331

706,0478	4030,068	3,15	2,3	14,76	0,3	4,932
706,2253	4028,117	0,75	1,055	3,21	0,02	1,2605
710,1285	4044,173	1,62	2,9	2,99	1,4	2,256
710,0397	4042,044	2,55	1,975	4,2	1,1	2,5625
710,0397	4040,27	3,45	1,8	14,98	0,9	5,006
710,0397	4038,318	2,41	1,675	2,55	0,7	2,0465
710,0397	4036,189	0,5	1,7	4,11	0,6	1,592
710,0397	4034,06	0,45	0,85	2,09	0,4	0,893
710,1285	4031,842	3,35	0,9	3,38	0,2	2,306
710,2172	4029,447	0,9	2,125	2,71	0,1	1,5495
713,943	4044,794	0,3	1,3	2,63	1,55	1,191
713,943	4042,842	0,65	1,6	3,48	1,25	1,561
714,0317	4040,536	2,25	1,65	7,78	1	3,051
714,0317	4038,318	2,35	0,35	2,55	0,7	1,625
714,0317	4035,746	0,6	1,55	2,88	0,5	1,331
714,0317	4033,883	1,45	0,9	2,12	0,35	1,309
714,0317	4031,842	3,05	1,9	4,1	0,25	2,635
714,1204	4030,068	3,25	2	2,04	0,15	2,323
718,4671	4044,262	0,35	1,35	2,23	1,5	1,141
718,3784	4042,31	2,45	1,795	2,54	1,3	2,1565
718,3784	4040,27	1,5	2,15	2,09	1,1	1,373
718,3784	4038,141	0,65	1,65	2,62	0,7	1,349
718,3784	4035,657	3,6	0,8	24,48	0,5	6,626
718,3784	4033,173	3,25	1,85	2,73	0,3	2,431
718,3784	4030,867	1,55	1,55	14,9	1,5	4,215
721,4832	4044,173	3,85	1,7	2,13	1,3	2,606
721,4832	4041,334	1,15	1,05	3,46	1	1,567
721,6607	4038,939	3,05	1,825	2,15	0,78	2,2755
721,6607	4036,633	0,87	3,3	7,71	0,65	2,945
721,7494	4034,149	0,6	0,675	2,16	0,45	0,9195
721,8381	4031,576	0,05	2,7	6,47	0,35	2,159
721,7494	4029,359	0,15	0,85	1,85	0,15	0,7
724,0558	4045,415	1,62	1,95	2,14	1,4	1,801
724,0558	4043,286	2,25	2,05	2,54	1,2	2,143
724,0558	4041,246	3,05	2,575	2,45	1	2,5825
723,9671	4038,584	0,5	2,15	2,41	0,7	1,397
724,0558	4036,189	0,87	1,9	7,71	0,4	2,5
724,0558	4034,06	3,15	0,6	2,3	0,2	1,92
725,7413	4045,149	2,45	3,35	15,02	1,5	5,139
725,9187	4039,738	1,58	2,1	2,05	0,85	1,757
725,7413	4035,479	1,55	1,825	14,91	0,2	4,1695

4.5.2. Réalisation de la carte de vulnérabilité :

La carte de vulnérabilité est réalisée à partir de la superposition des quatre paramètres **D**, **K**, **P** et **R**.

