

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل -

Université Mohamed Seddik Benyahia - Jijel

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences de la Terre et de  
l'Univers



كلية علوم الطبيعة و الحياة

قسم علوم الأرض و الكون

## Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : Master Académique en Géologie

Option : Eau et Environnement

Thème

Potentialités et qualité des eaux de surface de la wilaya  
de Jijel (NE algérien)

### Membres de Jury

Président : MAHDID Souhil

Examineur : DJORFI Samir

Encadrant : DEBIECHE Taha-Hocine

### Présenté par :

BOUKERROUM Meriem

GHEMIT Yamina

Année Universitaire 2015-2016

Numéro d'ordre (bibliothèque) : .....

“Le plus grand plaisir dans la vie est de réaliser ce que les autres vous pensent incapable de réaliser”

— Walter Bagehot

## ***Remerciement***

*Notre premier remerciement va à Allah soubhanou Wa taala.*

*Nous tenons à remercier vivement notre encadrant Mr. Debieche Taha-Hocine, pour sa gentillesse, sa disponibilité et sa contribution générale à l'élaboration de ce travail.*

*Nous remercions les membres de jury de nous avoir fait l'honneur d'accepter d'évaluer notre travail de fin d'étude, on les remercies aussi pour leur critiques pertinentes qui vont sans doute améliorer la qualité scientifique de notre mémoire.*

*Nous tenons à exprimer toutes nos gratitudes à ceux qui, au fil des années, ont répondu favorablement à nos sollicitations ou partagé la même passion, nos chers professeurs du département des Sciences de la Terre et de l'Univers.*

*Nous remercions également Mr Boulehbali Hani pour sa disponibilité et ses conseils qui nous ont guidés lors de l'accomplissement de ce travail.*

*Un grand merci aux responsables et aux personnels du :*

- *Laboratoire de recherche de Génie géologie et le laboratoire de chimie (Université Mohamed Seddik Benyahia - Jijel)*
  - *Barrage de Kissir*
  - *Station de traitement des eaux (Kissir)*
  - *Agence Nationale des Ressources Hydraulique (ANRH), secteur de Jijel.*

## Dédicace

Louange à Allah de l'univers, le tout puissant et Miséricordieux, qui m'a inspiré et comblé, je lui rends grâce.

A ceux qui ont toujours dévoué et sacrifié pour moi ; ceux qui sont aidé du mieux qu'ils pouvaient pour réussir ; ceux qui sont accompagné tout au long de ce parcours ; ceux qui sont toujours là dans mes moments de détresse,

Mes très chers parents,

A mes sœurs et frères,

Mon grand-père et ma grand-mère,

A mes enseignants qui m'éclaire le chemin

Mon mari,

A toutes ma famille,

A toutes mes amies,

A mon binôme Yamina,

A tous ceux qui me sont chers.

Aimablement.....

Je dédie ce modeste travail...

**Ameriem**

## *Dedicate*

I've been called a dreamer! And I believe that any goal in life must start with a dream so we can wake up and accomplish it, by working hard and having faith in ourselves.

first of all I wanna thank Allah for giving me the straight and power to fight for what I want and what I believe in , no matter how hard the road was and will be, I know that he's always guiding me , protect me and never leave me alone ...♥

To my parents for supporting me in every decision I've made , for trying to give me the best they could, for giving me their light to create my own and shine like a star, my brother and sister and my whole family ... ♥

To all my friends for being a huge part of my life and my memories later in the future and a great motivation ...♥

Without forgetting all those who are dear to me. And of course my binomial Meriem for working hard with me to make this modest work even though she drove me crazy lolls.

**YAMINA**

# Table de matière

## Introduction générale

### Chapitre I : Rappel bibliographique

<b>I.1. Introduction</b> .....	01
I.2. Généralités sur l'eau .....	01
I.3. Cycle de l'eau .....	02
I.4. La répartition de l'eau à l'échelle du globe : Réservoirs d'eau .....	03
I.5. Caractéristiques du bassin versant .....	03
I.5.1 Notion du bassin versant .....	03
A) Bassin versant topographique.....	04
B) Bassin versant hydrogéologique.....	04
I.5.2. Genèse du ruissellement.....	05
A) La fonction de production .....	05
B) La fonction de transfert .....	05
I.5.3. Hypothèses et typologie de ruissellement .....	06
A) Le ruissellement hortonien .....	06
B) Le ruissellement selon le concept des aires contributives .....	07
C) Le ruissellement de type OPS (Organisations Pelliculaires de Surface).....	08
I.6. Normes et qualité de l'eau .....	08
I.7 Les eaux de surface : .....	09
I.8 La pollution des eaux : .....	09
I.9 Les différentes origines de pollution des eaux superficielle :.....	09
I.9.1 Pollution physique : .....	09
I.9.2 Pollution mécanique : .....	09
I.9.3 Pollution thermique : .....	09
I.9.4 Pollution radioactive : .....	10
I.9.5 Pollution chimique : .....	10
a- Pollution organique : .....	10
b- Pollution minérale :.....	10
I.9.6 Pollution microbiologique : .....	10
I.10 Conséquences de la pollution de l'eau superficielle : .....	11
I.10.1 Les pluies acides:.....	11

I.10.2 la santé humaine : .....	11
<b>I.11 Conclusion</b> .....	11

## Chapitre II : présentation de la zone d'étude

II.1. Situation géographique.....	12
II.2. Contexte topographique.....	12
II.3. Pluviométrie.....	13
II.4. Réseau hydrographique .....	14
II.5. Milieu naturel .....	16
<b>II.6. Conclusion</b> .....	18

## Chapitre III : Cadre géologique

<b>III.1. Introduction</b> .....	18
III.2. Etude géologique.....	18
III.2.1. Géologie régionale.....	18
III.2.2. Géologie de la wilaya de Jijel.....	18
III.2.2.1. Les formations de l'Ere Primaire .....	19
III.2.2.2. Les formations de l'Ere Secondaire .....	19
III.2.2.3. Les formations de l'Ere Tertiaire .....	20
III.2.2.4. Le bassin Olistostromique de la région de Jijel .....	20
III.2.2.5. Les formations d'Ere Quaternaire.....	21
<b>III.3. Conclusion</b> .....	22

## Chapitre IV : Climatologie

<b>IV.1. Introduction</b> .....	23
IV.2. Aperçu général sur le climat .....	23
IV.3. Analyse des paramètres climatiques .....	23
IV.3.1. Pluviométrie et température .....	23
IV.3.1.1. Précipitations .....	23
IV.3.1.2. Température .....	26
IV.3.1.3. Relation température – précipitation (Diagramme ombrothermique) .....	27
IV.3.1.4. L'aridité .....	28
<b>IV.4. Conclusion</b> .....	29

## Chapitre V : Hydrologie

<b>V.1. Introduction</b> .....	30
V.2. Réseau hydrographique .....	30
V.3. Bassins versants.....	31
V.4. Détermination du ruissellement.....	33
V.4.1. Introduction.....	33
V.4.2. Présentation du site expérimental .....	33
a) Situation géographique.....	33
b) Aspect géomorphologique : .....	34
c) Aperçu climatique .....	34
V.4.3. Estimation du ruissellement.....	34
V.4.3. Evolution du ruissellement en fonction des pluies .....	35
V.4. Détermination de la relation pluie – ruissellement.....	37
<b>V.5. Conclusion</b> .....	38

## Chapitre VI : Hydrochimie

<b>VI.1. Introduction</b> .....	39
VI.2. Matériel et méthodes .....	39
VI.2.1. Stratégie de prélèvement .....	39
VI.2.2. Mesures in-situ .....	40
VI.2.3. Analyses des éléments chimiques .....	41
VI.3. Résultats et discussion .....	41
VI.3.1. Paramètres physico-chimiques .....	41
VI.3.1.1 La température : .....	41
VI.3.1.2. Conductivité électrique : .....	42
VI.3.1.3. Potentiel d'hydrogène (pH) .....	43
VI.3.2. Eléments majeurs.....	44
VI.3.2.1. Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ).....	44
VI.3.2.2. Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ).....	44
VI.3.2.3. Sodium ( $\text{Na}^+$ ) .....	45
VI.3.2.4. Potassium ( $\text{K}^+$ ).....	46
VI.3.2.5. Chlorure : ( $\text{Cl}^-$ ).....	47
VI.3.2.6. Bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) .....	48
VI.3.2.7. Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) .....	48

VI.3.3. Cycle d'azote .....	49
VI.3.3.1. Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) .....	49
VI.3.3.2. Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ).....	49
VI.3.3.1. Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ).....	50
VI.3.4. Phosphate ( $\text{PO}_4^{3+}$ ).....	51
VI.3.5. Fer (Fe).....	51
<b>VI.4. Conclusion .....</b>	<b>52</b>

## **Conclusion générale**

## **Référence bibliographique**

## *Liste des tableaux*

Tableau 01 : classifications des états de l'eau dans le cycle .....	01
Tableau 02 : Temps de renouvellement de l'eau dans les principaux réservoirs.....	03
Tableau 03 : Normes de l'OMS sur l'eau potable .....	08
Tableau 04: Précipitation moyennes mensuelles et saisonnières, Série:1991-2009 .....	25
Tableau 05 : Températures moyennes mensuelles et saisonnières de la station Aéroport .....	27
Tableau 06 : caractéristiques morphologiques du BV.....	34
Tableau 07 : caractéristiques climatique du BV .....	34
Tableau 08 : Le volume ruisselé et les pluies cumulées des épisodes pluvieux .....	38

## Liste des figures

### CHAPITRE I : RAPPEL BIBLIOGRAPHIQUE

<b>Figure 01</b> : Diagramme de phase de l'eau(Musy2005.....	2
<b>Figure 02</b> : Cycle hydrologique schématique de cycle de l'eau.....	2
<b>Figure 03</b> : Détermination d'un bassin versant (site web 01) .....	4
<b>Figure04</b> :Typologie des Bassins versants (site web 02) .....	4
<b>Figure05</b> : La fonction de protection.....	5
<b>Figure06</b> :Transformation de la pluie brute en hydrogramme de crue.....	6
<b>Figure07</b> : volume d'eau ruisselé au cours d'une averse en fonction du régime d'infiltration dusol. L'axe y représente à la fois l'intensité de la pluie et la capacité d'absorption [mm/h] (Musy, 2015).....	7
<b>Figure08</b> :les deux mécanismes de formation du ruissellement de surfaces saturées. L'eau ruisselle à la fois par exfiltration et par contribution de la pluie (Hingray et al., 2009).....	7

### CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

<b>Figure09</b> :situation géographique de la région d'étude.....	12
<b>Figure 10</b> :Carte topographique de la wilaya de Jijel.....	13
<b>Figure11</b> :Carte pluviométrique de la wilaya de Jijel (DAW2011) .....	14
<b>Figure12</b> :Cartes des bassins et sous bassin versant de la willaya de Jijel(DAW2011.....	15
<b>Figure13</b> : Carte hydrographique de la wilaya de Jijel .....	15
<b>Figure14</b> : Carte du couvert végétal de la willaya de Jijel (DAW, 2011).....	17

### CHAPITRE III : CADRE GEOLOGIQUE

<b>Figure15</b> : Schéma structural de la chaîne alpine de méditerranée occidentale. (D'après Durand,Delga, 1969).....	18
<b>Figure16</b> :Carte lithologique des bassins versant de la willaya de Jijel (DAW, 2011).....	21
<b>Figure17</b> :Carte Géologique de la willaya de Jijel (DAW, 2011).....	22

### CHAPITRE : IV CLIMATOLOGIE

<b>Figure18</b> :Carte pluviométrique de la wilaya de Jijel (ANRH, 1996) .....	24
--	----

<b>Figure19</b> :Carte de précipitations annuelles moyennes(DAW2011) .....	25
<b>Figure20</b> : Distribution des précipitations moyennes mensuelles, durant la période 1991-2009,station Jijel Aéroport.....	26
<b>Figure21</b> :Précipitations annuelles, période 1991-2008,Station Jijel aéroport .....	26
<b>Figure22</b> :Température moyenne mensuelle de la station Jijel Aéroport, 1991-2009 .....	27
<b>Figure23</b> :Diagramme Ombrothermique.....	28

## CHAPITRE : V HYDROLOGIE

<b>Figure24</b> :Réseau hydrographique et barrage de la wilaya de Jijel.....	31
<b>Figure25</b> :Bassins versants de la wilaya de Jijel.....	32
<b>Figure26</b> :Situation géographique du barrage de Kissir (Google Earth).....	33
<b>Figure27</b> :S.S.B. d'oued Kissir. ....	34
<b>Figure28</b> :Evolution du volume des affluents en fonction de 7 épisodes pluvieux .....	37
<b>Figure29</b> :corrélations entre le volume des affluents (ruissellement) et la pluie .....	38

## CHAPITRE : VI HYDROCHMIE

<b>Figure30</b> :Position des points de prélèvements .....	40
<b>Figure 31</b> :Multi-paramètres (WTW 305i) et pH-mètre (Mettler Toledo).....	41
<b>Figure 32</b> : Température des oueds (parties amont et/ou aval) de la wilaya de Jijel..	42
<b>Figure 33</b> : Conductivité des oueds (parties amont et/ou aval) de la wilaya de Jijel .	42
<b>Figure 34</b> : pH des oueds (parties amont et/ou aval) de la wilaya de Jijel .....	43
<b>Figure 35</b> : Concentration du calcium dans les oueds (parties amont et/ou aval) de la wilaya de Jijel.....	44
<b>Figure 36</b> : Concentration du Magnésium dans les oueds (parties amont et/ou aval) de la wilaya de Jijel .....	45
<b>Figure37</b> :Concentration du sodium dans les oueds (parties amont et/ou aval) de la wilaya de Jijel.....	45
<b>Figure 38</b> :Concentration du potassium dans les oueds (parties amont et/ou aval) de la wilaya de Jijel .....	46
<b>Figure 39</b> : Concentration des chlorures dans les oueds (parties amont et/ou aval) de la wilaya de Jijel.....	47
<b>Figure 40</b> : Concentration des bicarbonates dans les oueds (parties amont et/ou aval) de la wilaya de Jijel .....	48

<b>Figure 41</b> : Teneurs en sulfates dans les oueds (parties amont et/ou aval) de la wilaya de Jijel .....	48
<b>Figure 42</b> : Teneurs en nitrates dans les oueds (parties amont et/ou aval) de la wilaya de Jijel .....	49
<b>Figure43</b> : Teneurs en nitrites dans les oueds (parties amont et/ou aval) de la wilaya de Jijel .....	50
<b>Figure 44</b> : Teneurs en ammonium dans les oueds (parties amont et/ou aval) de la wilaya de Jijel.....	50
<b>Figure 45</b> : Teneurs en phosphates dans les oueds (parties amont et/ou aval) de la wilaya de Jijel.....	51
<b>Figure 46</b> :Teneurs en fer dans les oueds (parties amont et/ou aval) de la wilaya de Jijel .....	52

La wilaya de Jijel se situe au Nord - Est Algérien et fait partie du littoral algérien. Elle s'étend sur une superficie de 2 400 Km<sup>2</sup>. Son climat est de type méditerranéen, les précipitations moyennes annuelles de l'ordre 1200 mm/an et la température moyenne de l'ordre de 18°C.

Le système orographique de la wilaya est essentiellement montagneux (82 % de sa superficie totale). L'analyse des bassins versant de la wilaya montre l'existence de trois bassins versants principaux (Kébir, Djendjen et Nil). L'estimation du ruissellement à partir des apports du barrage de Kissir, nous a permis de déterminer le temps de retard entre les pluies et l'arrivée d'eau à l'exutoire du BV et de trouver une relation de type puissance qui relie les pluies et le volume d'eau ruisselé.

L'étude de la qualité des eaux de surface montre que les oueds de la partie Est de la wilaya de Jijel sont plus pollués que les oueds de la partie ouest, cela est lié à l'importance des BV et à l'existence des activités agricoles et zones urbaines dans le versant. La comparaison entre la partie amont et aval de la partie est de la wilaya montre des concentrations en éléments majeur (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> et Cl<sup>-</sup>) plus au moins élevé dans la partie aval. Les éléments indicateurs de la pollution urbaine (nitrites, ammonium et phosphates) présentent des valeurs élevées dans la partie aval, cela est lié sûrement aux rejets urbains des agglomérations situés sur les rives des oueds.

**Mots clés :** Jijel, eau superficielle, barrage de Kissir, ruissellement, qualité des eaux,

#### Abstract:

The wilaya of Jijel is located in the Algerian North – East, and it's a part of the Algerian coast, it's extends over an area of 2398.69 Km<sup>2</sup>. Its climate is of type Mediterranean, the average annual rainfall is about 1200 mm / year, and the average temperature is around 18 ° C.

The orographic system is essentially mountainous ( 82% of its total area), The analysis of watersheds of the wilaya shows the existence of three major watersheds (Kebir, Djendjen and Nil) The estimate of runoff from the contributions of Kissir dam allowed us to determine the time delay between the rains and the water arrival at the outlet of BV and find a relation of Power Type that connects the rain and the volume of run-off water.

The quality study of surface waters show that the rivers of the eastern part of the wilaya of Jijel are more polluted than the rivers of the western part; this is related to the importance of the watershed and the existence of agriculture and urban areas in the slope.

The comparison between the upstream portion and downstream of the eastern part of the wilaya of Jijel shows concentrations of major elements (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> et Cl<sup>-</sup>) are more or less high in the downstream part. The indicator elements of urban pollution (nitrites, ammonium and phosphates) present high values in the downstream part, this is related for surely to the urbans releases of the agglomerations located on the banks of the river.

**Keywords:** Jijel, surface water, dam of Kissir, runoff, water quality.

#### ملخص:

تقع ولاية جيجل شمال شرق الجزائر و هي جزء من الساحل الجزائري. تبلغ مساحتها حوالي 2400 كيلو متر مربع. معدل التساقط السنوي بها حوالي 1200 مم/السنة و متوسط درجة الحرارة حوالي 18 درجة مئوية مناخها متوسطي.

النظام الطبوغرافي السائد فيها جبلي (82٪ من مساحتها الكلية). دراسة الاحواض المائية لولاية جيجل يبين لنا وجود ثلاثة وديان لرئيسية (الكبير و جن جن والنيل).

تقدير الجريان السطحي لحوض سد كسير، سمح لنا بتحديد التأخير الزمني بين هطول الأمطار ووصول المياه للحوض المائي بيوم وإيجاد علاقة من نوع الاسية تربط بين المطر وحجم جريان المياه.

دراسة نوعية المياه السطحية تبين ان وديان الجهة الشرقية لولاية جيجل اكثر تلوثا منها في الجهة الغربية و هذا مرتبط بأهمية الحوض المائي و وجود أنشطة المناطق الزراعية والحضرية في مستجمعات المياه.

المقارنة بين الجزء العلوي والمصب من الجزء الشرقي للولاية يبين ان تراكيز العناصر الرئيسية (كالمغنسيوم مغنزيوم كلور و السولفات) مرتفعة اكثر عند المصب. مؤشرات الكميائية للتلوث في المناطق الحضرية (النتريت، الأمونيوم والفوسفات) لها قيم عالية في الجزء المصب، وهذا يرتبط على الأرجح إلى تصريف النفايات الحضرية على ضفاف الوادي.

**الكلمات المفتاحية :** جيجل، المياه السطحية، سد كسير، الجريان السطحي ونوعية المياه

## Introduction générale

L'eau est un élément constitutif fondamental de la vie, elle est en amont de toute activité économique. Elle constitue un élément précieux et indispensable à la survie de l'être humain, l'eau a été le centre de préoccupation de l'être humain pendant des millénaires, tous les berceaux des civilisations ont vu le jour dans régions riveraines.

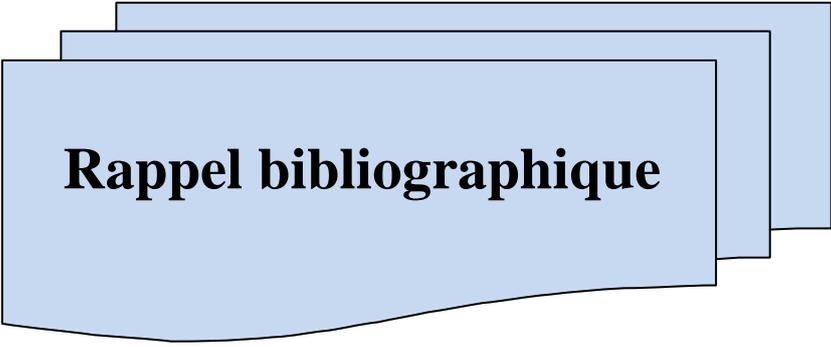
En Algérie plus qu'ailleurs et aujourd'hui plus qu'hier se pose le problème de cette ressource rare et vitale tant dans sa mobilisation, que de sa protection et sa préservation. Aussi une prise de conscience a débuté dans le monde pour tenter de protéger l'eau contre toutes sources de pollution, mauvaise gestion d'eaux et tous qui présentent un danger à l'eau. Les ressources hydriques de l'Algérie sont limitées, et dépendent essentiellement de l'apport du ciel. Cette situation s'explique d'une part par une pluviométrie précaire, irrégulière et mal répartie, et d'autre part par la croissance démographique et ces aléas sur l'accroissement des besoins et la pollution de la ressource. Dans ce cadre interviennent les études hydrologiques des bassins versant pour appréhender le fonctionnement du processus de ruissellement en fonction de la pluviométrie et d'identifier quantitativement et qualitativement la ressource pour l'exploiter à bon escient.

La wilaya de Jijel compte parmi les régions d'Algérie les mieux arrosées ou le taux des précipitations peut atteindre les 1200 mm/an et elle est caractérisée par un aspect morpho-structural qui favorise le ruissellement des eaux en surface. L'action de ces eaux conjuguées à la nature lithologique des terrains auaffleurement a fortement imprimé un schéma orographique des pentes dense selon les pentes surfaciques des versants.

Le volume et la qualité des eaux ruisselées sont mal connus dans la région de Jijel, vu le manque des stations de jaugeage et l'absence d'un suivi physico-chimique de la qualité des eaux de surface. Afin de déterminer ces deux paramètres cette étude a été menée, elle est structurée en 4 grandes parties :

- la première concerne une recherche bibliographique sur les eaux de surface et les bassins versants ;
- la deuxième concerne la présentation de la zone d'étude de point de vue administrative, morphologique, topographie et géologique ;
- la troisième concerne l'hydrologie du bassin versant du barrage de Kissir. En estimant le ruissellement du BV à partir des entrées et la sortie du barrage ;
- et la quatrième partie concerne l'étude hydrochimique des eaux de surface de la wilaya de Jijel. Une comparaison entre la partie amont et aval des oueds sera faite dont l'objectif de connaître la qualité des eaux et les différents apports polluants des oueds.

## **Chapitre I**



**Rappel bibliographique**

# I. Rappel bibliographique

## I.1. Introduction

L'eau est la base de toute forme de vie. Elle est à la fois habitat, aliment, moyen de production, de transport et bien marchand.

L'eau tisse naturellement un vaste réseau de connections : elle est liée aux autres ressources naturelles (sol, forêt, biodiversité, etc.) ; les systèmes aquatiques sont interconnectés ; les problèmes environnementaux se répercutent d'un bout à l'autre d'un bassin hydrographique ; différents groupes d'intérêts l'utilisent pour subvenir à leurs besoins. L'eau est à la fois internationale, nationale, régionale et locale, elle occupe des échelles de temps et d'espace variées. Ce réseau complexe ne facilite pas la mise en place de mesures de gestion appropriées.

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

## I.2. Généralités sur l'eau

L'eau est la source principale et originelle de toute vie. Elle se présente, dans la nature, sous trois états : Solide : neige et glace ; Liquide : eau chimiquement pure ou chargée en solutés et gazeux à différents degrés de pression et de saturation. Le tableau ci-dessous présente les différents états d'eau, leur stock et son phénomène de transport.

**Tableau 01** : classifications des états de l'eau dans le cycle

<b>Etats</b>	<b>Principaux stocks</b>	<b>Phénomènes de transport</b>
<b>Vapeur nuages, brouillards</b>	humidité atmosphérique, évapotranspiration	Evaporation
<b>Liquide</b>	océans, mers, lacs, eaux souterraines	Pluie, cours d'eau, nuages
<b>Solide</b>	glaciers, manteaux neigeux, calottes polaires	Neige, grêle, écoulement des glaciers

Le changement de phase de l'eau dépend essentiellement de la température et de la pression mais aussi du degré de pollution de l'atmosphère. La figure (01) donne les différentes

conditions de pression et de température pour les trois états de l'eau, ainsi que les transformations de phase.

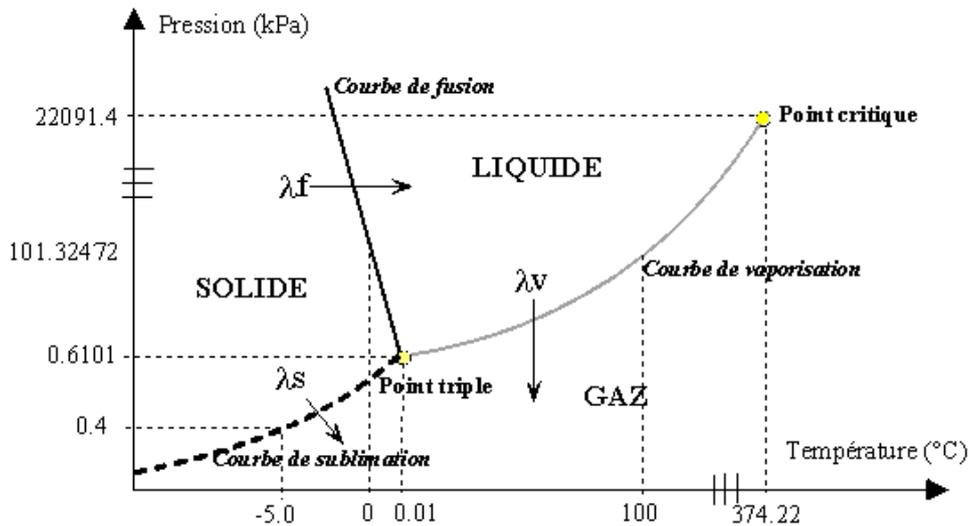


Figure. 1 : Diagramme de phase de l'eau (Musy, 2005)

### I.3. Cycle de l'eau

Le cycle de l'eau, appelé aussi cycle hydrologique, est l'ensemble des cheminements que peut suivre une particule d'eau. Ces mouvements, accompagnés de changements d'état, peuvent s'effectuer dans l'atmosphère, à la surface du sol et dans le sous-sol. Chaque particule n'effectue qu'une partie de ce cycle et avec des durées très variables : une goutte de pluie peut retourner à l'océan en quelques jours alors que sous forme de neige, en montagne, elle pourra mettre des dizaines d'années.

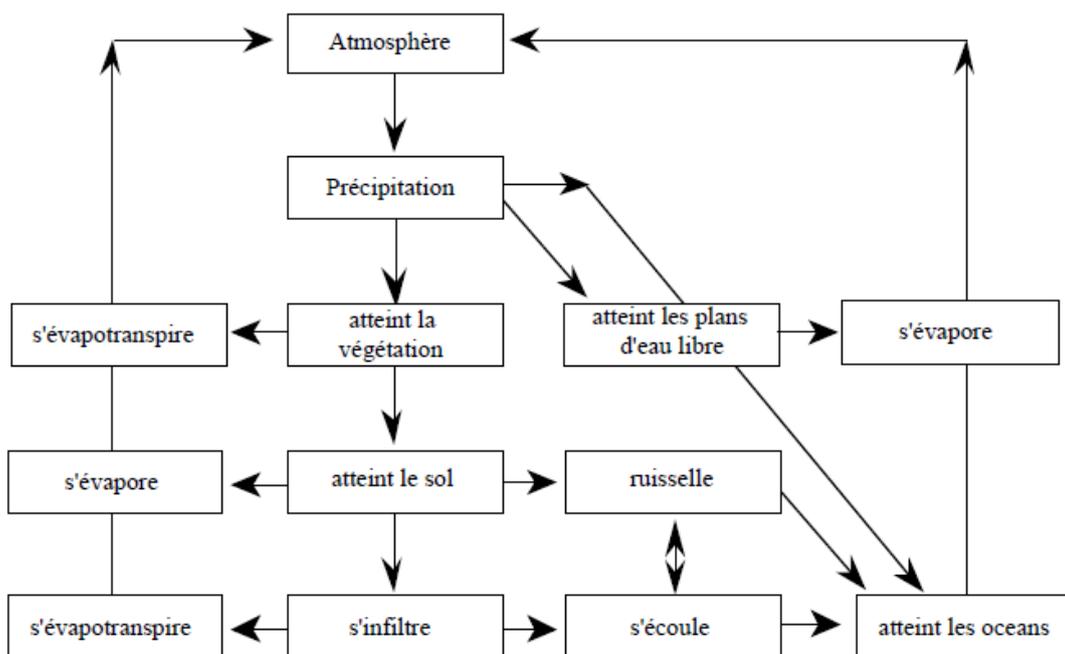


Figure. 2 : Cycle hydrologique schématique de cycle de l'eau.

#### **I.4. La répartition de l'eau à l'échelle du globe : Réservoirs d'eau**

Nous pouvons concevoir la répartition des eaux sur la terre selon une répartition quantitative et qualitative des eaux à l'échelle du globe, et par rapport aux différentes composantes du cycle hydrologique.

Les océans occupent 70% de la surface du globe et représentent environ 97% de la masse d'eau de la Biosphère. Les 3% de masse d'eau restants sont sous forme de glace, neige, eaux profondes, eaux Souterraines, eau courante. La part représentée par la vapeur d'eau de l'atmosphère y est négligeable.

L'eau séjourne plus ou moins longtemps dans chaque réservoir : Sa vitesse de renouvellement conduit à la notion de Temps de séjour = Volume du réservoir / Flux entrant ou sortant. Ce temps de séjour vaut entre 0.03 an pour l'atmosphère et est > 8200 ans pour les nappes souterraines.

**Tableau 2** - Temps de renouvellement de l'eau dans les principaux réservoirs (Tiré de Gleick (1993), Jacques (1996))

Réservoir	Temps de renouvellement (Jacques, 1996)	Temps de renouvellement (Gleick, 1993)
Océans	2500 ans	3100 ans
Calottes glaciaires	1000 – 10'000 ans	16000 ans
Eaux souterraines	1500 ans	300 ans
Eaux du sol	1 an	280 jours
Lacs	10-20 ans	1-100 ans (eaux douces) 10-1000 ans (eaux salées)
Cours d'eau	10-20 jours	12-20 jours
Eau atmosphérique	8 jours	9 jours
Biosphère	Quelques heures	-

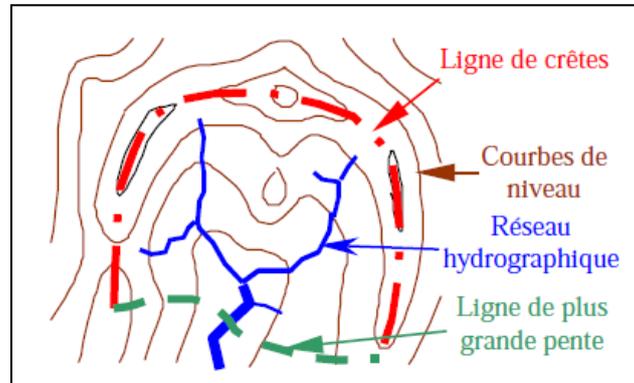
#### **I.5. Caractéristiques du bassin versant**

##### **I.5.1 Notion du bassin versant**

Le bassin versant en une section d'un cours d'eau est défini comme la surface drainée par ce cours d'eau et ses affluents en amont de la section. Tout écoulement prenant naissance à l'intérieur de cette surface doit donc traverser la section considérée, appelée exutoire, pour poursuivre son trajet vers l'aval. Selon la nature des terrains, nous serons amenés à considérer deux définitions :

### A) Bassin versant topographique

Si le sous-sol est imperméable, le cheminement de l'eau ne sera déterminé que par la topographie. Le bassin versant sera alors limité par des lignes de crêtes et des lignes de plus grande pente comme le montre la figure ci-jointe.

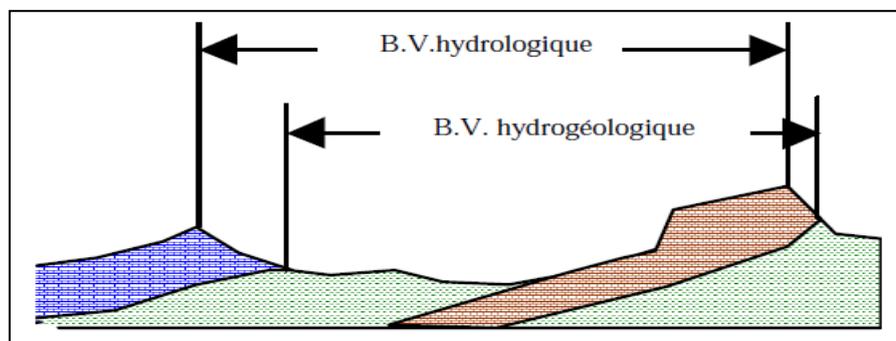


**Figure.3** Délimitation d'un bassin versant (Site web 01)

### B) Bassin versant hydrogéologique

Dans le cas d'une région au sous-sol perméable, il se peut qu'une partie des eaux tombées à l'intérieur du bassin topographique s'infiltrer puis sorte souterrainement du bassin (ou qu'à l'inverse des eaux entrent souterrainement dans le bassin). Dans ce cas, nous serons amenés à ajouter aux considérations topographiques des considérations d'ordre géologique pour déterminer les limites du bassin versant.

Cette distinction entre bassin topographique et hydrogéologique se justifie surtout pour les petits bassins. En effet, lorsque la taille du bassin augmente, les apports et les pertes souterraines ont plus de chance de se compenser. De plus, on peut admettre que le débit des cours d'eau est proportionnel à la surface du bassin, les échanges souterrains se font, eux, aux frontières et varient donc sensiblement comme le périmètre. Lorsque la taille du bassin augmente, la surface croît plus vite que le périmètre et la valeur relative des échanges souterrains par rapport au débit de surface tend à devenir négligeable.



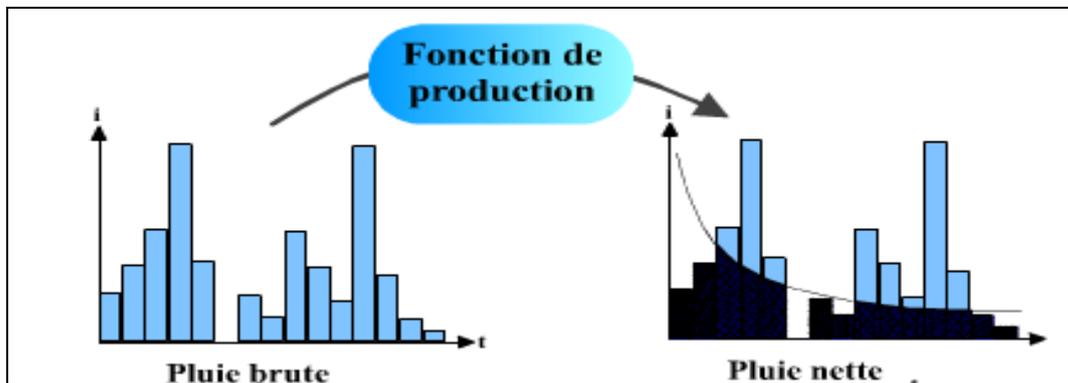
**Figure.4** Typologie des Bassins versants (site web 02)

## **I.5.2. Genèse du ruissellement**

Le ruissellement désigne le mouvement de l'eau à la surface du sol suite à une pluie et il se répartit en plusieurs composantes : interception par la végétation, évapotranspiration, infiltration dans le sol, ruissellement en surface.

### **A) La fonction de production**

La connaissance de ces pluies brutes n'est pas directement exploitable pour la détermination d'un hydrogramme de ruissellement puisque la totalité de la précipitation ne participe pas à l'écoulement. En d'autres termes, il convient tout d'abord de déterminer la fraction de la pluie totale qui va effectivement participer au ruissellement. Cette fraction s'appelle la pluie nette et sa détermination fait appel à la fonction de production. Donc la fonction de production détermine la part de la pluie brute qui va s'écouler à l'exutoire, par ruissellement direct ou retardé, elle permet de déterminer le hyétogramme de pluie nette à partir de la pluie brute c'est-à-dire les pertes initiales, comme le montre la Figure 5.



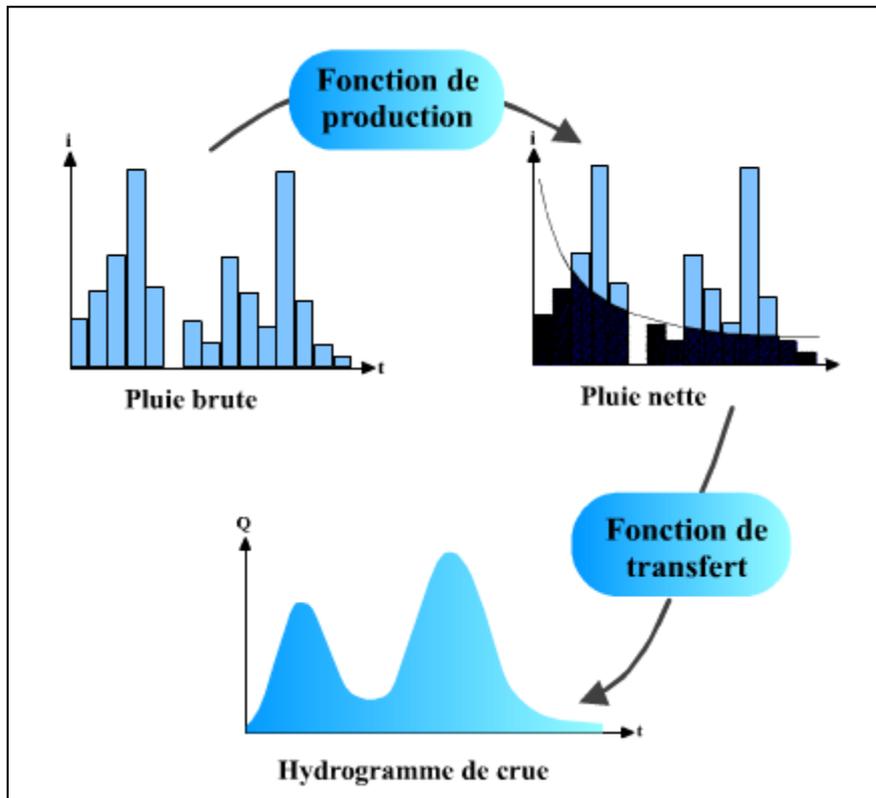
**Figure.5** La fonction de production

### **B) La fonction de transfert**

La fonction de transfert permet quant à elle de déterminer l'hydrogramme de crue résultant de la pluie nette qui est la fraction de pluie brute participant totalement à l'écoulement.

Le passage du hyétogramme de pluie à l'hydrogramme de crue fait intervenir toutes les caractéristiques météorologiques, physiques et hydrologiques du bassin versant considéré.

Dès lors, on comprendra aisément que la détermination d'une relation analytique rigoureuse entre précipitations et débits est une tâche très difficile. Toutefois, l'analyse de séries de couples pluies-débits permet d'obtenir des informations pertinentes sur la fonction de transfert du bassin versant, comme l'illustre la figure 06.



**Figure.6** Transformation de la pluie brute en hydrogramme de crue.

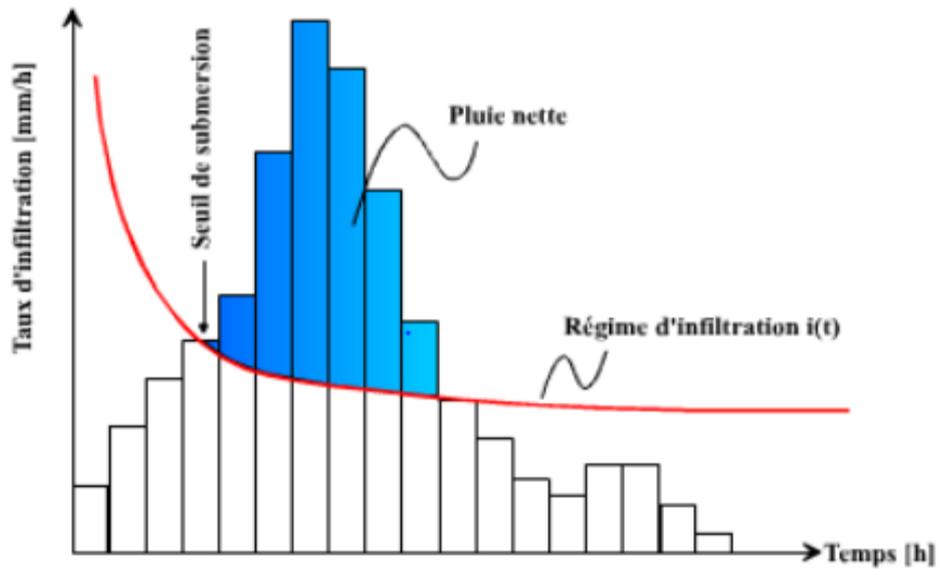
### I.5.3. Hypothèses et typologie de ruissellement

Trois hypothèses permettent d’expliquer la genèse du ruissellement : le ruissellement d’après HORTON (1933), le ruissellement selon les aires contributives, et l’occurrence d’organisations pelliculaires superficielles (OPS). (COSANDEY et Als, 1996)

#### A) Le ruissellement hortonien

Naît lorsque l’intensité des pluies est supérieure à la capacité d’infiltration du sol. Si on compare l’infiltration à l’intensité de la pluie, on constate que l’intensité d’infiltration décroît au cours du temps, d’une part parce que le potentiel capillaire diminue à mesure que le front d’infiltration pénètre à l’intérieur du sol et d’autre part, par dégradation de l’état de la structure à la surface du sol (figure 7).

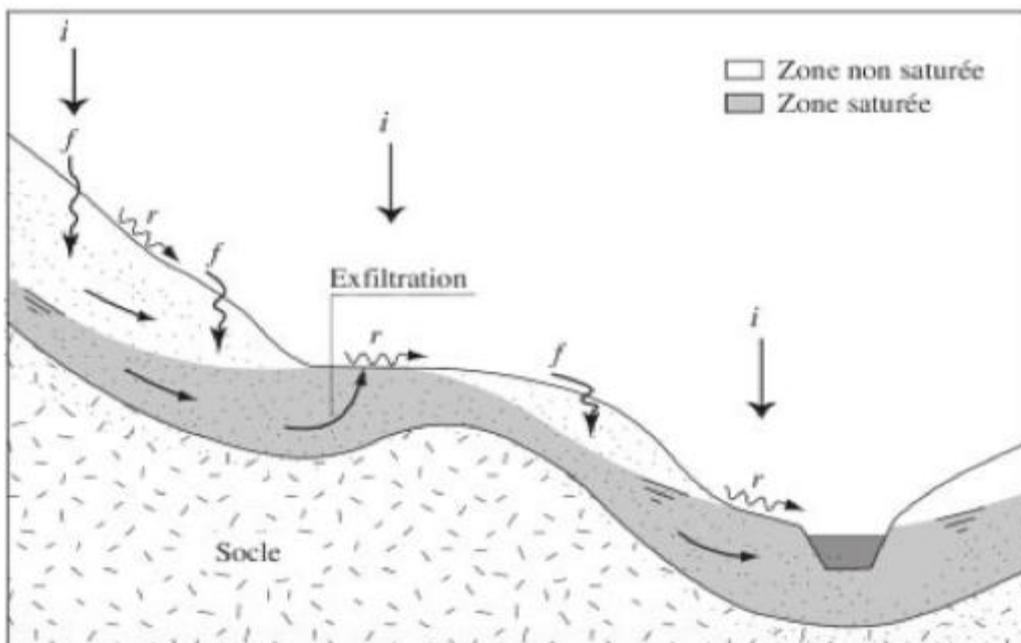
C’est le type de ruissellement le plus naturellement compris, observé et intuitif. Ce type de ruissellement est plutôt prépondérant dans les bassins aux sols compacts, peu pentus, faiblement végétalisés, aux climats plutôt arides.