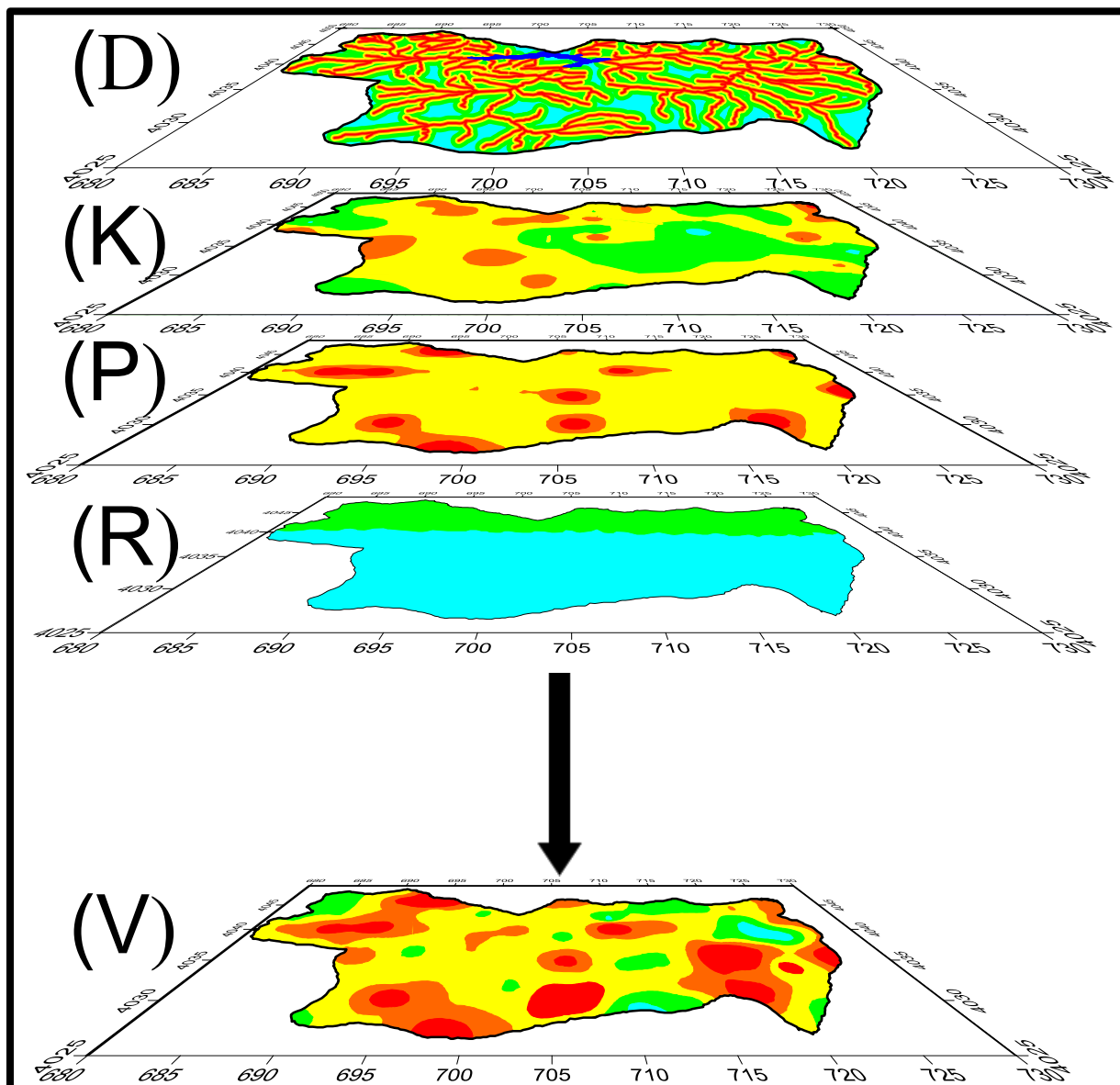
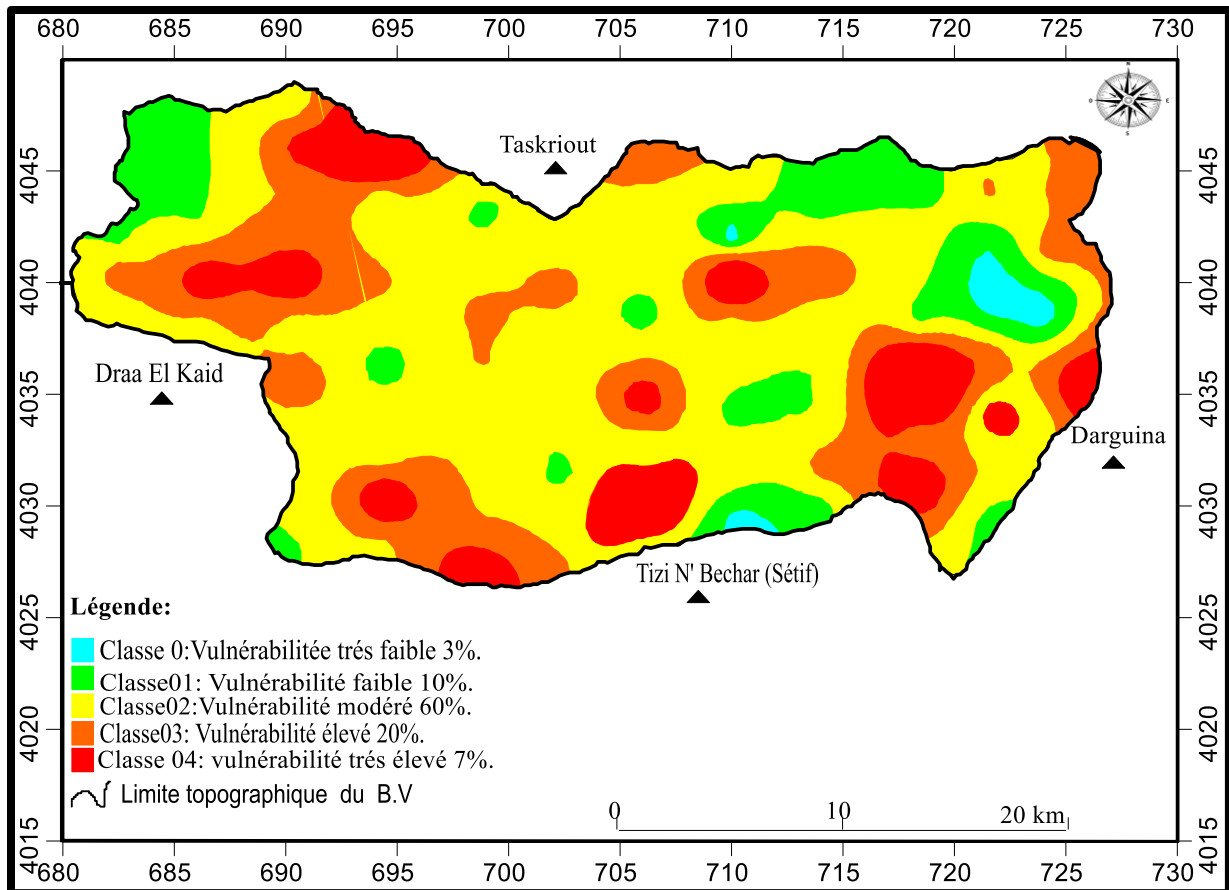