**Figure.7** volume d'eau ruisselé au cours d'une averse en fonction du régime d'infiltration du sol. L'axe y représente à la fois l'intensité de la pluie et la capacité d'absorption [mm/h] (Musy, 2015).

### B) Le ruissellement selon le concept des aires contributives

S'explique par la combinaison de certaines conditions topographiques et géomorphologiques qui font « sub-alternar » la nappe phréatique. Lorsqu'il pleut sur ces surfaces imperméabilisées par saturation, l'eau ruisselle, comme l'illustre la figure 8.



**Figure.8** les deux mécanismes de formation du ruissellement de surfaces saturées. L'eau ruisselle à la fois par exfiltration et par contribution de la pluie (Hingray et al, 2009).

### C) Le ruissellement de type OPS (Organisations Pelliculaires de Surface)

S'observe lorsque l'impact des gouttes de pluie (splash) provoque un tassement de la surface nue du sol, un éclatement des agrégats et une redistribution des particules, conduisant à la fermeture des pores et donc à l'imperméabilisation du sol. L'eau qui tombe sur cette croûte de battance ruisselle de manière diffuse et colmate les micro-dépressions de la surface du sol en y entraînant les particules fines. Ainsi, le taux de couverture du sol, son état de tassement, l'intensité et la durée des pluies, la stabilité structurale des sols, sont des facteurs qui conditionnent l'importance du ruissellement.

#### I.6. Normes et qualité de l'eau

Les qualités requises pour une eau sont en fonction de son utilisation. Ainsi, les objectifs de qualité sont différents suivant que l'eau est utilisée pour la pisciculture, la baignade, la production de vapeur implique des exigences en ce qui concerne la salinité, l'eau destinée à l'alimentation humaine doit répondre à un ensemble de critères en ce qui concerne les paramètres microbiologiques et physico-chimiques.

L'eau de distribution publique est définie par des normes : algérienne, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et de directives européens (Ross, 1999).

**Tableau 03 - Normes algérienne et européennes sur l'eau potable**

Caractéristiques	Symbole	Unités	Algériennes (Arrêté interministériel du 22 janvier 2006)	Européennes (Directive 98/83/CE du conseil du 3 novembre 1998)
<b>Caractéristiques physico-chimiques</b>				
pH	-	-	6,5 – 8,5	6,5 – 9,5
Conductivité à 20 °C	-	µs/cm	2800	2500
Chlorures	Cl	mg/l	200 – 500	250
Sulfates	SO <sub>4</sub>	mg/l	200 – 400	250
Magnésium	Mg	mg/l	150	50
Sodium	Na	mg/l	200	200
Potassium	K	mg/l	20	12
Aluminium total	Al	mg/l	0,2	0,2
<b>Substances indésirables</b>				
Nitrates	NO <sub>3</sub>	mg/l	50	50
Nitrites	NO <sub>2</sub>	mg/l	0,1	0,5
Ammonium	NH <sub>4</sub>	mg/l	0,5	0,5
Fer	Fe	mg/l	0,3	0,2
Manganèse	Mn	mg/l	0,5	0,05
Cuivre	Cu	mg/l	1,5	2
Zinc	Zn	mg/l	5	3
Argent	Ag	mg/l	0,05	0,01
Fluorures	F	mg/l	0,2 – 2	1,5
Azote	N	mg/l	1	1
<b>Substances toxiques</b>				
Arsenic	As	mg/l	0,05	0,01
Cadmium	Cd	mg/l	0,01	0,005
Cyanure	Cn	mg/l	0,05	0,05
Chrome	Cr	mg/l	0,05	0,05
Mercure	Hg	mg/l	0,001	0,001
Plomb	Pb	mg/l	0,055	0,01
Sélénium	Se	mg/l	0,01	0,01
Benzo (1,2,3-cd) pyrène	-	µg/l	0,01	0,01

## **I.7 Les eaux de surface :**

Les eaux superficielles qualifient toutes les eaux naturellement ouvertes sur l'atmosphère, y compris les fleuves, les rivières, les lacs, les réservoirs, les ruisseaux, les lacs de barrage, les mers, les estuaires, etc. Le terme s'applique également aux sources, aux puits et autres collecteurs d'eau qui subissent directement l'influence des eaux superficielles. En aquarium, l'interface eau/air, couramment appelée eau de surface, correspond aux eaux superficielles.

## **I.8 La pollution des eaux :**

Les problèmes liés à la pollution, considérés il y a quelques années comme des problèmes à long terme, deviennent des problèmes quotidiens. Loin d'être irrémédiable, la situation nécessite une forte prise de mesure.

La pollution de l'eau de surface est dans la plupart des cas immédiate. Mais, dans certains cas, les impacts d'activités humaines peuvent apparaître à retardement.

On appelle pollution de l'eau toute modification chimique, physique ou biologique de la qualité de l'eau qui a un effet nocif sur les consommateurs comme les êtres vivants.

## **I.9 Les différentes origines de pollution des eaux superficielle :**

### **II.9.1 Pollution physique :**

Les étangs, lacs, cours d'eau et océans subissent une très souvent une pollution dite physique.

En effet, un changement de température de l'eau due aux polluants peut entraîner des dérèglements de la biodiversité du milieu. Certaines espèces ne peuvent plus vivre dans ce milieu et disparaissent alors que d'autres se développent ou prolifèrent, et lorsque, par exemple, ces espèces sont des prédateurs, cette espèce provoque encore des disparitions d'espèces et le milieu meurt.

### **I.9.2 Pollution mécanique :**

Elle résulte des décharges et des particules solides apportés par les eaux résiduaires industrielles, ainsi que les eaux de ruissellement. Ces polluants sont soit les éléments grossiers soit du sable ou bien les matières en suspension MES (Galaf., 2003).

### **I.9.3 Pollution thermique :**

Les eaux rejetées par les usines utilisant un circuit de refroidissement de certaines installations (centrales thermiques, nucléaires, raffineries, aciéries..); l'élévation de température qu'elle induit diminue la teneur en oxygène dissous. Elle accélère la biodégradation et la prolifération des germes. Il se trouve qu'à charge égale, un accroissement de température favorise les effets néfastes de la pollution (Galaf., 2003).

#### **I.9.4 Pollution radioactive :**

La pollution des eaux par des substances radioactive pose un problème de plus en plus grave, a un effet direct sur les populations aquatiques en raison de la toxicité propre de ses éléments et des propriétés cancérigènes et mutagènes de ces rayonnements.

#### **I.9.5 Pollution chimique :**

A pour origine les rejets chimiques, essentiellement d'origine industriel, domestique et agricole. La pollution chimique des eaux est regroupée dans deux catégories:

##### **a- Pollution organique :**

C'est les effluents chargés de matières organiques fermentescibles (biodégradables), fournis par les industries alimentaires et agroalimentaires (laiteries, abattoirs, sucreries...), et par les effluents domestique (déjections humaines, graisses,...etc.), ils ont pour conséquence la consommation d'oxygène dissous de ces eaux.

Les polluants organiques sont principalement

- **Les détergents ;**
- **Les pesticides ;**
- **Les hydrocarbures ;**

##### **b- Pollution minérale :**

La pollution minérale des eaux provoquer un déséquilibre de la croissance végétale ou trouble physiologique chez les animaux. Le polluant minéral ce sont principalement les métaux lourds et les éléments minéraux nutritifs (Mayet., 1994).

- **Les métaux lourds ;**
- **Les éléments minéraux nutritifs (Nitrates et Phosphates) ;**

#### **I.9.6 Pollution microbiologique :**

Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes. L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes, par ordre croissant de taille : (Baumont *et al.* 2004).

- a- Les virus ;**
- b- Les bactéries ;**
- c- Les protozoaires ;**

## **I.10 Conséquences de la pollution de l'eau superficielle**

### **I.10.1 Les pluies acides**

En général l'eau de pluie a un pH comprise entre 5 et 6. C'est donc naturellement un liquide neutre, légèrement acide. Lors des précipitations l'eau de pluie dissout les gaz tels que le dioxyde de carbone et l'oxygène. De nos jours l'industrie émet des quantités importantes de gaz acidifiants, tels que les oxydes de soufre et le monoxyde de carbone. Ces gaz se dissolvent également dans l'eau de pluie, de ce fait le pH des précipitations change, le pH de l'eau de pluie est alors inférieur ou égale à 4. Quand une substance a un pH inférieur à 6,5, elle est acide. Plus le pH est faible, plus la substance est acide. C'est pourquoi les pluies avec un faible pH, dû à la dissolution des émissions industrielles, sont appelées les pluies acides.

### **I.10.2 La santé humaine**

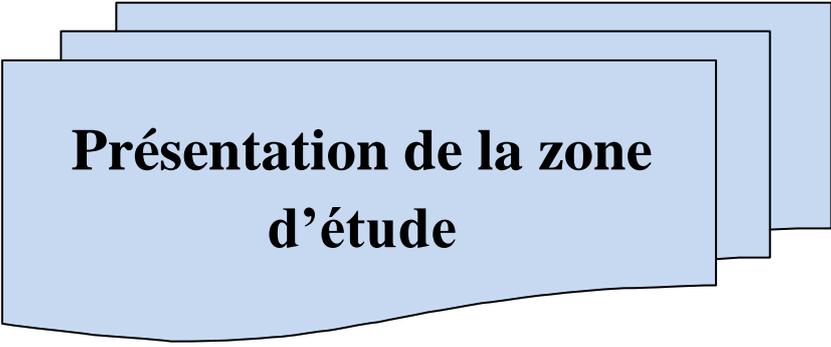
Dans le monde, plus de deux milliards de personnes n'ont pas accès à l'eau potable. Dans les pays où l'eau manque, les populations sont obligées de consommer et d'utiliser le peu d'eau dont ils disposent. Les enfants de moins de cinq ans en sont les principales victimes puisqu'on a constaté environ 6 000 enfants morts par jour à cause des maladies diarrhéiques telles que la dysenterie, la typhoïde et le choléra. L'utilisation d'eau polluée entraîne également des maladies de la peau comme la gale.

Mais les êtres humains ne sont pas les seuls à subir les conséquences de la pollution de l'eau, la faune et la flore en sont également victimes. Les substances toxiques contenues dans l'eau polluée peuvent être stockées par les plantes cultivées dont la consommation ultérieure peut provoquer des maladies digestives, des atteintes au foie et aux reins. La pollution marine est à la source de la dégradation de la faune et la flore aquatiques. Les produits nocifs contenus dans les déchets qu'on déverse directement dans les mers sont plus ou moins absorbés par les organismes marins. De nombreuses espèces animales et végétales ont déjà disparu et beaucoup d'autres sont en voie de disparition.

## **I.11 Conclusion**

Ce rappel bibliographique nous a permis de montrer les formes et les états de l'eau, les processus physique (perméabilité, intensité des pluies, nature du sol...) responsable de l'écoulement de surface, les unités d'écoulement selon la topographie et l'hydrogéologie et enfin un aperçu sur les normes de la qualité des eaux.

## **Chapitre II**



**Présentation de la zone  
d'étude**

## II. Présentation de la zone d'étude

### II.1. Situation géographique

La wilaya de Jijel est située au Nord - Est de l'Algérie (fig. 09) entre l'altitude 36° 30' et 36° 50' N et les longitudes 5°25' et 6°30' E de ligne de Greenwich. Elle est limitée au Nord par la mer Méditerranée, au Sud par la wilaya de Mila, et au Sud - Ouest par la wilaya de Sétif. La wilaya de Skikda délimite la partie Est, tandis que celle de Bejaia borde la partie Ouest.

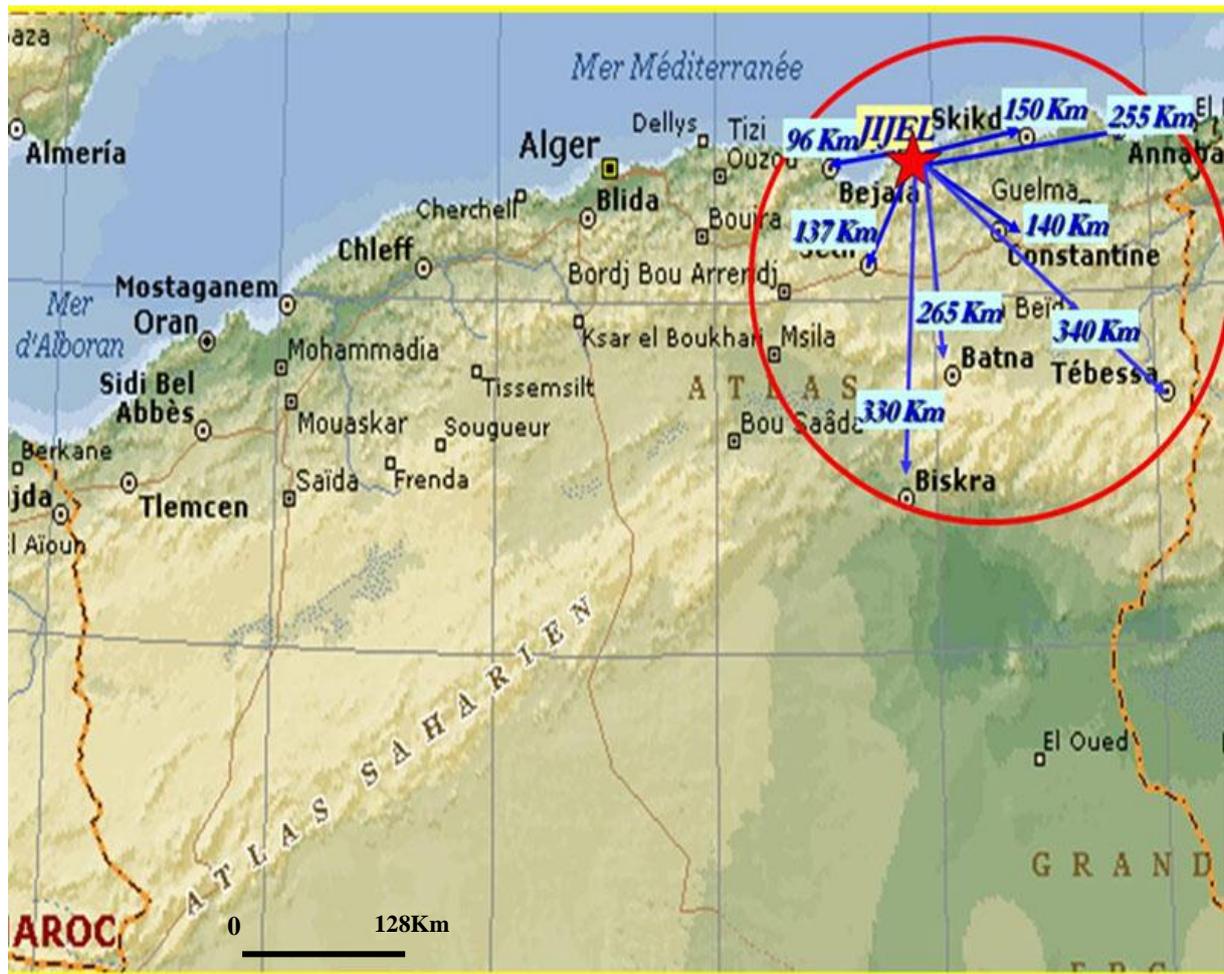


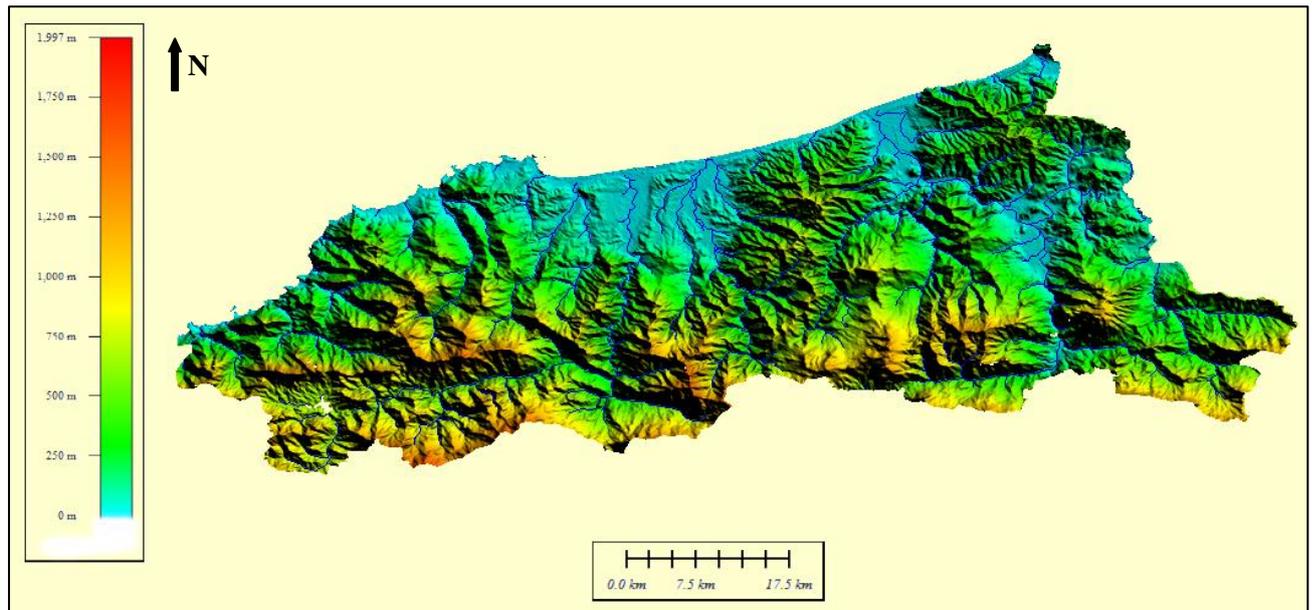
Figure 09 : situation géographique de la région d'étude.

### II.2. Contexte topographique

La wilaya de Jijel est ouverte sur une façade maritime de 120 km, soit 10 % du linéaire côtier Algérien, elle occupe une superficie de 24 000 km<sup>2</sup>, son système orographique essentiellement montagneux (82 % de sa superficie totale) ou plusieurs sommets dépassent les 1500 m d'altitude.

L'analyse des cartes topographiques de la wilaya de Jijel figure (10), nous a permis de ressortir plusieurs unités topographiques qui sont du Nord vers le Sud :

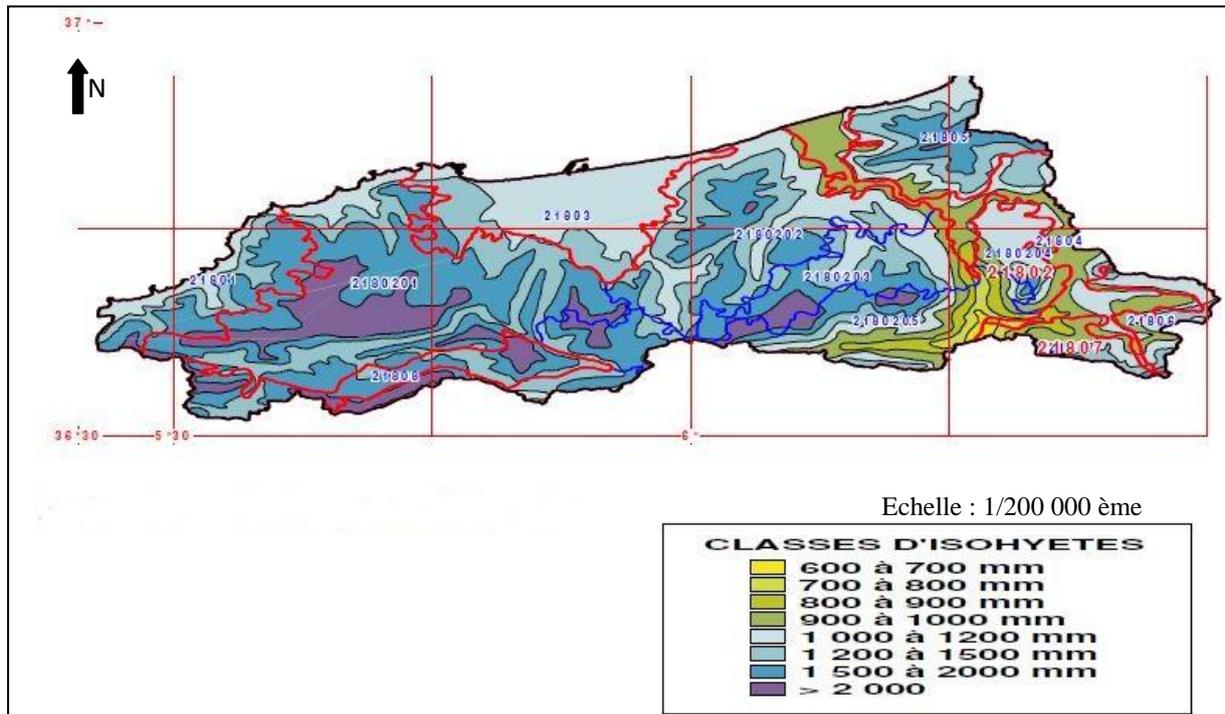
- Les zones littorales constituant une succession des plages et des champs dunaire peu élevées dans certains endroits ;
- Les plaines côtières qui sont caractérisent par une topographie sub-plane, des altitudes qui avoisinent et dépassent par endroits 150 m, et des pentes relativement faible (moins de 8%), elles sont souvent séparées par des petites collines marneuses.
- Les vallées qui sont souvent étroites et dominées par des crêtes raides.
- Les zones de montagnes peu élevés aux sommets allongés et arrondis, qui occupent la majorité de la superficie totale de la région.



**Figure 10** : Carte topographique de la wilaya de Jijel.

### **II.3. Pluviométrie**

La wilaya de Jijel est l'une des régions les plus arrosées de l'Algérie. La pluviométrie excède 1000 mm /an, sur les sommets les précipitations atteignent des valeurs de 1500 à 2000 mm/an. La moyenne des précipitations sur l'ensemble de la wilaya est de l'ordre de 1000 mm/an. Elles se répartissent sur l'année comme suit : Hiver : 41%, Printemps : 17 %, Eté : 6%, Automne : 36 %.



**Figure 11** : Carte pluviométrique de la wilaya de Jijel (DAW, 2011).

#### II.4. Réseau hydrographique :

La wilaya de Jijel est caractérisée par un réseau hydrographique dense (figure 12). Elle est comprise dans trois grands bassins versants : a) le bassin versant des côtières constantinois ouest ; b) le bassin versant de Kebir-Rhumel ; c) le bassin versant de côtières constantinois centre.

Les oueds principaux de la wilaya sont : oued Kébir, Oued Nil, oued Djen-Djen, Oued Mencha, Oued Kissir et Oued Ziama (figure 13). Plusieurs barrages (Irraguenne, Boussiaba, Kissir, Agrem) sont installés sur le parcours des oueds pour récupérer ses eaux et l'utilisées pour l'alimentation en eau potable et/ou l'irrigation.

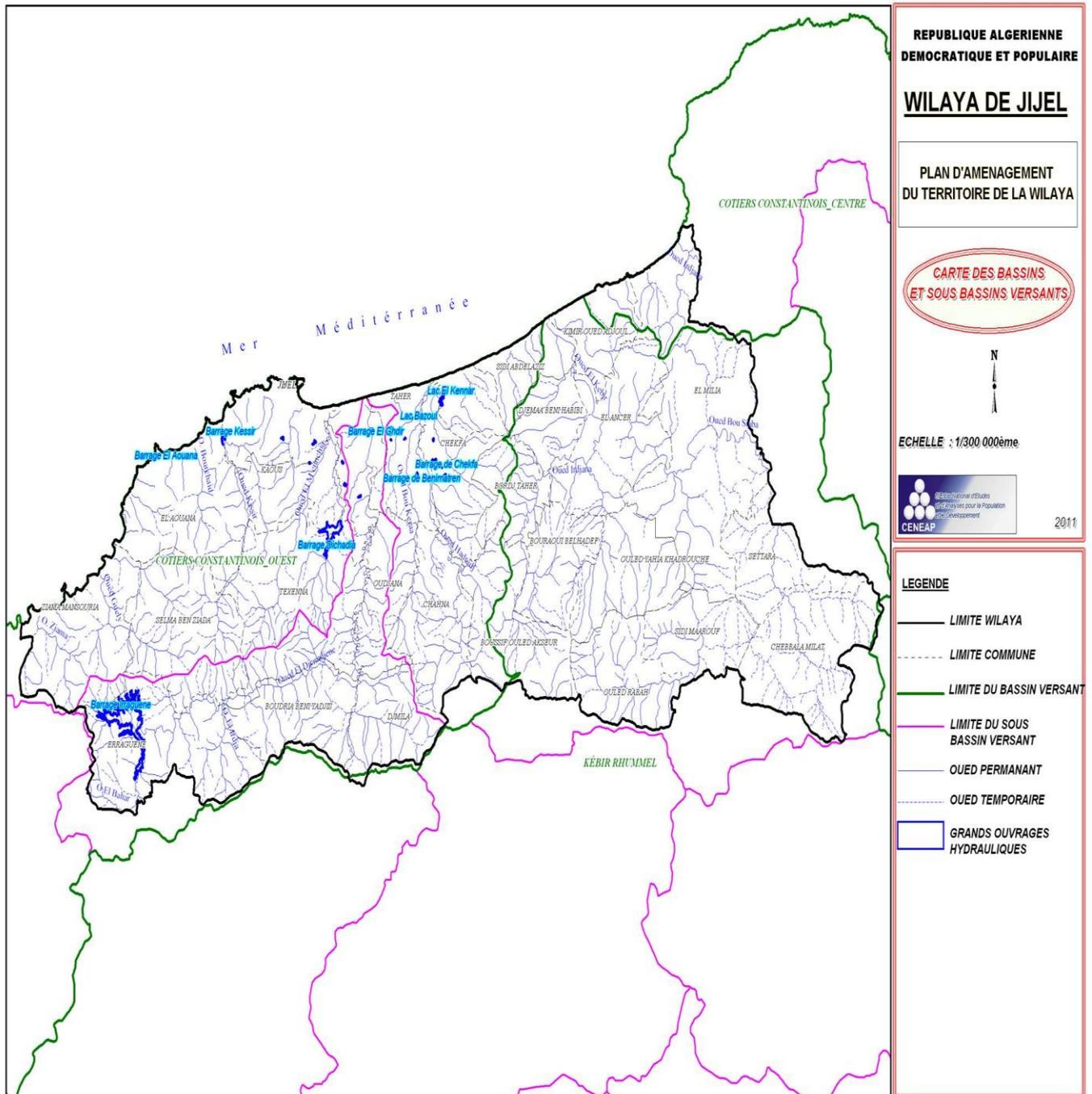
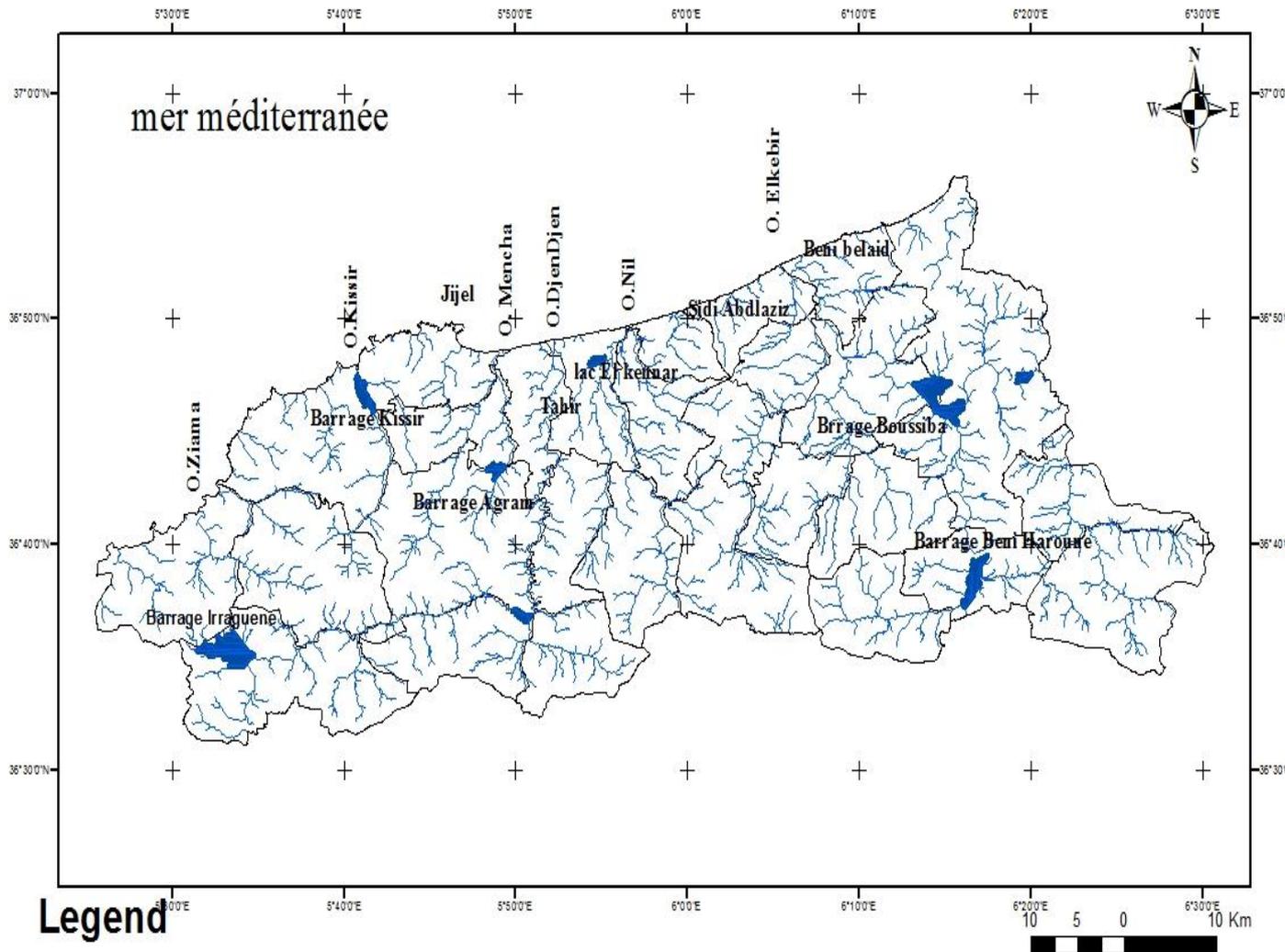


Figure. 12 Cartes des bassins et sous bassin versant de la wilaya de Jijel (DAW, 2011).



**Figure.13 :** Carte hydrographique de la wilaya de Jijel.

Les principaux oueds observés au nombre de dix (10) jettent dans la mer 1886 millions de m<sup>3</sup>; quant aux apports moyens annuels des principaux Oueds, ils sont :

- Kebir-rhumel 750 millions de m<sup>3</sup>,
- Djenjen 412 millions de m<sup>3</sup>,
- Nil 213 millions de m<sup>3</sup>,
- Mencha 100 millions de m<sup>3</sup>,
- Kessir 90 millions de m<sup>3</sup>,
- Kantara 74 millions de m<sup>3</sup>.

(Direction d'hydraulique de la Wilaya (DHW), Jijel 1986)

La mobilisation des eaux par les barrages (25million de m<sup>3</sup>) reste insignifiante par rapport au volume potentiellement mobilisable (1886 millions de m<sup>3</sup>), car certains barrages de la wilaya sont en production. La plus part sont destiné essentiellement à l'irrigation. Le volume autorisé à l'usage domestique est limité à 200 litres/ seconde (Ministère Ressources Eau 2007), 100 l/s pour la ville de Jijel, 50 l/s pour Kaous et 50 l/s pour l'Emir.

Le barrage de Boussiaba dans la daïra d'El Milia est un barrage réservoir pour le barrage de Beni Haroun, la Wilaya de Jijel n'est autorisée à exploiter de cet ouvrage que neuf (9) million de m<sup>3</sup>.

## **II.5. Milieu naturel**

Il est composé dans la wilaya de Jijel par :

**A) Végétation :** Le territoire de la wilaya est couvert par une végétation très abondante représentée en majeure partie par le chêne-liège.

**B) L'agriculture :** Les principales cultures sont l'arboriculture rustique (oliviers) et les cultures, saisonnières vivrières (agriculture essentiellement tournée vers l'auto-consommation et l'économie de subsistance). Il est à signaler le développement de l'apiculture (l'élevage d'abeilles à miel) et de l'aviculture (élevage de volailles) dans certains endroits.

A cause des événements de la dernière décennie, il a été constaté un exode rural de la population, ce qui a influé sur les activités agricoles pratiquées dans la zone qui ont diminué.

D'après les données fournies par les services agricoles nous avons la répartition par culture suivante (figure 14) : olivier, cultures maraichères, arboriculture noyaux et pépins, cultures fourragères.

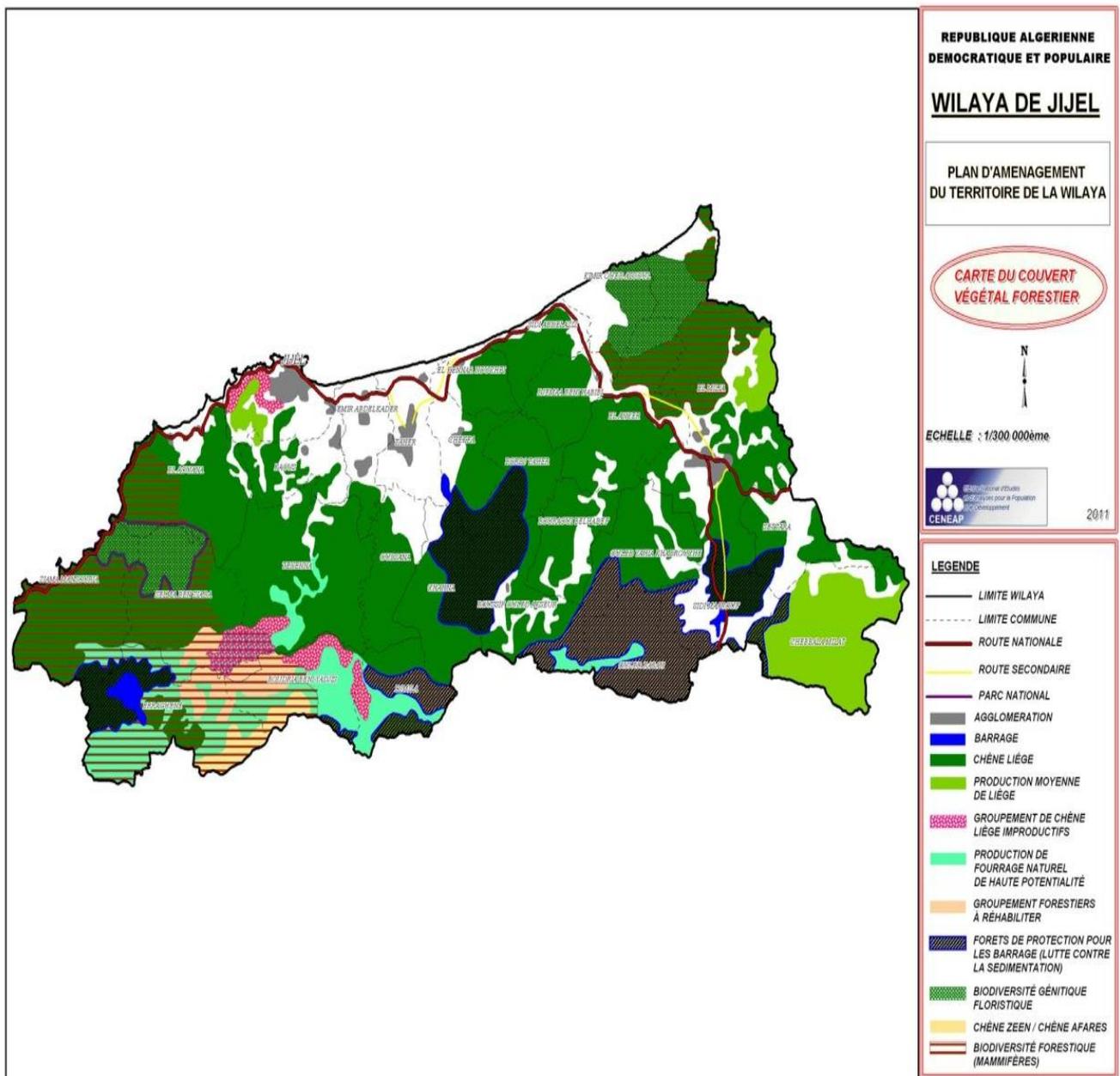
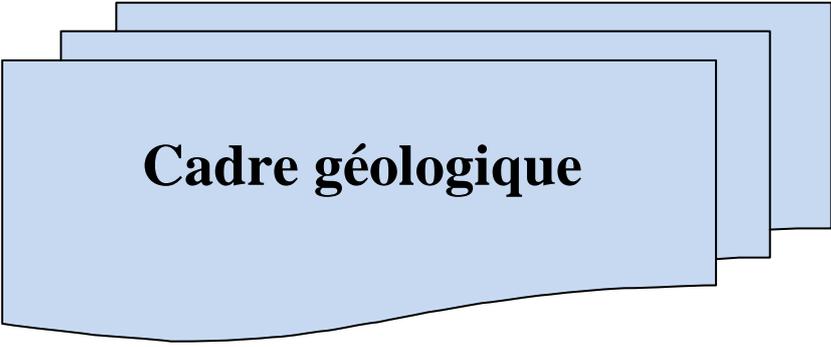


Figure.14 : Carte du couvert végétal

## II.6 Conclusion

La wilaya de Jijel est caractérisée par une situation stratégique marquée par, sa côte qui donne à la région un climat méditerranéen et des apports d'eau sous forme de pluies, et son contexte topographique qui favorise des précipitations élevées dans les montagnes et les drains vers les zones côtière à travers le bassin versant. L'installation des barrages sur le parcours des oueds a diminué considérablement le débit de l'oued dans la partie aval.

## **Chapitre III**



**Cadre géologique**

### III. Cadre géologique

#### III.1 Introduction

La géologie est un outil précieux au service de l'étude hydrogéologique, elle permet de définir les formations et les structures susceptibles de constituer des réservoirs, et d'estimer leurs importances et capacités.

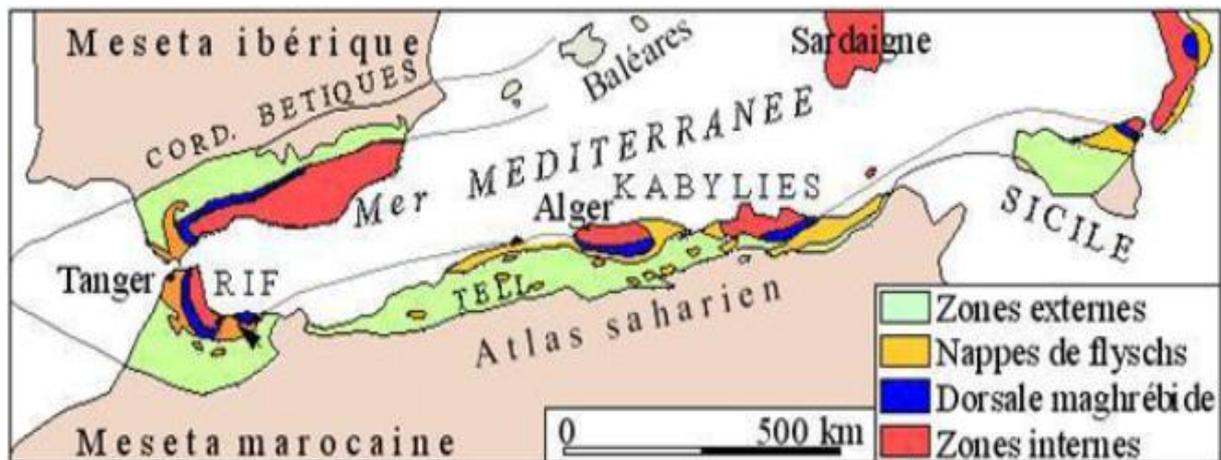
#### III.2. Etude géologique

##### III.2.1. Géologie régionale

La région de Jijel fait partie de la petite Kabylie, entité géographique des chaînes Côtières de l'Est algérien (Fig.15). Ces chaînes appartiennent à la chaîne alpine d'Algérie orientale qui représente le segment oriental de la chaîne des Maghrébides (Durand-Delga, 1980).

La chaîne alpine d'Algérie orientale est constituée par la superposition de plusieurs types de série hétéropiques, définissables en général du Trias au Priabonien parfois adhérentes à un socle paléozoïque ou ancien (Vila, 1980). Dans ce dernier cas, il est de nature cristallophyllienne complexe.

La chaîne alpine d'Algérie est caractérisée par des structures en nappes à vergence Sud dominante. Ces nappes sont issues de trois domaines paléogéographiques avec du Nord vers le Sud : le domaine interne, le domaine des flysch et le domaine externe.



**Fig. 15** Schéma structural de la chaîne alpine de méditerranée occidentale. (D'après Durand-Delga, 1969).

##### III.2.2. Géologie de la wilaya de Jijel

Les formations géologiques présentes dans la wilaya de Jijel, s'étend de l'âge primaire au quaternaire :

### **III.2.2.1. Les formations de l'Ere Primaire**

Elles sont représentées par des terrains métamorphiques. Selon l'étude géologique effectuée par F. Ehrmann (1921) la description géologique est donnée par :

- un complexe de schistophyllades,
- calcaires cristallins et pegmatites,
- des micaschistes granulites,
- des micaschistes à niveaux feldspathiques,
- des micaschistes à biotite, muscovite et séricite,
- un ensemble quartzo-phyllades chloriteux et gneissiques.

### **III.2.2.2. Les formations de l'Ere Secondaire**

L'étude complétée par A. Lambert en 1949 en donne la description suivante :

**A) Le Trias** : représenté par une formation gypseuse salifère (diapir de gypse).

**B) Le jurassique** :

- *Jurassique supérieur et moyen et Lias supérieur [JL]* :

- 1- calcaires rubanés à silex,
- 2- parfois dolomitisés à la base.

- *Jurassique terminal [Js]* :

- 1- schistes rouges,
- 2- calcaires gréseux oolitiques.

- *Aptien-Néocomien [C1-8]* : schistes siliceux (poudingues vers la base).

- *Cénomaniens-Albien [C5-1]* :

- calcaires marneux en petits bancs et calco-schistes.

- *Sénonien [C9-7]* :

- 1- poudingues,
- 2- marnes schisteuses,
- 3- calcaires marneux.

### III.2.2.3. Les formations de l'Ere Tertiaire

#### A. Le néogène :

- **Le miocène marin terminal (sahélien m4) :** l'affleurement de sahélien est local, il est connu à l'est de Jijel (région de Chekfa), constitué essentiellement de marnes de couleur bleue.
- **Le miocène supérieur (Pontien m3):** formé par des dépôts continentaux de galets cailloutis, poudingues qui se trouvent mêlées à des argiles d'origine continentale, son épaisseur varie de 30 à 50 m.
- **Le miocène inférieur (burdigalien m1) :** est représenté par des marnes grises plastiques parfois sableuses ou jaunâtres par une oxydation marine. Ces marnes forment le substratum imperméable dans la région Est de Jijel. d'épaisseur de 200 à 300m.

#### B. Le Numidien (Eocène-Oligocène)

Est de type flysch et comporte des alternances de grès et d'argiles, avec une prédominance des argiles, des marnes à la base et des grès au sommet. On distingue de bas en haut la séquence suivante :

- des argiles de base à tubotoculum et de marnes,
- des grès de couleur blanche ou rouge par suite de l'oxydation des sels de fer.

### III.2.2.4. Le bassin Olistostromique de la région de Jijel

Le bassin situé entre Texanna et la ville de Jijel est composé principalement de dépôts à caractères marins d'âge Néogène (H. Djellit, 1987). La nature de ces dépôts est essentiellement olistostromique dont la série burdigalienne est de loin la plus représentée : Ainsi la série de cet âge est représentée par deux faciès,

- Un premier de nature marneuse à lentilles de gypse (renfermant des foraminifères du Miocène inférieur),
- Un deuxième surtout à caractère détritique riche en lamellibranches (partie supérieure du Miocène inférieur).