Fig.38.La superposition des cartes des paramètres de la méthode **DKPR** pour obtenir La carte de la vulnérabilité du bassin versant d'Ighil Emda.



**Fig.39.** Carte de vulnérabilité des eaux de surface à la contamination selon la méthode **DKPR** du barrage d’Ighil Emda.

Chaque classe dans la carte vulnérabilité à la contamination est associée à une valeur qui détermine son intensité. Le tableau montre la classification relative à ces valeurs de vulnérabilité. D’après la carte résultante de la superposition des quatre cartes de (D, K, P et R), on remarque que les cinq classes ont été enregistrées dans notre zone d’étude : la classe 02 de la vulnérabilité modéré a occupé 60% de la superficie totale du bassin versant d’Ighil Emda, suivie de la classe 03 de la vulnérabilité élevé occupant 20%, puis la classe 01 de la vulnérabilité avec 10%. Ensuite, la classe 04 de la vulnérabilité très élevé qui représente 7% et la classe 0 de la vulnérabilité très faible n’a occupé que 3% de la superficie totale du barrage d’Ighil Emda.

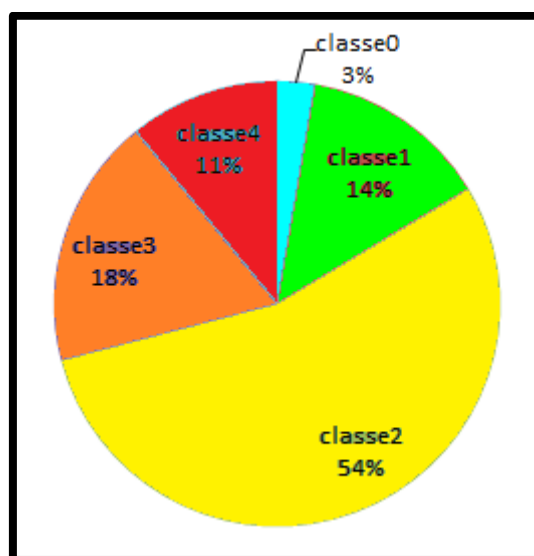
Dans la carte de la vulnérabilité à la contamination des eaux (**figure 39**), on remarque que :

- La très forte vulnérabilité représente la classe de distances inférieures de 50 m, à des pentes supérieures à 10° et aux terrains nus du bassin versant.
- La forte vulnérabilité caractérise les zones tampon situées entre 50 et 100m du réseau hydrologique, les pentes entre 7° et 10° et aux terrains urbains du bassin versant.