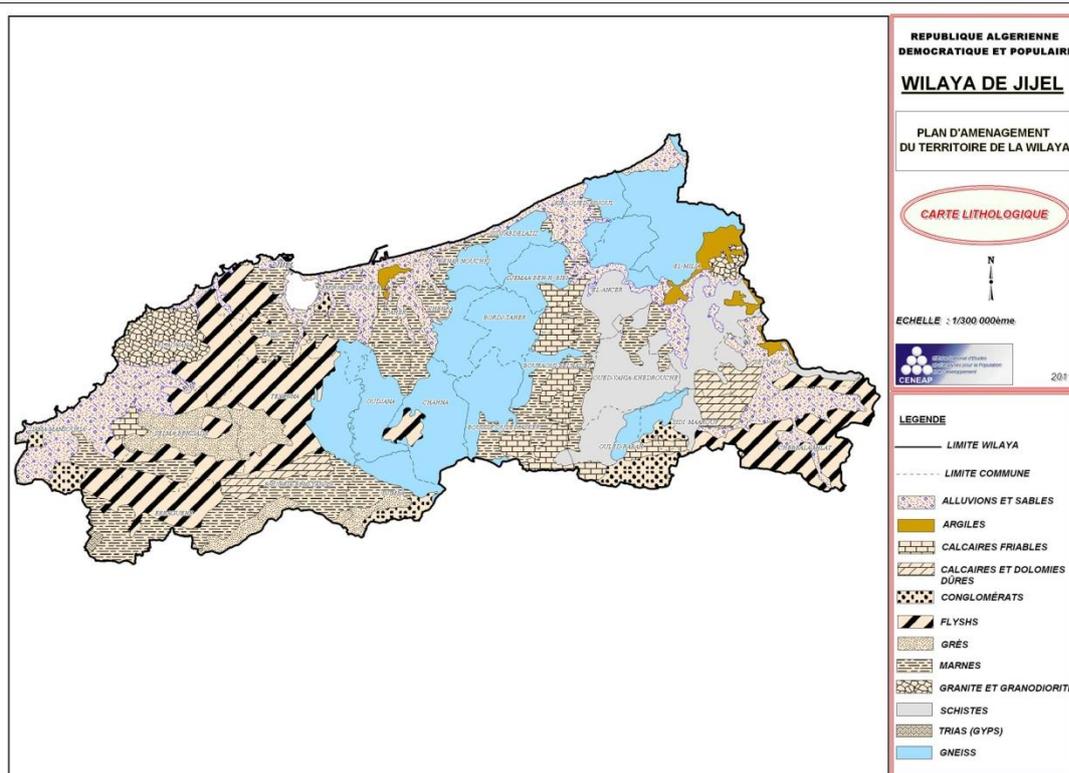
Au dessus, vient reposer un Miocène supérieur, lagunaire à marno-gréseux. La base de ces formations néogènes serait composée de marnes à galets de grès numidiens au Nord ou de molasses gréseuses au Sud. A la limite Langhien – Seravallien (14-15 Ma), cette série est "intrudée" par un magmatisme essentiellement acide.

Les formations olistostromique miocènes du bassin de Taher sont d'une épaisseur allant de 400 à 500 m.

### III.2.2.5. Les formations d'ère Quaternaire

Sont représentées par :

- **les terrasses anciennes(q)** : sont représentés par des graviers, des cailloutis, des galets qui sont très perméables et généralement aquifères, parfois les matériaux des terrasses peuvent être parallèlement cimentés et formés des conglomérats qu'on peut confondre avec ceux du Pontien.
- **les dunes anciennes (D)** : sont présentes autour de Bazoul et Tassoust. Ces dunes sont constituées des sables fins souvent consolidés, jaune rouille, limoneux, ayant une épaisseur de 20m.
- **Les alluvions récentes limoneuses (a2)** : sont des dépôts essentiellement limoneux des basses vallées, elles se développent surtout sur la rive droite de l'oued Djenjen et l'oued Nil. d'épaisseurs généralement inférieures à 20 m.
- **Les dunes récentes (d)** : forment un cordon tout le long de de la mer, leur épaisseur et de l'ordre de 15m. constituées de sables grossiers parfois consolidés.
- **Les alluvions actuelles(a)** : sont constituées de sables, galets, conglomérats et graviers. Leur épaisseur peut dépasser les 20 mètres.



**Fig.16** Carte lithologique des bassins versant de la wilaya de Jijel (DAW, 2011).

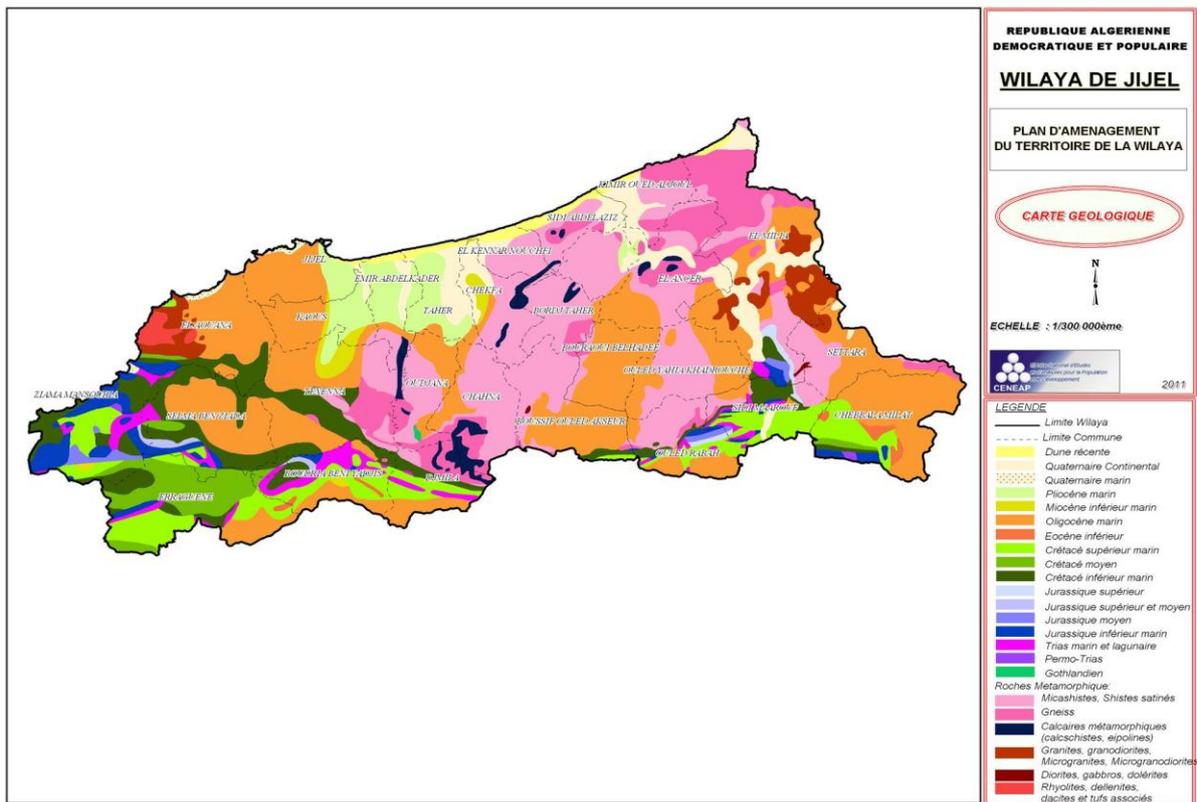


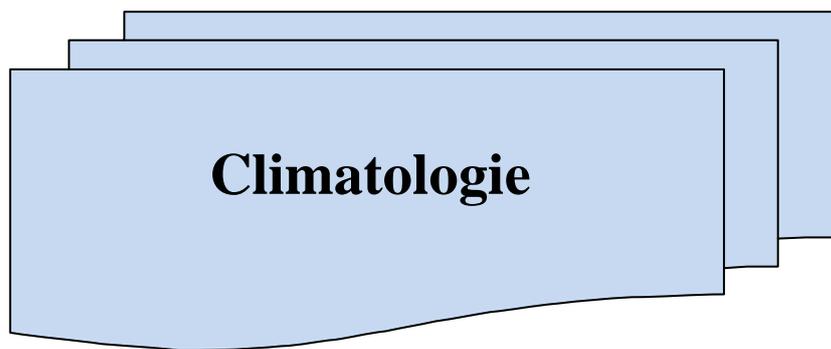
Figure 17 : Carte Géologique de la wilaya de Jijel (DAW, 2011).

### III.3. Conclusion

La wilaya de Jijel fait partie de la petite Kabylie (chaîne des Maghrébides), elle se dispose d'une variété dans les formations géologiques : sédimentaires, métamorphiques et magmatiques. Leur âge s'étend de l'ère primaire jusqu'au quaternaire.

De point de vu hydrologique et hydrogéologique, ces formations peuvent présentées des formations perméable et construire des aquifères. Leur nature géologique est variante et contient plusieurs éléments chimiques qui peuvent se dissoudre dans l'eau est donner une composition chimique à l'eau.

## **Chapitre IV**



## **IV. Climatologie**

### **IV.1. Introduction**

L'étude climatologique est très intéressante pour l'étude des eaux de surface, car c'est elle qui nous donne les valeurs des paramètres climatiques (température, évaporation, précipitation, ruissellement...) et qui sont fondamentales pour estimer les quantités d'eau ruisselées et le bilan hydrologie.

### **IV.2. Aperçu général sur le climat**

Le climat Algérien est caractérisé par la variation de la répartition des précipitations et des températures. Cette variation est due à l'influence de la mer méditerranéenne et sahariennes et des irrégularités topographiques, l'altitude et l'orientation des chaînes montagneuses de l'atlas tellien et saharien. Ces derniers jouent le rôle des barrières en face des vents désertiques du sud, cependant, l'influence des vents chargés d'humidité venant du nord subsiste ainsi qu'à la morphologie générale du pays.

Les conditions climatiques plus que d'autres facteurs jouent un rôle déterminant dans le régime des cours d'eau d'un bassin versant. La pluviométrie demeure à cet effet l'élément le plus important. La région de Jijel bénéficie d'un climat tempéré avec un hiver doux caractéristique des zones méditerranéennes, d'une pluviométrie de l'ordre de 1200 mm/ans et un été chaud où la température peut atteindre 30°C.

### **IV.3. Analyse des paramètres climatiques**

L'objectif de cette analyse est de quantifier et comparer la variation temporelle des différents paramètres climatiques à l'aide des observations des stations climatiques pour pouvoir déterminer le régime climatique de la région.

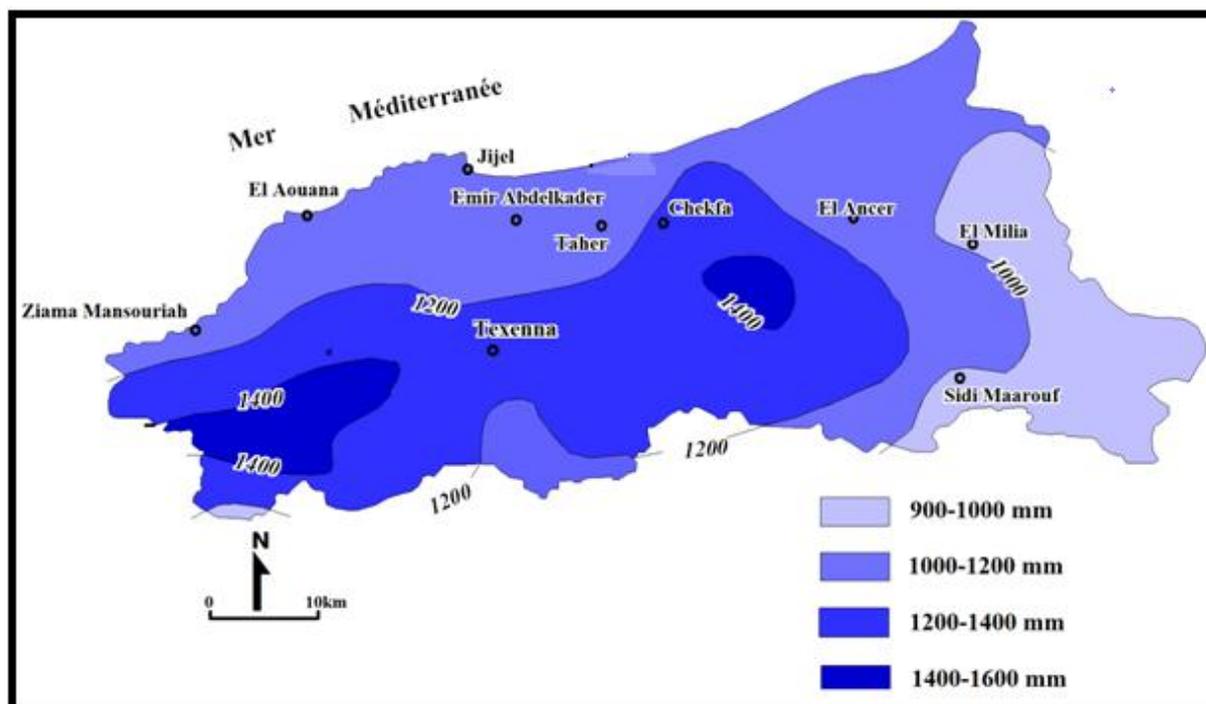
#### **IV.3.1. Pluviométrie et température**

L'étude des précipitations moyennes mensuelles ainsi que les températures a été effectuée à partir des données de la série qui s'étend de 1991-2009, observées à la station de Jijel Aéroport se trouvant à 4m d'altitude et dont la pluie moyenne annuelle avoisine 967mm.

##### **IV.3.1.1. Précipitations**

Sont dénommées précipitations toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (pluies) que sous forme solide (neige, grêle, gelée blanche), qui constituent un facteur primordial dans la régulation du comportement hydrologique de tout bassin versant et la recharge naturelle des aquifères. Elles sont provoquées par un changement de température ou pression. Elles permettent de connaître les intensités averse, les pertes d'eau sous l'effet de l'évapotranspiration et d'accomplir certaines estimations sur le ruissellement et l'infiltration.

La carte pluviométrique de la wilaya de Jijel (ANRH, 1996) est présentée dans la figure ci-dessous :



**Figure.18** Carte pluviométrique de la wilaya de Jijel (ANRH, 1996).

Cette carte montre que les précipitations varient du nord au sud selon un allongement Est-ouest sub-parallèle aux bordures Nord du pays représentés ici par la mer méditerranée. Du Nord au sommet des reliefs alentours, la carte montre clairement une nette progression de la valeur de la lame d'eau précipitée. La partie sud de la carte semble directement subir « l'effet écran » provoqué par les reliefs ou chaînes de montagne occupant les plus hautes altitudes de Jijel et sa région.

La comparaison entre la carte de précipitations moyennes annuelles réalisée par Seltzar sur la période de 1913 et 1938 et la carte de l'ANRH en 1996 (figure 19), montre une nette régression des pluies avec le temps surtout dans la partie est, sud-est et nord-ouest de la wilaya, cela peut être lié aux changements climatiques observés ces dernières années.

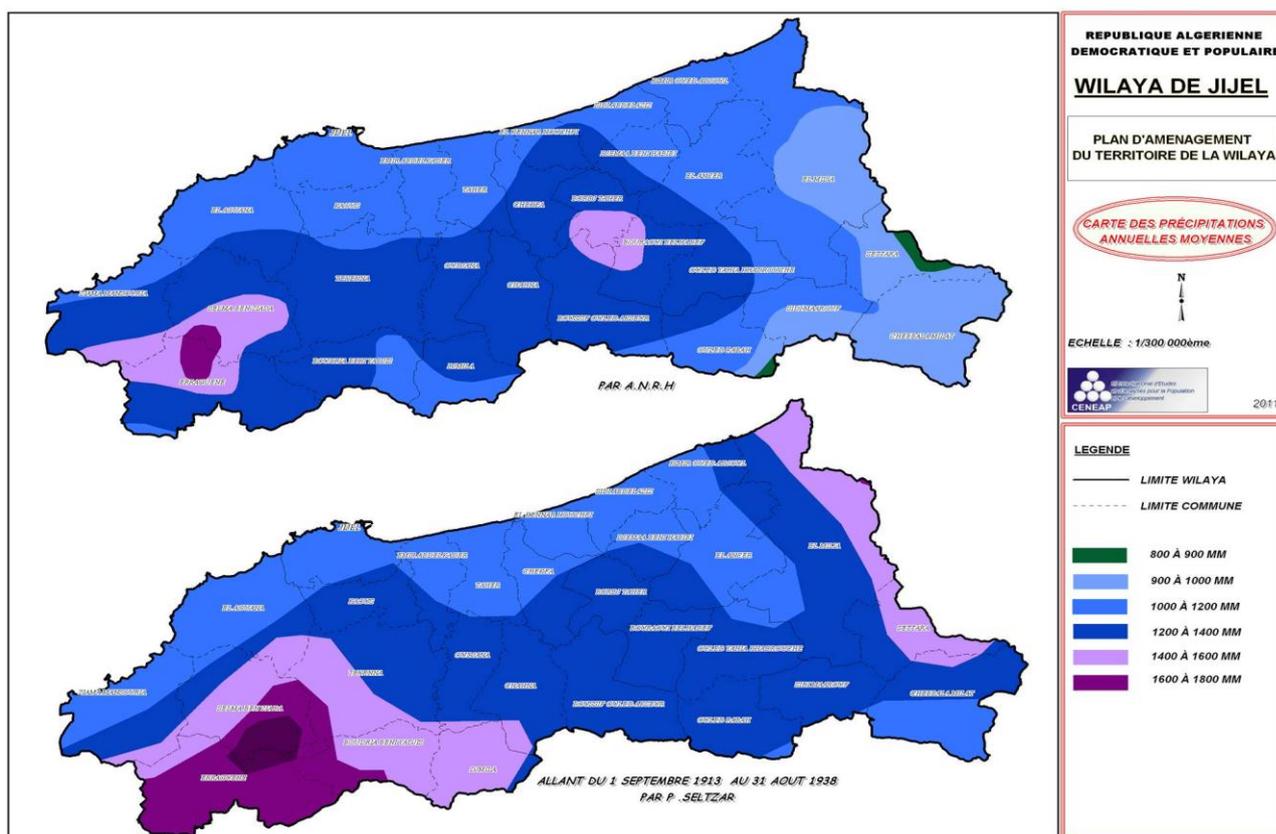


Figure 19 : Carte de précipitations annuelles moyennes.

### b) Précipitations moyennes mensuelle

La répartition mensuelle et saisonnière des précipitations durant l'année et ses variations conditionnent (en tenant compte également des facteurs thermiques et lithologiques), l'écoulement et le régime des cours d'eau. Le tableau ci-dessous donne les moyennes mensuelles et saisonnières de la station retenue pour la période 1991-2009

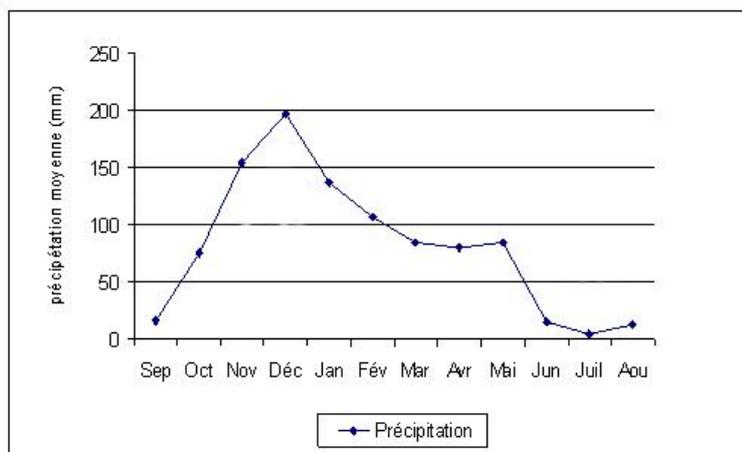
**Tableau 4-** Précipitation moyennes mensuelles et saisonnières, de la station Jijel Aéroport  
Série:1991-2009

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Aout.
Moyenne mensuelle (mm)	16.5	75.5	154.2	196.4	136.2	106.9	84.9	80	84.8	14.7	4.6	13
Moyenne saisonnière (%)	30.30%			44.50%			22.40%			2.80%		
Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté		

D'après les données du tableau on constate que la saison la plus pluvieuse est celle de l'hiver et précisément le mois de décembre avec une précipitation de 196.4 mm et la saison la moins pluvieuse est celle de l'été et précisément le mois de Juillet (avec une précipitation de 4.6 mm).

L'évolution mensuelle des précipitations est présentée dans la figure 18 montre les mois les plus pluvieux sont ceux de novembre, décembre et janvier avec des précipitations

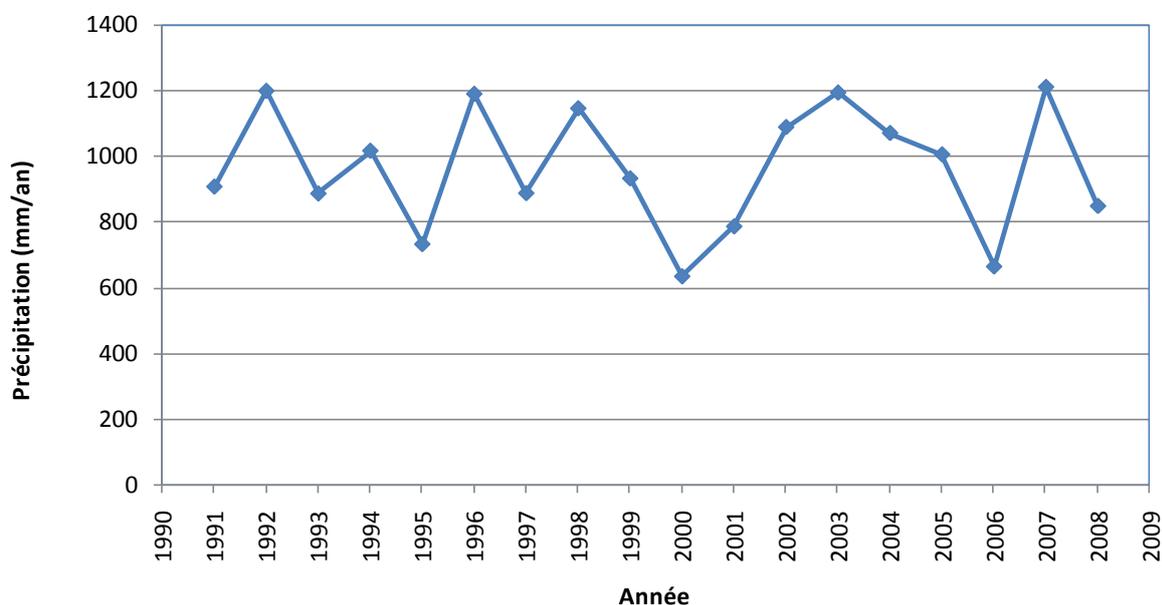
supérieures à 130 mm/mois et les mois les plus sec sont ceux de juin, juillet, août et septembre avec des précipitations inférieures à 20 mm/mois.