- La vulnérabilité modérée et associée aux distances situées entre 100 et 200m et à la classe des pentes entre 3° et 7°.
- La faible vulnérabilité est associée aux zones situées entre 200 et 500m du réseau hydrographique, à l'espace vert et aux pentes situées entre 1.5° et 3°.
- La très faible vulnérabilité est spécifique aux zones situées au-delà de 500m du réseau hydrographique aux pentes inférieurs à 1.5° et aux zones humides situées dans le bassin versant.

**Tab.23.** Classe des indices de la vulnérabilité de la ressource (Vr) :

Classe	l'indice Vr	Niveau de vulnérabilité
4	3.2-4	Très élevé
3	2.4-3.19	Elevé
2	1.6-2.39	Modéré
1	0.8-1.59	Faible
0	0-0.79	Très faible



**Fig.40.** Diagramme circulaires des classes de la vulnérabilité.



6. Carte de risque :

La superposition des deux cartes de pollution de vulnérabilité et d'occupation du sol nous ont permis d'obtenir la carte de risque selon la formule suivante :

$$\text{Carte de risque} = \text{Carte de vulnérabilité} \times \text{Aléa.}$$

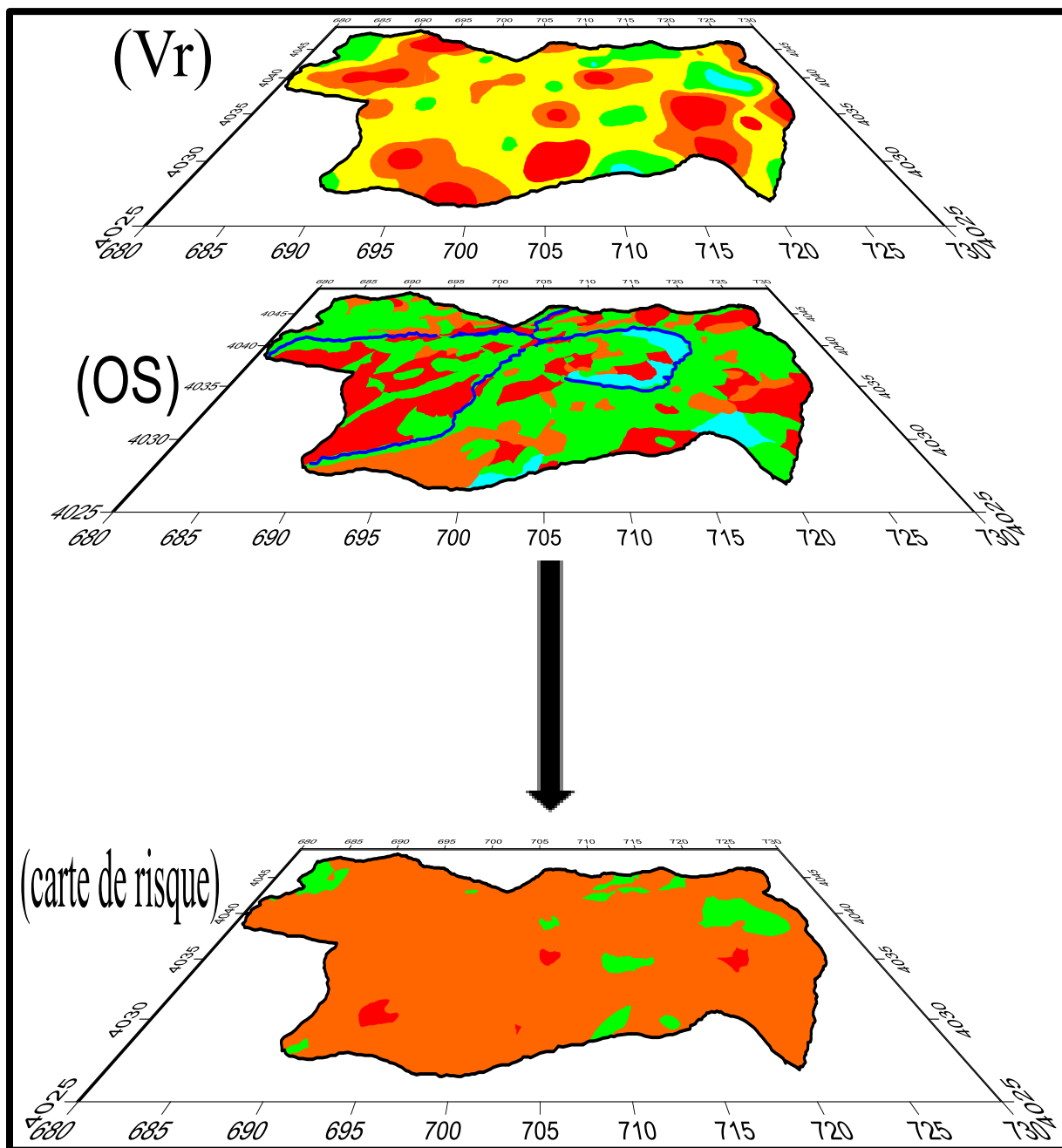
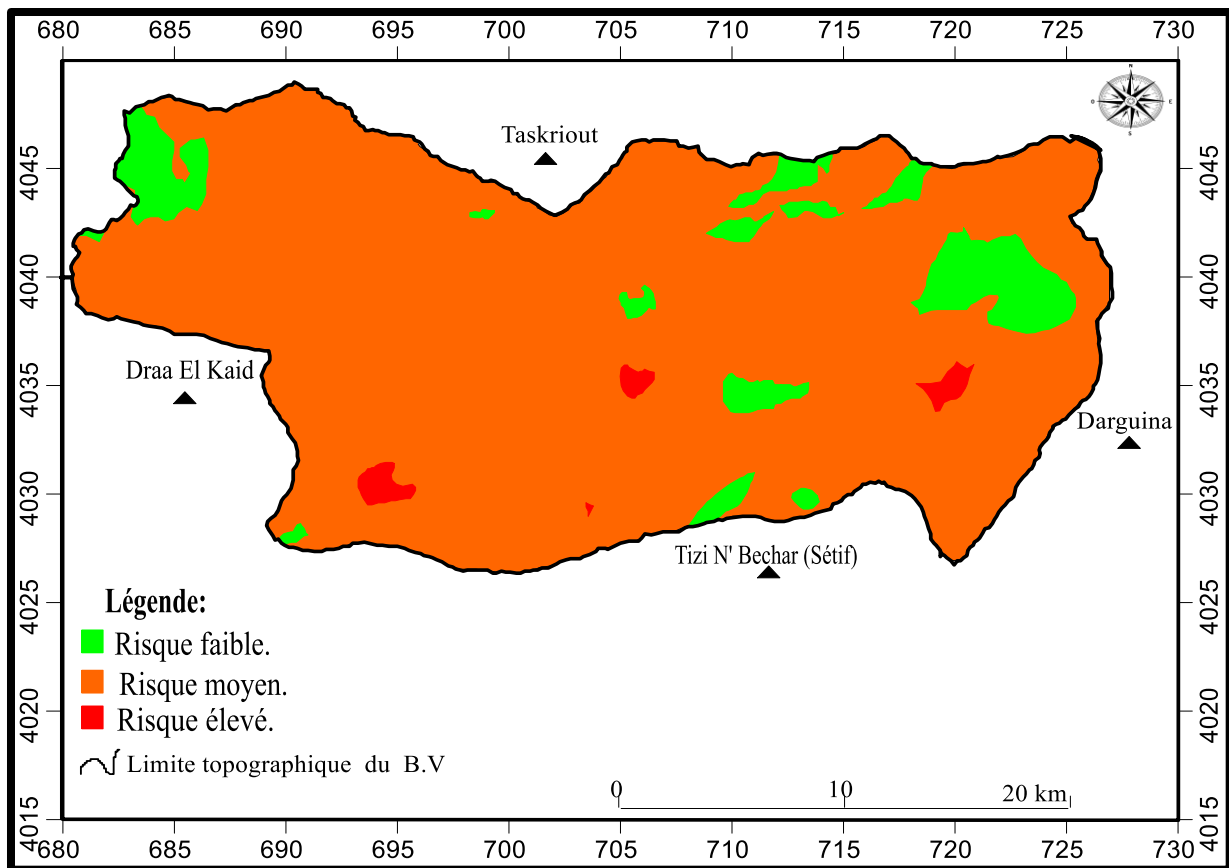


Fig.41.La superposition de la carte de vulnérabilité et la carte d'occupation du sol (aléa) pour obtenir La carte du risque du bassin versant d'Ighil Emda.



**Fig.42.** Carte du risque périodique du bassin versant d'Ighil Emda.

D'après la (figure 42), la carte de risque à enregistrée trois classes. La classe à moyen risque occupe la majorité de la superficie totale du bassin versant d'Ighil Emda, suivis de la classe à faible risque et la classe à risque élevé.