**Figure.20** Distribution des précipitations moyennes mensuelles, durant la période 1991-2009, station Jijel Aéroport

### c) Précipitations annuelles

L'analyse des précipitations annuelles (1991-2008) montre que la pluviométrie annuelle varie entre 635 et 1211 mm, indiquant une étendue de 576 mm.



**Figure.21** Précipitations annuelles, période 1991-2008, Station Jijel aéroport.

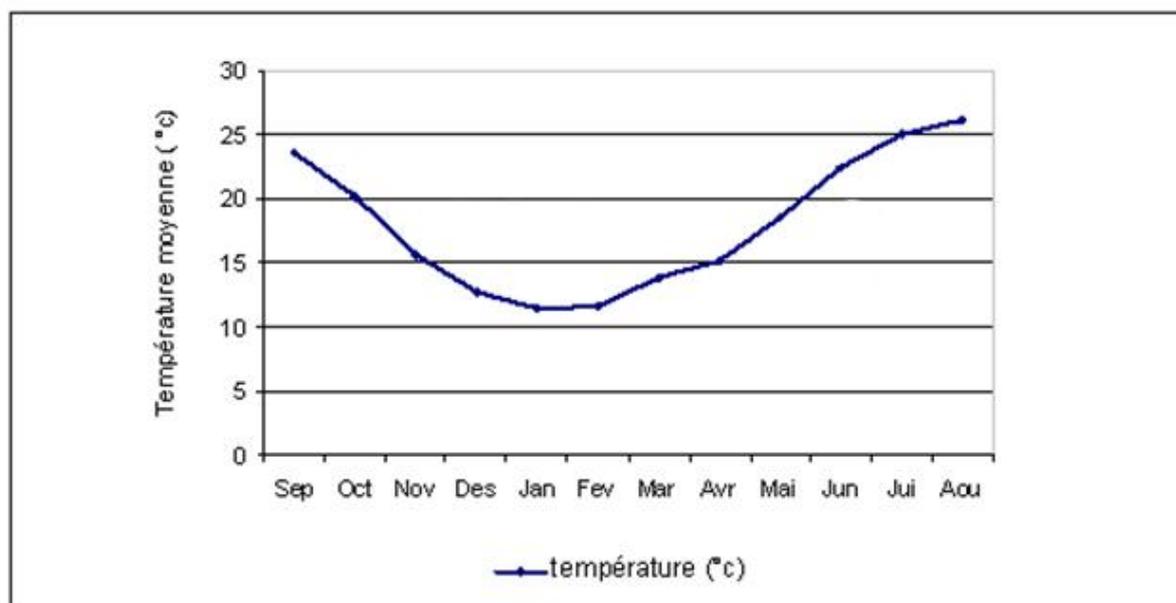
#### IV.3.1.2. Température

La température est un facteur qui contrôle le bilan hydrologique, elle constitue avec les précipitations l'élément majeur qui régit le climat d'une région. Elle a une grande influence sur le bilan hydrologique du fait de son impact sur le déficit d'écoulement et

l'évapotranspiration. Le tableau et la figure ci-dessous donne les valeurs de la température moyenne enregistrées à la station de Jijel Aéroport de 1991 au 2009 :

**Tableau 5** - Températures moyennes mensuelles et saisonnières de la station Jijel Aéroport,(1991,2009).

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Aout.
<b>Moyenne mensuelle (°C)</b>	23.6	20.2	15.6	12.8	11.4	11.6	13.8	15.2	18.6	22.4	25	26.1
<b>Moyenne saisonnière (°C)</b>	19.8			11.9			15.8			24.5		
<b>Saison</b>	Automne			Hivers			Printemps			Eté		



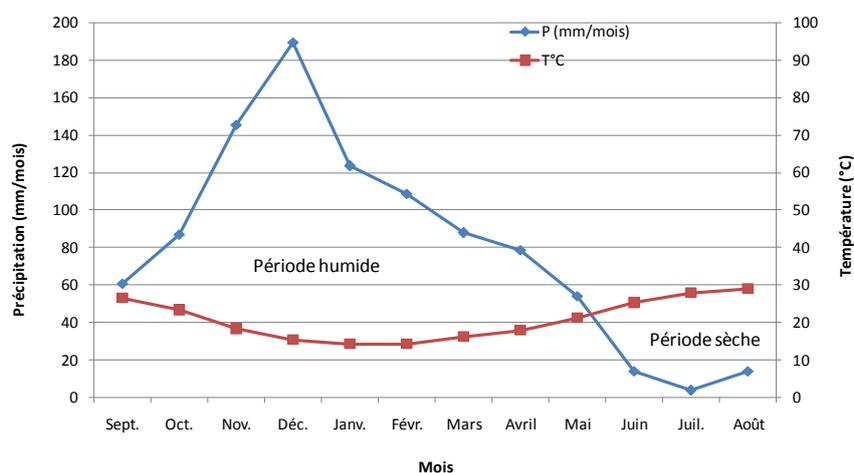
**Figure.22** Température moyenne mensuelle de la station Jijel Aéroport, 1991-2009.

La série d'observation allant de 1991 à 2009 montres que le mois le plus frais est le mois de Janvier avec une moyenne de l'ordre de 11,4 C°, tandis que le mois le plus chaud est celui d'Août avec une moyenne équivalente à 26,1 C°.

#### IV.3.1.3. Relation température – précipitation (Diagramme ombrothermique)

Le diagramme ombrothermique résulte de la combinaison des deux paramètres climatiques principaux, en l'occurrence les précipitations et la température. Cette relation permet d'établir un graphique ombrothermique sur lequel les températures sont portées à l'échelle double des précipitations. Le diagramme ombrothermique permet de déterminer les mois les plus secs correspondants selon la définition de Gausson et Bagouler au mois ou les précipitations moyennes sont inférieures ou égales au double de la température moyenne ( $P \leq 2T$ ).

Lorsque la courbe des précipitations passe au-dessus de celle des températures, la période correspondante est excédentaire. Par contre, si la courbe des températures passe au-dessus de celle des précipitations, la période sera déficitaire. Le diagramme ombrothermique permet de donner une idée générale sur la période sèche et la période humide. D'après le graphique établi sur les données de la station Jijel Aéroport (1991-2008), il en ressort que la période d'été débute au mois de mai et s'étale jusqu'au mois de Septembre et la période pluvieuse débute au mois de septembre et s'étale jusqu'au mois de mai.



**Figure.23** Diagramme Ombrothermique

#### IV.3.1.4. L'aridité :

L'aridité est exprimée par l'indice d'aridité d'E.Martonne (*Beltrando, 1995*) que l'on peut calculer à partir de la formule suivante : 
$$I = \frac{P}{T_{moy} + 10}$$

Avec :  $I$  : indice d'aridité de E. Martonne ;  $P$  : précipitations moyennes annuelles (mm) ;  
 $T_{moy}$  : Température moyenne annuelle (C°).

L'indice est d'autant plus bas que le climat est plus aride ; Lorsque :

$I < 10$  : la région devient très sec (très aride) ;       $I < 20$  : la région est sec (aride).

$I < 30$  : la région est humide ;       $I > 30$  : la région devient très humide.

Pour la région d'étude : 
$$I = \frac{967.4}{18 + 10} \quad I = 34.55$$

La valeur de l'aridité dans notre région est de l'ordre 34.55, on peut le classer dans la catégorie de région très humide.

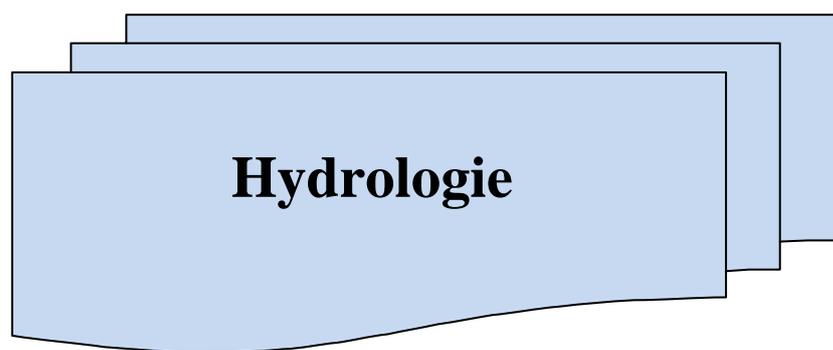
#### **IV.4. Conclusion**

La région de Jijel bénéficie d'un climat tempéré avec un hiver doux, d'une pluviométrie de l'ordre de 1200 mm/ans et un été chaud où la température peut atteindre 30°C.

La comparaison entre la carte de précipitations moyennes annuelles de 1913 et 1938 et la carte de l'ANRH en 1996 a montré une nette régression des pluies avec le temps, cela peut liée aux changements climatiques observés ces dernières années.

Selon le diagramme ombrothermique, la période sec les mois de juin à septembre et la période pluvieuse du mois de septembre à mai. La valeur de l'aridité est de l'ordre 34.55, indiquant une région très humide.

## **Chapitre V**



## **V. Hydrologie**

### **V.1. Introduction :**

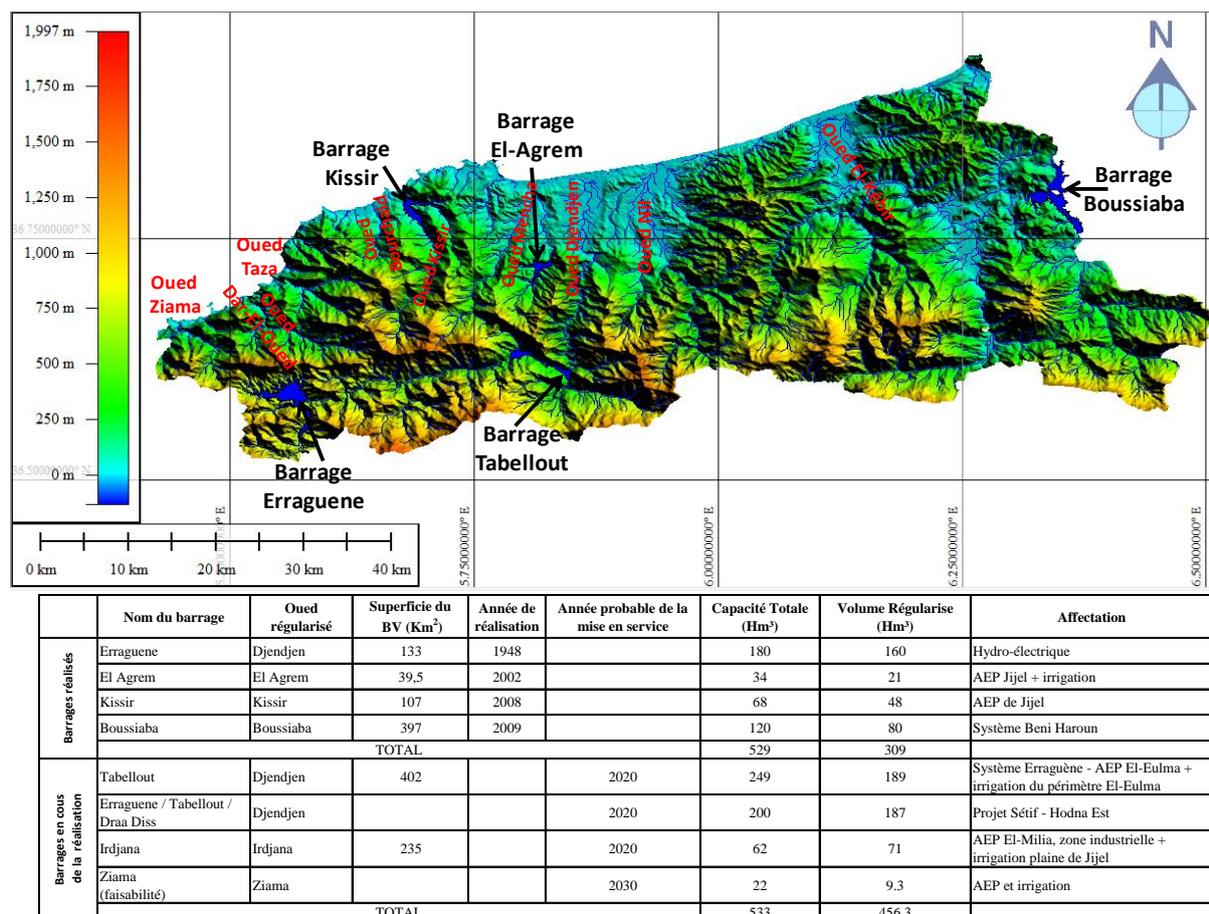
Le territoire de la wilaya de Jijel s'inscrit dans deux bassins versants : le bassin versant de l'oued El Kébir Rhumel (B.V n°10) et le bassin des côtiers constantinois (BV n°3). Les plaines côtières proches de Jijel sont drainées principalement d'Ouest en Est par les Oueds Kissir, El Kantara, Mencha, Djendjen et Nil.

La wilaya de Jijel se place parmi les wilayas les plus aptes à satisfaire leur propre besoin en eau et à apporter leur soutien aux wilayas déficitaires, dans le cadre de solidarité entre territoires. La ressource hydrique superficielle apparaît que le sol de la zone d'étude est en grande partie formée sur la surface favorisant ainsi les écoulements superficiels. Les réseaux hydrographique dense et renfermant des oueds importants sont charrient un total approximatif -1 200 Hm<sup>3</sup> par an, dont 758 Hm<sup>3</sup> mobilisables (63%). Les mobilisations actuelles sont estimées 326,57 Hm<sup>3</sup> (DHW).

Dans ce chapitre nous avons décortiqué les séries pluviométriques et hydrométriques en plusieurs épisodes extrêmes, ce qui va nous permettre d'étudier et appréhender la genèse du ruissellement et des apports en cas de pluie extrême.

### **V.2. Réseau hydrographique**

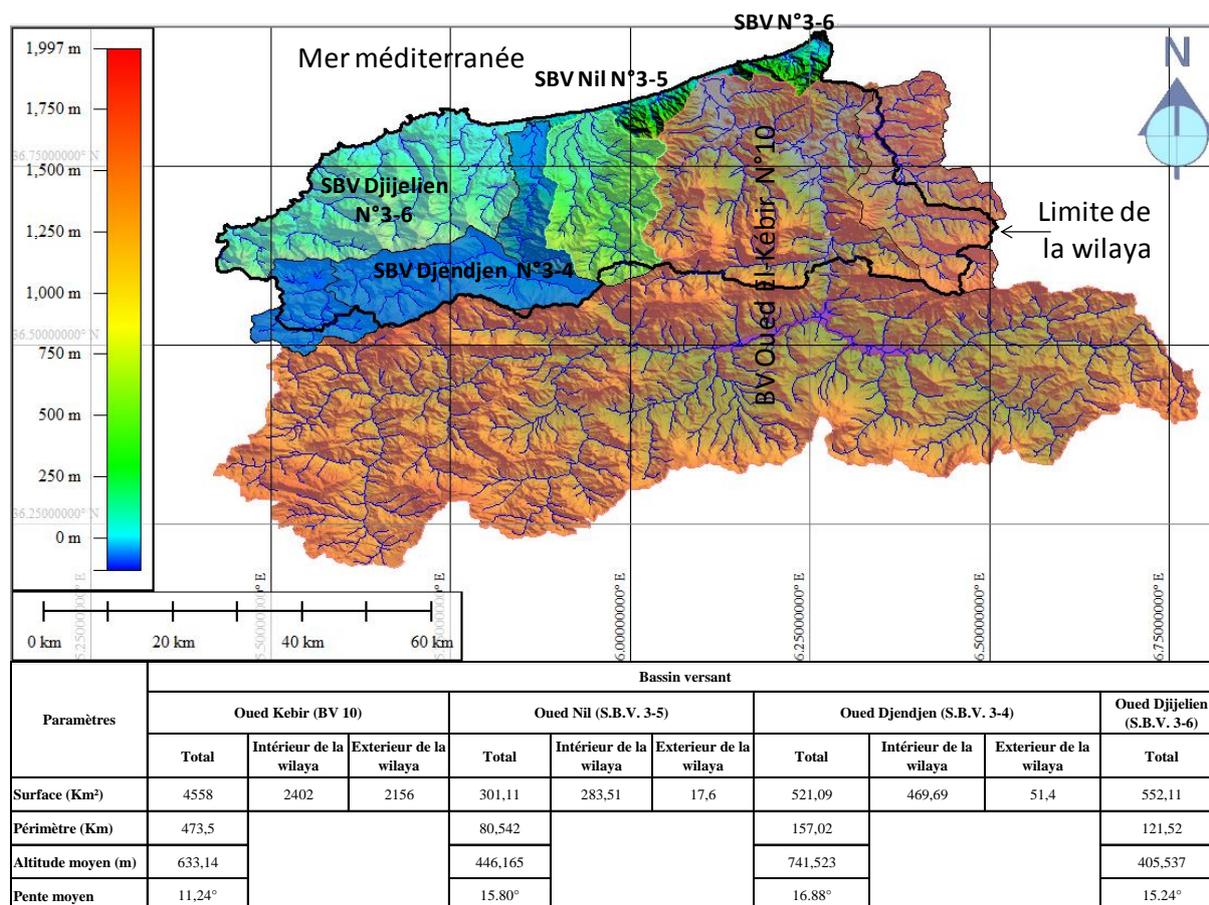
Le réseau hydrographique de la wilaya est très dense (figure 4). Il est présenté principalement par l'oued El-Kébir, l'oued DjenDjen et l'oued Nil. L'écoulement des eaux de surface se fait des montagnes vers la mer, indiquant une perte importante en eaux. Pour récupérer ces eaux, plusieurs barrages sont installés sur le parcours des oueds (figure 23).



**Figure.24** : Réseau hydrographique et barrage de la wilaya de Jijel.

### V.3. Bassins versants

La wilaya de Jijel est subdivisée en deux grands bassins versant (figure 25) : le bassin versant d'oued El-Kébir Rhumel (B.V n°10) et Le bassin versant des bassins côtiers Constantinois (B.V. n°03). Ce dernier est présenté dans la wilaya de Jijel par quatre sous bassins versants : le sous bassin versant Jijelien (S.B.V. n°03-03) ; le sous bassin versant d'oued Djendjen (S.B.V. n°03-04) ; le sous bassin versant d'oued Nil (S.B.V. n° 03-05) et le sous bassin versant d'oued Zhor (S.B.V. n°03-06).



**Figure.25** Bassins versants de la wilaya de Jijel.

Cette figure montre que la wilaya de Jijel contient trois BV principaux :

- Le BV d'oued El-Kébir, il est le plus important avec une superficie de 4558 Km<sup>2</sup>, dont 2156 Km<sup>2</sup> (47%) à l'extérieur de la wilaya. Cela est bénéfique pour la wilaya de Jijel car il apporte d'autres apports d'eau de l'extérieur de la wilaya. L'installation du barrage Beni-Haroune sur le parcours de l'oued (proche de la frontière entre Mila et Jijel, figure 25) a privé l'oued d'une superficie de 1761 Km<sup>2</sup> et le barrage de Boussiaba (sur la frontière entre Skikda et Jijel) a privé l'oued d'une superficie de 395 Km<sup>2</sup>. Ces deux barrages ont limité considérablement les apports d'eau et il reste seulement les lâchés d'eau des deux barrages et les apports des affluents d'oued qui se trouvent à l'intérieur de la wilaya (2402 Km<sup>2</sup>).
- Le BV d'oued DjenDjen, il s'étend sur une superficie de 521 km<sup>2</sup>, dont 51,4 km<sup>2</sup> (10%) à l'extérieur de la wilaya. Le barrage d'Erraguene privera l'oued d'une superficie de 134,5 km<sup>2</sup> et le barrage de Tabellout, qui est en cours de réalisation, privera l'oued d'une superficie de 269,5 km<sup>2</sup> (figure 25). Au total ces deux barrages priveront l'oued Djendjen d'une superficie de 404 Km<sup>2</sup>. Après la finalisation du barrage de Tabellout, l'oued de Djenjen sera alimenté seulement par les lâchés d'eau du barrage de Tabellout et les affluents de la partie aval de l'oued (117 Km<sup>2</sup>).
- Le BV d'oued Nil, il a une superficie de 301 km<sup>2</sup>, dont 17,6 Km<sup>2</sup> (5,8 %) à l'extérieur de la wilaya. Il est le seul bassin versant qui est resté sur son état naturel et sans l'influence des barrages.

## V.4. Détermination du ruissellement

### V.4.1. Introduction

Dans la wilaya de Jijel, il n'y'a pas de formule expérimentale pour estimer le ruissellement, seulement les formule empirique (Tixeront-Berkaloff,...) sont utilisées. Même ces dernière n'ont pas été vérifié, vu le manque des stations de jaugeage.

Dans cette partie, nous allons estimer les apports du ruissèlement en fonction des précipitations. Pour atteindre cet objectif, nous avons utilisé les données du barrage de Kessir.