# **Conclusion Générale**

## 5. Conclusion générale

Au cours de notre recherche, l'analyse et l'interprétation faites montre que le bassin versant du barrage d'Ighil Emda contient plusieurs formations, tels que : le calcaire qui est imperméable, cause le ruissellement, l'argile et les marnes qui sont semi perméable, cause le ruissellement et l'infiltration et des alluvions qui sont des formes perméable à l'eau subits une infiltration.

A partir des résultats obtenus par l'application de la méthode DKPR à la contamination des eaux de surface du bassin versant d'Ighil Emda de la région de Kherrata, nous avons fournis une carte de vulnérabilité qui définit le degré de contamination, pour chaque indice DKPR calculé. La carte de vulnérabilité obtenue à enregistrée cinq classes : la classe 0 (3%), la classe 01 (10%), la classe 02 (60%), la classe 03 (20%) et classe 04 (7%) de la surface totale du bassin versant d'Ighil Emda.

La cartographie de la vulnérabilité des eaux de surface, est une est une méthodologie qui a devenus obligatoire et essentiel pour garantir la gérance qualitative des eaux, et elle facilite l'identification des zones sensibles à des pollutions potentielles.

La cartographie de la vulnérabilité et le risque de contamination des eaux de surfaces en utilisant la méthode DKPR peut être très fiable et sert à la prise de bonnes décisions pour les gestionnaires des ressources en eaux, et permettra également d'orienter l'aménagement du territoire.

Recommandations :

- L'interdiction des rejets qui présente un effet toxique au niveau du bassin versant.
- L'installation des filtres à l'aval de chaque réseau hydrographique qui conduit vers la retenue.
- Une étude à long terme, et une surveillance des ressources en eaux.
- Eviter l'installation des sites industriels et les décharges sur des sites à forte vulnérabilité.
- Faire un suivre hydro chimique des eaux des eaux de surface et souterraine.
- La sensibilisation des citoyens et les agriculteurs sur ce qui concerne les conséquences des pratiques agricole intensives.
- L'obligation de la réalisation des cartes de risque périodique pour prévenir la contamination des eaux de surface.

# Liste des References

- [1]. Kahoul&Touhami.(2014).Etude physico-chimique et bactériologique de l'eau potable.
- [2]. Encyclopédie, Encarta, 2006.
- [3]. Règlement sur l'eau potable. (184) 116.G.O. II 2123. (1996). Centre Saint-Laurent. Rapport synthèse sur l'état de Saint Laurent.
- [4]. Degrement. (2005). Mémento technique de l'eau. Deuxième édition Tom1, p39-50.
- [5]. Syndicat mixte du bassin du Semnon2011.
- [6].D-Douay& E Lardieg. (2010).Délimitation des aires d'alimentation des captages prioritaires de bassin Adour Garonne : Méthodologie de cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des captages d'eau superficielle, p28.
- [7]. B.N.E.F. (1986). Etude d'aménagement et mise en valeur du bassin versant d'IghilEmda.
- [8]. HILAL-I, J.E.STITOU EL MESSARI, J.G.MORENO NAVARRO & M. DRAOUI. (2017).
- [9].Tamungange& al. (2016).
- [10]. GRAINI&Lazhar. (2011). Contrôle de la pollution de l'eau par méthode acousto-optique. Mémoire de Magister. Université Ferhat Abbas- Sétif : optique appliquée, 83p.
- [11]. Abdelli. (2020). Les maladies à transmission hydrique. Coure de Master. Université de Bejaïa : Toxicologie industriel et environnemental, 3-6p.
- [12]. Beaulieu, P. (2019). Etat des nappes souterraines. Centre d'information sur l'eau.
- [13]. Bentekhici, N. (2006). Utilisation d'un SIG pour l'évaluation des caractéristiques physiques d'un bassinversant et leurs influences sur l'écoulement des eaux(bassin versant d'Oued El Maleh, Nord-Ouest d'Algérie).Conférence francophone ESRI, 11 au 12 octobre 2006, Issyles Moulineaux, France.
- [14].HILAL, I., J.E. STITOU EL MESSARI, J.G. MORENO NAVARRO & M. DRAOUI. (2017). Analysis ofcontamination hazard of surface water by the methodology of TECHNEAU: A case studyfrom the dam 9 April 1947in northernMorocco. Arab. J. Geoscip10 (8), 197.
- [15]. MELGHIT, M.(2013). Qualité physico-chimique, pollution organique et métallique des compartiments eau et sédiments de l'oued Phumel et de barrageHammamGrouzztbeni Haroun. Mémoire de Magister. UniversitéMentouri- Constantine : Gestion des déchets, 141p.
- [16]. BOUCHRINE, S. (2013).Elimination des polluants spécifiques par adsorption sur charbon actif et argile traitée et non traitée. Mémoire de Magister. Université Mohamed Chérif Massadia-Souk Ahras: Traitement des eaux et environnement, 96p.