### V.4.2. Présentation du site expérimental

#### a) Situation géographique

Le barrage de Kessir se situe approximativement à 14 Km à l'ouest de la ville de Jijel. Son réservoir se développera vers la direction SSE, le long de la vallée de l'oued Kessir et vers l'Est, le long de la vallée de son affluent l'oued Takielt. Les caractéristiques de la retenue sont présentées comme suit :

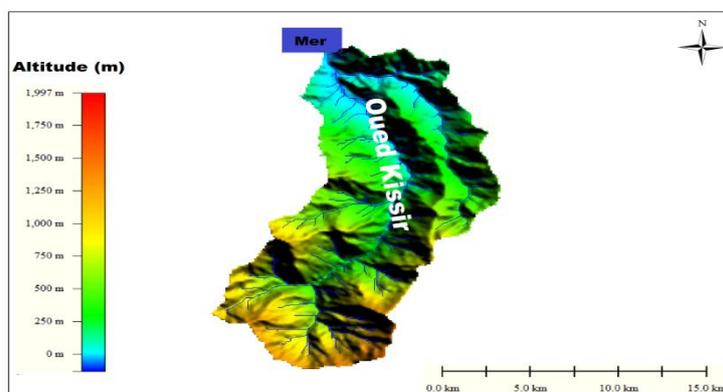
- Volume total de la retenue 68,00 Hm<sup>3</sup>
- Volume utile de la retenue 56,00 Hm<sup>3</sup>
- Volume régularisé 48,00 Hm<sup>3</sup>
- Volume mort 12,00 Hm<sup>3</sup>
- Côte des plus baissent eaux 19,50 m
- Côte d'envasement 15,50 m
- Côte du terrain naturel 0,38 m NGA
- Longueur du lac 4,2 Km



**Figure.26** Situation géographique du barrage de Kessir (Google Earth).

**b) Aspect géomorphologique :**

Le relief topographique du site est un étranglement assez accentué dont les flancs sont constitués de grands affleurements rocheux irréguliers.



**Figure 27:** S.S.B. d’oued Kissir.

Les caractéristiques morphologiques du BV sont présentées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau06-** caractéristiques morphologiques du BV

Paramètres	Surface (Km <sup>2</sup> )	Périmètre (Km)	Altitude moyen (m)	Pente moyen	Longueur d’oued principale(Km)	Altitude Min-X	Altitude Min-Y	Altitude Max-X	Altitude Max-Y
BV Oued Kissir	107	109.06	520.053	15.28°	20.443	5.678	36.796	5.698	36.796

**c) Aperçu climatique**

Le bassin versant de l’oued Kissir, se trouve dans la zone méditerranéenne avec un climat subtropical caractérisé par un été chaud et sec et un hiver relativement humide. Les valeurs des facteurs climatologiques, (2011) sont présentes ci-dessous :

**Tableau07 -** caractéristiques climatique du BV

Précipitation moyenne annuelle (mm)	Température moyenne annuelle (°C)	Humidité annuelle moyenne relative (%)	Evaporation moyenne annuelle (mm)
1255	16.9	76	1183

**V.4.3. Estimation du ruissellement**

Le ruissellement a été évalué par la formule de Tixeront-Berkaloff. Deux formules sont proposées en fonction des précipitations :

- si :  $P < 600 \text{ mm}$ ,  $R = P^3 / (3 * ETP^2)$  (Formule de Tixeront Berkaloff) ;

- si :  $P > 600 \text{ mm}$ ,  $R = (0.01 * P)^3 / 3$ , (Formule de Tixeront Berkaloff modifiée par Romantchouk (1974) in Chibane et al., 2005).

Avec : R : ruissellement en (mm) ; P : précipitation moyenne annuelle de la station de Kissir en (mm) ; ETP : évapotranspiration potentielle en (mm).

On a pour l'année 2015 : P annuelle = 574.4 mm, ETP = 764.58 mm

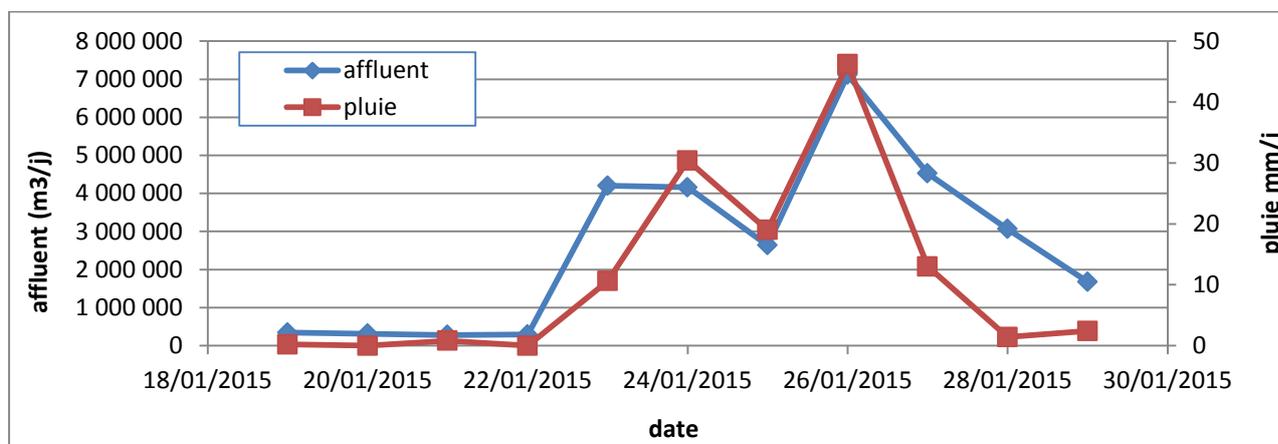
Les ruissellements valent donc:

$$R = \frac{574.4^3}{3(764.58)^2} = 162.1 \text{ mm/an}$$

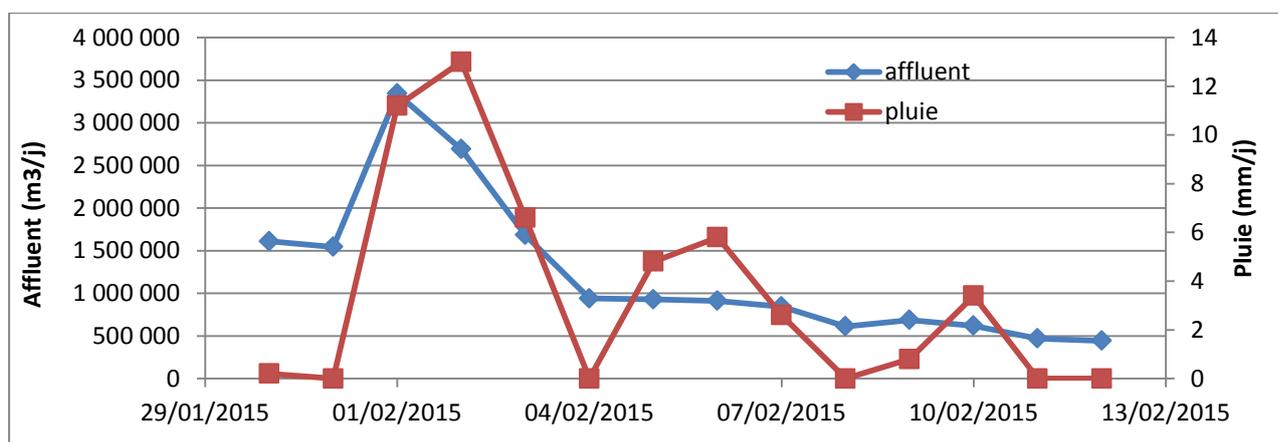
### V.4.3. Evolution du ruissellement en fonction des pluies

Dans cette partie nous allons étudier l'évolution de la lame d'eau ruisselée en fonction des précipitations. Pour atteindre cet objectif, nous avons étudié l'évolution du volume d'eau (affluent) dans le barrage de Kissir en fonction des précipitations durant 7 épisodes pluviométriques de l'année 2015 (figure 28).

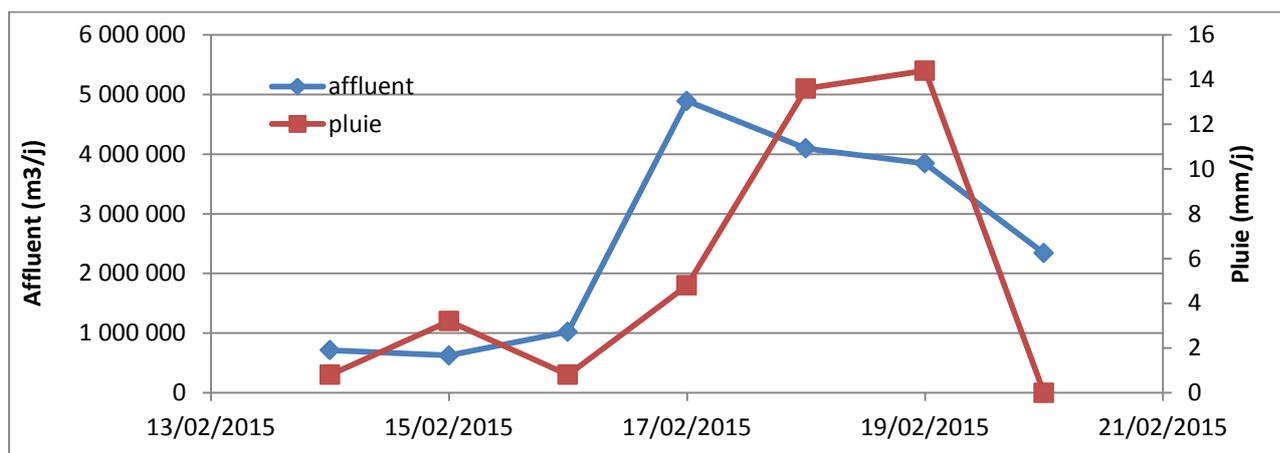
#### Episode 1 : 19/01/2015 au 29/01/2015



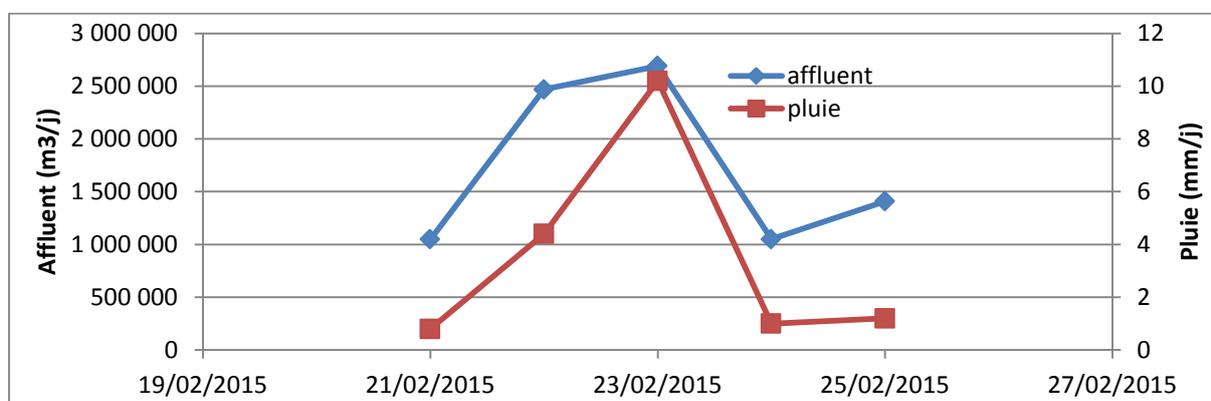
#### Episode 2 : 30/01/2015 au 12/02/2015



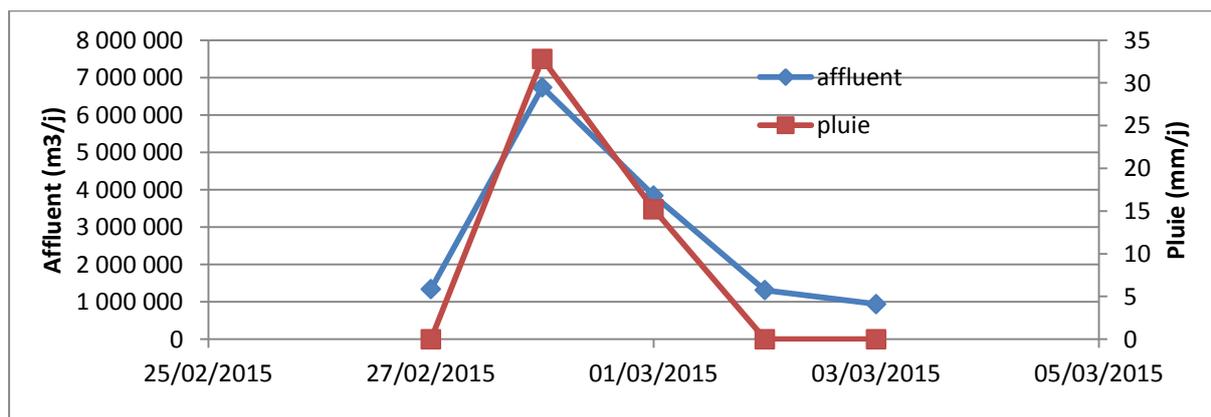
**Épisode 3 : 14/02/2015 au 20/02/2015**

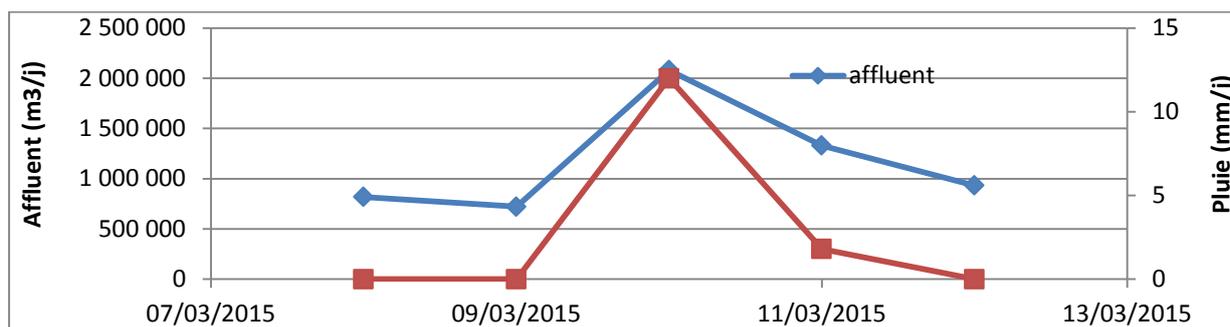
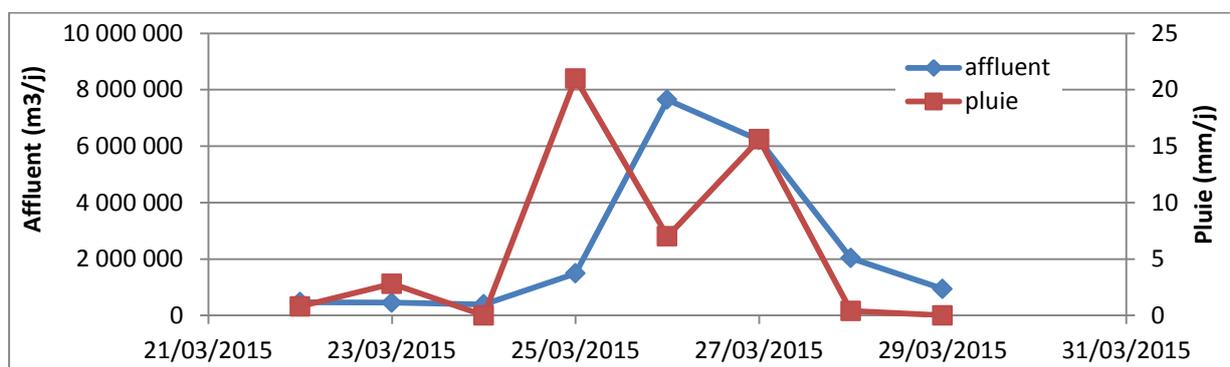


**Épisode 4 : 21/02/2015 au 25/02/2015**



**Episode 5 : 27/02/2015 au 03/03/2015**



**Episode 6 : 08/03/2015 au 12/03/2015****Episode 7 : 22/03/2015 au 29/03/2015****Figure. 28:** Evolution du volume des affluents en fonction de 7 épisodes pluvieux

Cette figure montre une bonne corrélation entre les pluies et les apports du barrage. On constate qu'il y a un décalage entre le pic de l'hyétogramme et celui de l'hydrogramme, ce phénomène peut être expliqué par le temps que nécessite l'écoulement à atteindre l'exutoire (le barrage), c'est-à-dire le temps de concentration. Pour les épisodes 4, 5 et 6, le temps de concentration ne dépasse pas 24h, sûrement cela est lié à la saturation du sol par l'eau.

**V.4. Détermination de la relation pluie - ruissellement**

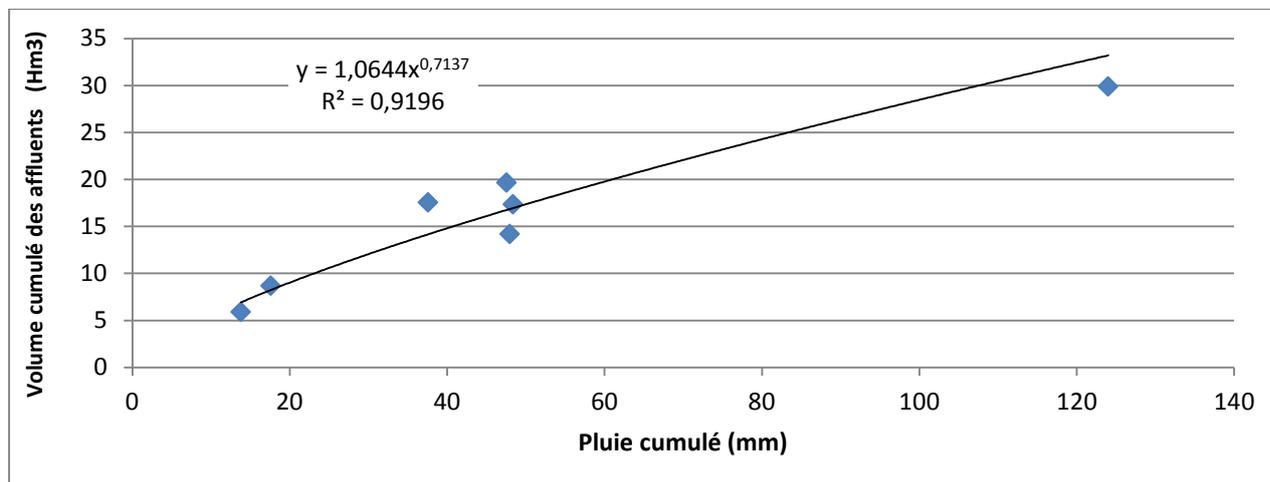
Pour trouver la relation entre la pluie et le ruissellement, nous avons travaillé à l'échelle de l'épisode pluvieux. Volume cumulé des affluents (ruissellement) en fonction des pluies cumulées.

**Tableau 08-** Le volume ruisselé et les pluies cumulées des épisodes pluvieux

Episode	Période	Volume cumulé des Affluents (m <sup>3</sup> )	Pluie cumulé (mm)	Volume cumulé des Affluents (hm <sup>3</sup> )
1	20/1/15 - 30/1/15	29 873 840,40	124,00	29,8738404
2	30/1/15 - 12/2/15	17 326 179,90	48,39	17,3261799
3	14/2/15 - 20/2/15	17 534 233,00	37,59	17,5342330

4	21/2/15 - 25/2/15	8 667 505,82	17,60	8,6675058
5	27/2/15 - 3/3/15	14 173 419,20	48,00	14,1734192
6	8/3/15 - 12/3/15	5 882 366,79	13,79	5,8823668
7	22/3/15 - 29/3/15	19 641 955,10	47,59	19,6419551

La corrélation entre le volume des affluents (ruissellement) et les pluies, nous a permis de trouver une relation en puissance (figure29)



**Figure.29-** corrélation entre le volume des affluents (ruissellement) et la pluie.

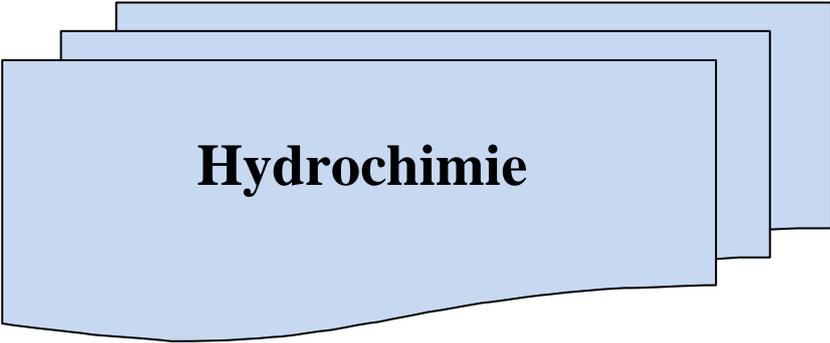
Cette figure montre une bonne corrélation entre la pluie et le ruissellement et que cette équation peut être utilisée pour l'estimation des apports d'eau du barrage de Kissir.

## V.5. Conclusion

Ce chapitre nous a permis de donner un aperçu général sur le réseau hydrologique de la wilaya de Jijel, les oueds principaux de la wilaya ainsi que l'effet des barrages sur les apports des oueds dans la partie aval.

L'utilisation des apports du barrage dans la détermination de l'évolution et de la relation pluie – ruissellement nous a permis de déterminer un temps de retard égal ou inférieur à une journée ainsi qu'une équation de type puissance qui relie le ruissellement au pluie.

## **Chapitre VI**



**Hydrochimie**

## **VI. Hydrochimie**

### **VI.1. Introduction**

La chimie d'une eau des rivières est caractérisée par l'existence de nombreuses substances, dissoutes ou en suspension, que l'on trouve dans la nature (bicarbonates, sulfates, sodium, calcium, magnésium, potassium, azote, phosphore, aluminium, fer, etc.). Ces éléments proviennent du sol et du sous-sol, de la végétation, des précipitations et des eaux de ruissellement drainant le bassin versant, ainsi que des processus biologiques, physiques et chimiques ayant lieu dans le cour d'eau lui-même. A ces substances d'origines naturelles s'ajoute des produits découlant de la simple présence humaine (phosphore, azote et microorganismes contenus dans les eaux usées domestiques) ou des activités industrielles et agricoles (substances toxiques, métaux, pesticides).

La composition chimiques des eaux de surface est utilisée souvent comme un indicateur du cheminement de l'eau depuis la pluie jusqu'à l'aval de l'oued. Elle permet de déterminer l'origine de chaque élément chimique et son évolution le long de l'oued.

La qualité des eaux est très importante pour les eaux de surface, car cette eau est souvent utilisée pour l'irrigation et la plus part des forages sont implantés sur les rives des oueds ce qui présente un risque de pollution des captages dans le cas où il y'a une relation oued-nappe.

L'objectif de ce travail est la détermination la qualité des eaux des oueds de la wilaya de Jijel.