- [17]. Hamzeh, M. Dynamique. (2012). Comportement et toxicité des éléments traces métalliques à l'interface eau-sédiment dans l'estuaire de la Seine. Thèse de Doctorat. Université de Lille 1 (France), 263 p.
- [18]. Genin., Brigitte., Chauvin., Christian., Menrad & Françoise. (2003). Cours d'eau et indices biologiques : Pollution, Méthodes, IBGN-. 2ème édition. Dijon : Educagri, 215p.
- [19]. G de MARSILY. (1981). Hydrogéologie Quantitative, Edition MASSON.
- [20]. Perrier, J. (1964). Défense contre les eaux nuisibles de l'oued Soummam. Mémoire préliminaire. Compte rendu. Paris.
- [21]. Beyade & Sidi, S. (2013). Caractérisation de la composition chimique des eaux usées traitées de la STEP de Sebka. Mémoire de master. Université Cadi Ayyad. Marrakech: Eau et environnement, 65p.
- [22]. Galaf, F & Ghanna, M. (2003). Contribution à l'élaboration d'un manuel et d'un Site Web sur la pollution du milieu marin. Mémoire d'ingénieur d'état. Université.
- [23]. Yang, M & Sañudo, W. (1998). Cadmium and manganese distributions in the Hudson River estuary: interannual and seasonal variability. Earth and Planetary Science Letters, 403–418p.
- [24]. Ait-Aoudia, N., Berezowska, M & Azzag, E. (2016). Water resources carrying capacity assessment : the case of Algeria's capital city. Habitat International, 51–58p.
- [25]. Nehme, N. (2014). Evaluation de la qualité de l'eau du bassin inférieur de la rivière de Litani, Liban: approche environnementale. Thèse de Doctorat. Université de Lorraine (France), 359 p.
- [26]. Laborde. (2009). Notion de bassin versant. Institut numérique.
- [27]. Ribstein, P. (2007). Le bassin versant, cour 3, p16.
- [28]. Essaouini. (2015).
- [29]. Saadia, A & al. (2007).
- [30]. Bakalowicz, M. (2005). Connaissance et gestion des ressources en eau souterraines dans la région Karstique. Lyon Agence de l'eau Rhone-Méditerranée-Corse, 44p.
- [31]. Muet, F & Vier, E. (2011). Stratégies de protection de ressources karstiques utilisées pour l'eau potable. Corse. Guide pratique Agence de l'eau Rhone-Méditerranée.
- [32]. Bensaoula, F., Adjim, M & Besalah, M. (2007). L'importance des eaux karstiques dans l'approvisionnement en eau de la population: journal n° 6 décembre, 57-64p.
- [33]. Suais, M.F & al. (1990). Vulnérabilité des aquifères des critères cartographie pertinents. R 30890RHA4S90.

[34]. Schnebelen, N., Platel J.P., Lenindre, Y.M., Baudry. D & al. (2002). Gestion des eaux souterraines en Aquitaine Année 5, Protection de la nappe de l'Oligocène en région bordelaise. Opération sectorielle. Rapport BRGM/RP-51178-FR.

[35]. Mimoun, D & Graillet, D. (2010). Evaluation de la vulnérabilité à la pollution des aquifères alluviaux de montagne par utilisation conjointe d'un modèle d'écoulement souterrain et d'un modèle de suivi de particules. Egypte, des aquifères alluviaux de montagne par utilisation conjointe d'un modèle d'écoulement souterrain et d'un modèle de suivi de particules. Application au Massif Central (France), Centre SITE, Ecole Nationale Supérieure

des Mines de Saint-Etienne 158, cours Fauriel, 42023 Saint-Etienne Cedex 2, Colloque Eau, Déchets et Développement Durable.

[36]. Plan Directeur D'aménagement et D'urbanisme (PDAU) Intercommunal Kherrata et Draa El Kaid. (Modifié).

[37]. Abbas, M & BAKOUCHE, H. (2019). Etude d'alimentation en eau potable de la commune de kherrata à partir du barrage d'Ighil Emda, wilaya de Béjaïa. Mémoire de Master en Hydraulique. Université de Bejaïa, Algérie.

[38]. Sahi, C & Sefah, A. (2019). Dimensionnement de la station de traitement monobloc des eaux du barrage d'Ighil Emda commune de kherrata (W. Bejaïa). Mémoire de Master en Hydraulique. Université de Bejaïa, Algérie.

[39]. Remini, B. (1995). Envasement du Barrage d'Ighil Emda, Algérie. Thèse de doctorat. Institut de génie rural. Université de Blida.

[40]. Belloulou, L. (2004). Cours d'hydrologie, IST. Université badji Mokhtar, Annaba. 36p.

[41]. Boucenna, N. (2003). Evaluation des ressources en eau dans la région de tammalou, Mémoire d'ingénieur (modifier).

[42]. Glaçon, J. (1967) : Recherches sur les gîtes métallifères du tell sétifien, Bull de service de carte géol, Algérie, n° 32.

[43]. Acot, P. (2003) : Histoire du climat, Perrin, 309p.

[44]. Ramad, F. (1994). Elément d'écologie, écologie fondamentale. Edi science, Paris, 517p.

[45]. Dajoz, R. (1971). Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris, 434p.

[46]. Ramad, F. (1984). Eléments d'écologie-écologie fondamentale. Ed Mac Graw-Hill. Paris, 397p.

[47]. Dajoz, R. (1971). Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris, 434p.



[48]. Djaroun, H &Gounane, I. (2015).Dimensionnement hydrolique de la stationd'épuration de Sidi Aich (W. BEJAIA). Mémoire de Master en Hydraulique, Université de Bejaïa, Algérie.

[49]. Margat,J.(1996). Les ressources en eau .Manuel et Méthodes.BRGM.

[50]. Djenadi, H &Djerroud,Y. (2018). Etude de la vulnérabilité à la pollution de La zone de Boulimat par la méthode GOD. Mémoire de magister Toxicologie Industrielles et Environnementale, p84.

[51]. Hilal, I., Stitou, D.E., El Messari., Navarro., Aoulad Mansour &Zerrouk, M. (2018). Application du modèle DKPR pour la cartographie de la surface à la contamination : cas du barrage 9 avril 1947 (Maroc septentrional) Application of the DKPR., Journal of water Scienc., Volume31, numéro1.

[52].Roose, E. (1991). Conservation des sols en zones méditerranéennes. Synthèse et proposition d'une nouvellestratégie de lutte antiérosive : la GCES. Cah. Orstom, sér.Pédol., 26 (2), 145-181.

**Résumé :**

Dans cette étude, nous présentons une méthode de cartographie et d'évaluation de la vulnérabilité à la contamination des eaux de surface, cas du barrage d'IghilEmda (Kherrata, Algérie), ses eaux sont contaminées, en considérons la combinaison des trois paramètres de la méthode française DKPR, il contient quatre facteurs : (D : Accessibilité du milieu aquatique ; K : fonctionnement hydrique du sol, P : physiologie du bassin versant et R : l'érosivité des pluies).

A l'aide des quatre facteurs du DKPR, et l'outil SIG, plus précisément avec le logiciel surfer11, une carte de vulnérabilité est élaborée. Les résultats indiquent une vulnérabilité modérée pour à peu près 60% de la superficie étudiée, une vulnérabilité élevée pour 20%, une faible vulnérabilité pour 10%, une vulnérabilité très élevée pour 7% et une vulnérabilité très faible représente que 3% de la superficie étudiée.

**Mots clés :** Eaux de surface, vulnérabilité, Barrage IghilEmda, Méthode DKPR.

**Abstract:**

In this study, we present a method of mapping and evaluation of the vulnerability to surface water contamination, case of the IghilEmda dam (Kherrata, Algeria), its waters are contaminated, considering the combination of the three parameters of the French DKPR method, it contains four factors: (D: Accessibility of the aquatic environment; K: water functioning of the soil, P: physiology of the watershed and R: the erosivity of the rains).

Using the four factors of the DKPR, and the GIS tool, more precisely with the surfer11 software, a vulnerability map is drawn up. The results indicate a moderate vulnerability for about 60% of the area studied, a high vulnerability for 20%, a low vulnerability for 10%, a very high vulnerability for 7% and a very low vulnerability representing only 3% of the area studied.

**Keywords:** Surface water, vulnerability, IghilEmda dam, DKPR method.