### **VI.2. Matériel et méthodes**

#### **VI.2.1. Stratégie de prélèvement**

La présente étude a été menée afin de déterminer la qualité physico-chimique des eaux des oueds. Pour atteindre cet objectif, nous avons fait deux prélèvements (amont et aval) dans les oueds importants, situé dans la partie est de la ville de Jijel ; et un seul prélèvement (aval) dans les oueds moins importants, situés dans la partie ouest de la ville de Jijel (figure 30).

Alors on prend des échantillons de l'aval et l'amont des oueds de la wilaya de Jijel (NE algérien), durant la période de 15 au 17 avril 2016 au total 34 oued (amont et aval) pour mesurer les paramètres physico-chimiques (T, pH, Eh, conductivité, TDS.SO4.Cl. Na), les substances indésirables (Fe. NH4. PO4.NO3.NO2).

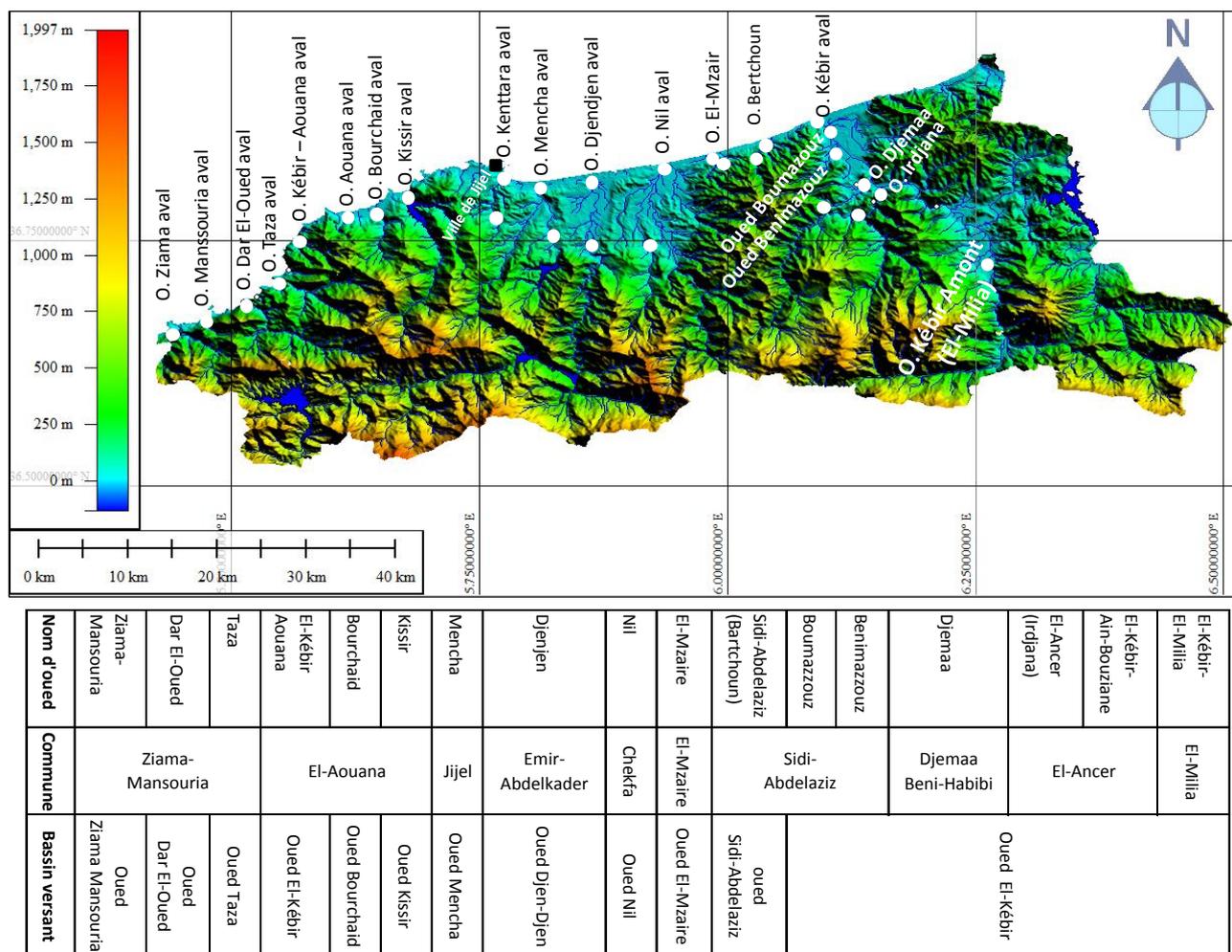


Figure.30 Position des points de prélèvements.

### VI.2.2. Mesures in-situ

Les mesures effectuées sur le terrain concernent les paramètres physico-chimiques : température (T°C), potentiel d'hydrogène (pH), conductivité électrique (CE), Potentiel d'oxydoréduction (Eh) et la Salinité. Elles ont été faites immédiatement après prélèvement de l'échantillon d'eau, à l'aide du multi- paramètres WTW 350i et un pH mètre de marque Mettler Toledo.



Figure.31 Multi-paramètres (WTW 305i) et pH-mètre (Mettler Toledo).

### VI.2.3. Analyses des éléments chimiques

Une analyse complète des éléments chimiques a été effectuée : éléments majeurs ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{HCO}_3^-$ ) et le cycle de l'azote ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  et  $\text{NH}_4^+$ ). Trois méthodes d'analyses ont été utilisées :

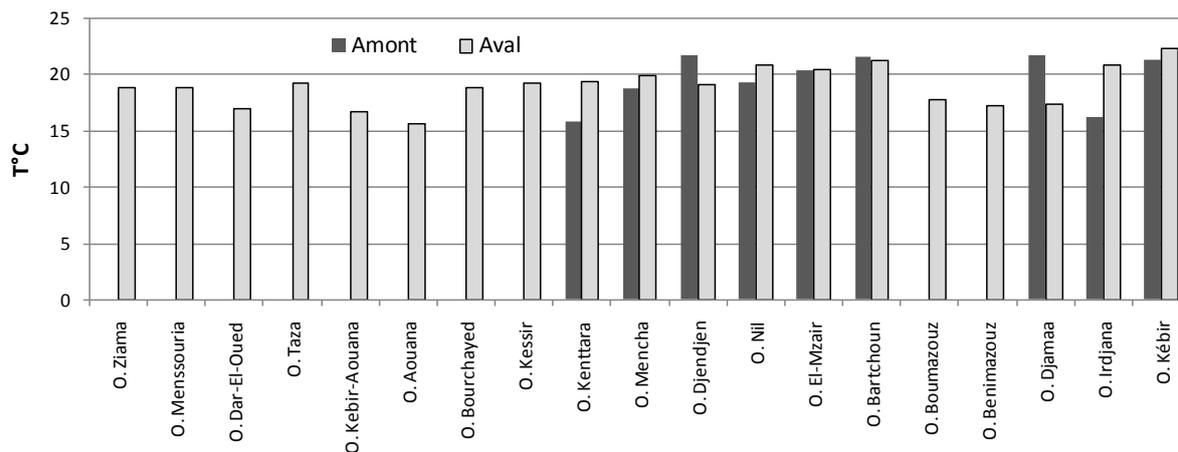
- **Volumétrie** : Avec cette méthode, nous avons dosé le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), la dureté totale ( $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ ), les chlorures ( $\text{Cl}^-$ ) et les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ).
- **Spectrophotométrie** : Nous avons dosé les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ), le fer, et le phosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ).
- **Flamphotométrie** : Nous avons dosé le sodium ( $\text{Na}^+$ ) et le potassium ( $\text{K}^+$ ).

### VI.3. Résultats et discussion

#### VI.3.1. Paramètres physico-chimiques

##### VI.3.1.1 La température :

La température de l'eau joue un rôle important dans la modification des propriétés physiques et chimiques. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels, ...etc.



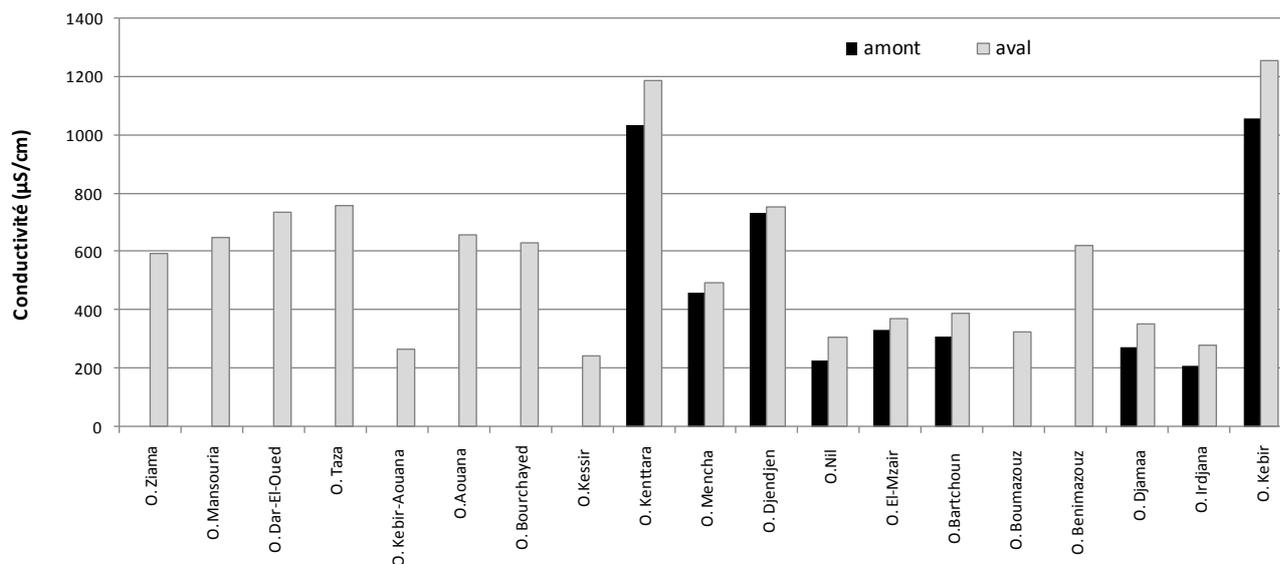
**Figure.32** Température des oueds (parties amont et/ou aval) de la wilaya de Jijel.

D'après cette figure, on remarque que la température varie entre 15.8°C (oued kenttara) et 22.3 °C (oued Kébir), partie aval. Vu le contact des eaux de surface avec l'air, elle est donc très influencée par les variations de la température de l'air.

### VI.3.1.2. Conductivité électrique :

La conductivité électrique est probablement l'une des plus simples et plus importantes pour le contrôle de la qualité des eaux résiduaires. Elle est très utilisée en hydrogéologie et elle est en fonction de la concentration en espèces ionisés, principalement de nature minérale.

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure ci-dessous :



**Figure.33** Conductivité des oueds (parties amont et/ou aval) de la wilaya de Jijel.

Cette figure montre que les oueds Kébir et Kenttara sont les plus minéralisées et présentent une conductivité supérieure à 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , sûrement liée à l'importance du BV de l'oued Kébir et à la présence des zones urbains sur le parcours de l'oued Kenttara. Le reste des oueds ont une conductivité inférieure à 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . D'une manière générale la conductivité des oueds est inférieure à la norme algérienne (2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

La comparaison entre la partie amont et aval, on observe que la conductivité de la partie aval est supérieure à celle de l'amont, indiquant l'existence d'autres apports d'eau chargé ou la dissolution d'autres formations géologique à l'aval.

### VI.3.1.3. Potentiel d'hydrogène (pH)

C'est un paramètre qui détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau ainsi que l'état d'équilibre des éléments chimiques dans les diagrammes Eh-pH. Le pH correspond à la concentration d'ions hydrogènes

Les mesures du pH dans les eaux des oueds de la wilaya de Jijel sont présentées dans la figure ci-dessous :

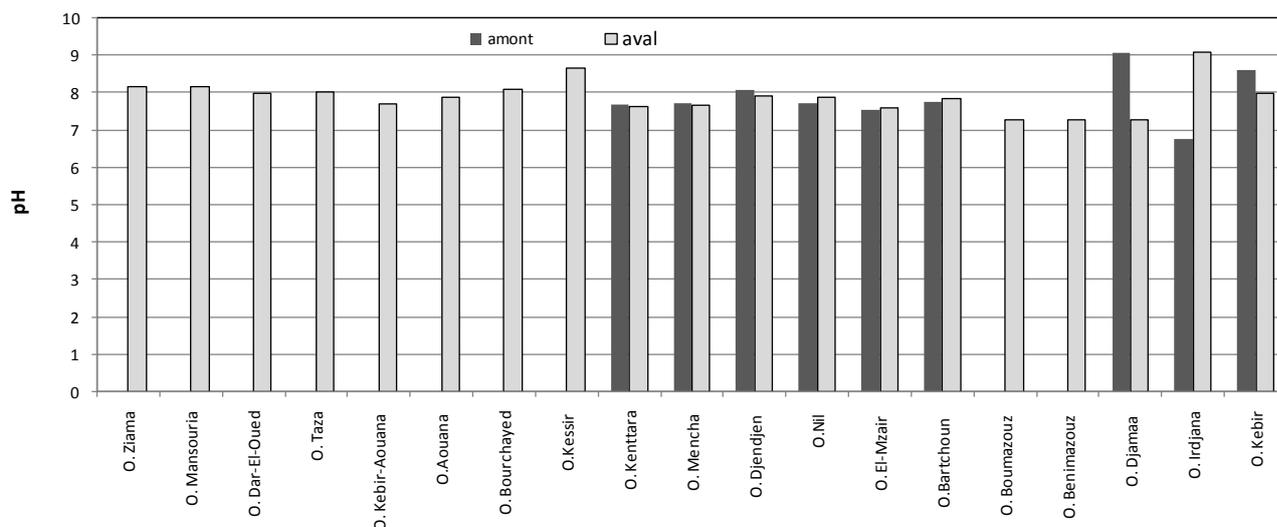


Figure.34 pH des oueds (parties amont et/ou aval) de la wilaya de Jijel

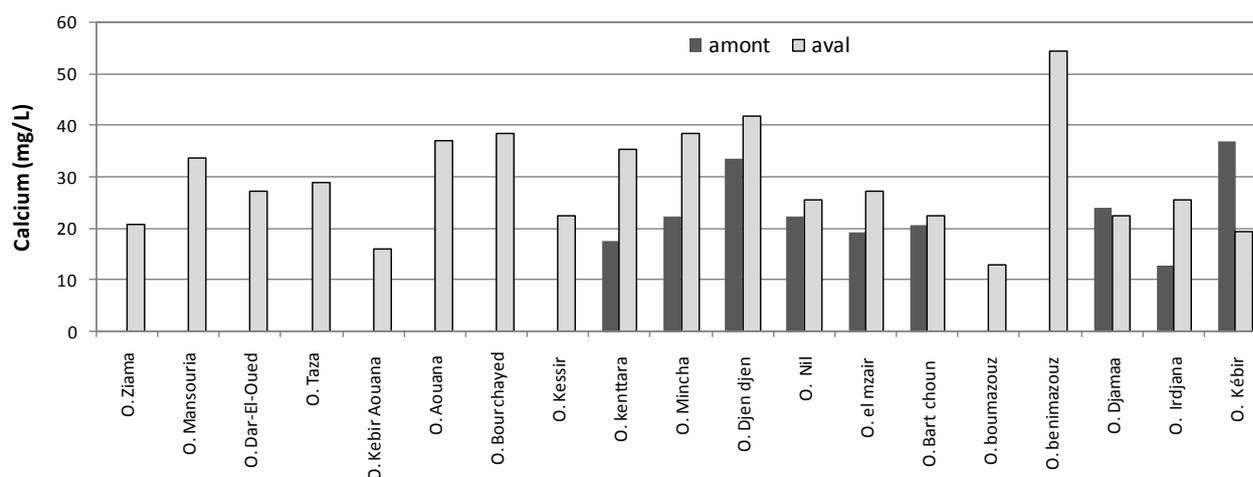
Cette figure montre que les eaux des oueds sont basiques, à l'exception de l'oued Irdjana (partie amont) qui présente un pH acide (6.78). Les valeurs les plus élevées sont observées ç oued Kébir, Irdjana aval, Djamaa et Kissir avec des valeurs qui varient entre 8 et 9. D'une manière générale, les valeurs de PH sont dans les normes (6.5-8.5).

## VI.3.2. Eléments majeurs

### VI.3.2.1. Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )

C'est un élément de la dureté totale dominant des eaux naturelles. Il provient essentiellement de la dissolution des formations carbonatées. La concentration maximale admissible fixée par l'OMS est de 75 mg/l pour l'AEP, et de 150 mg/l pour l'irrigation.

Les résultats de l'analyse chimique sont présentés dans la figure suivante :



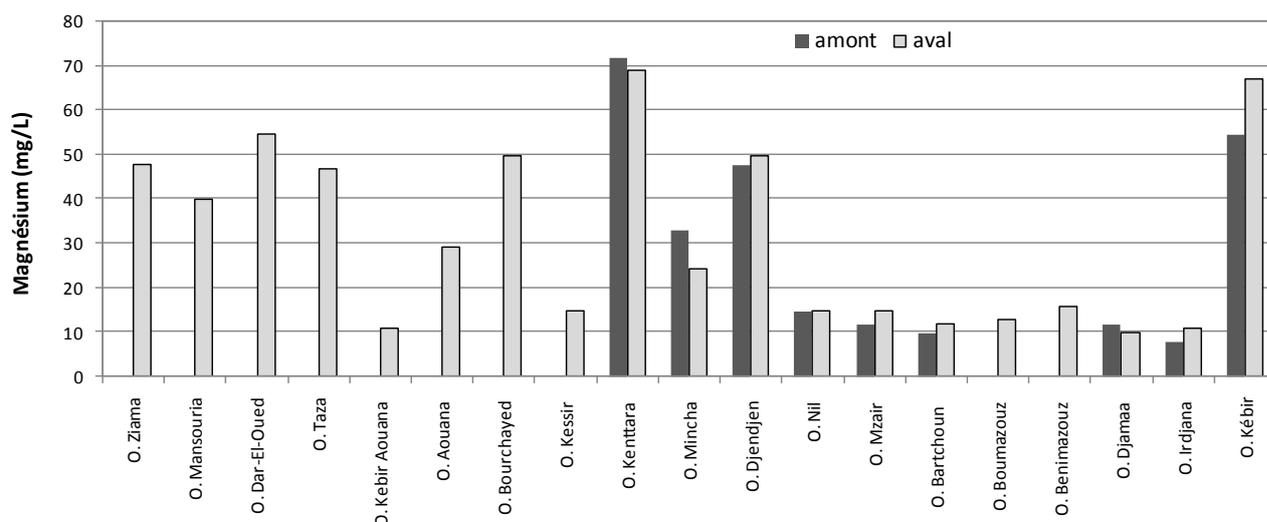
**Figure.35** Concentration du calcium dans les oueds (parties amont et/ou aval) de la wilaya de Jijel

Les valeurs les plus élevées sont observées dans l'oued Benimazzouz avec une valeur de 54.5 mg/L. La comparaison entre les valeurs de l'amont et de l'aval montre que sont les valeurs de l'aval qui dépassent l'amont à l'exception de l'oued Kébir et Djamaa, cela peut être due à un effet de dilution par des affluents moins concentrée en calcium qui se sont liée essentiellement a la géologie de terrain.

### VI.3.2.2. Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ )

Ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite). Mais leur solution nécessite un temps de contact plus long que celui du calcium.

Les résultats des analyses du magnésium sont présentés dans la figure ci-dessous :

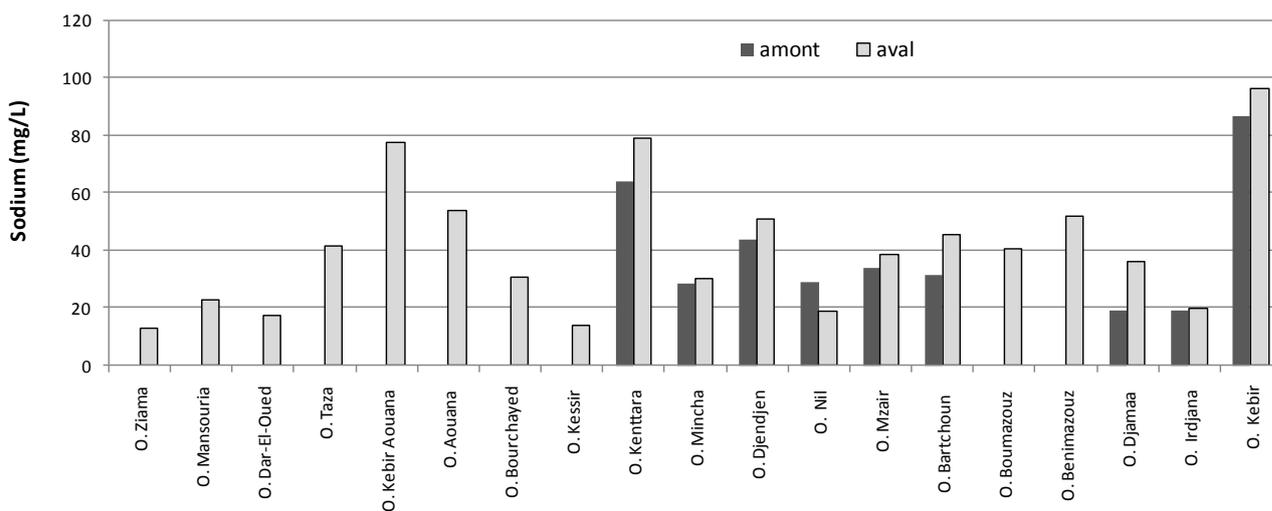


**Figure.36** Concentration du magnésium dans les oueds (parties amont et/ou aval) de la wilaya de Jijel

Cette figure montre que les concentrations ne dépassent pas 80 mg/L, ils sont plus élevées dans oued Kébir (54 et 67 mg/L) et oued Kenttara (69 et 72 mg/L), mais il ne dépasse pas la norme de 150 mg/L.

### VI.3.2.3. Sodium ( $\text{Na}^+$ )

Sodium est un élément lié à la dissolution des formations salifères, tel que l'halite ( $\text{Na Cl}$ ). Les concentrations observées dans les oueds sont présentées dans la figure ci-dessous :



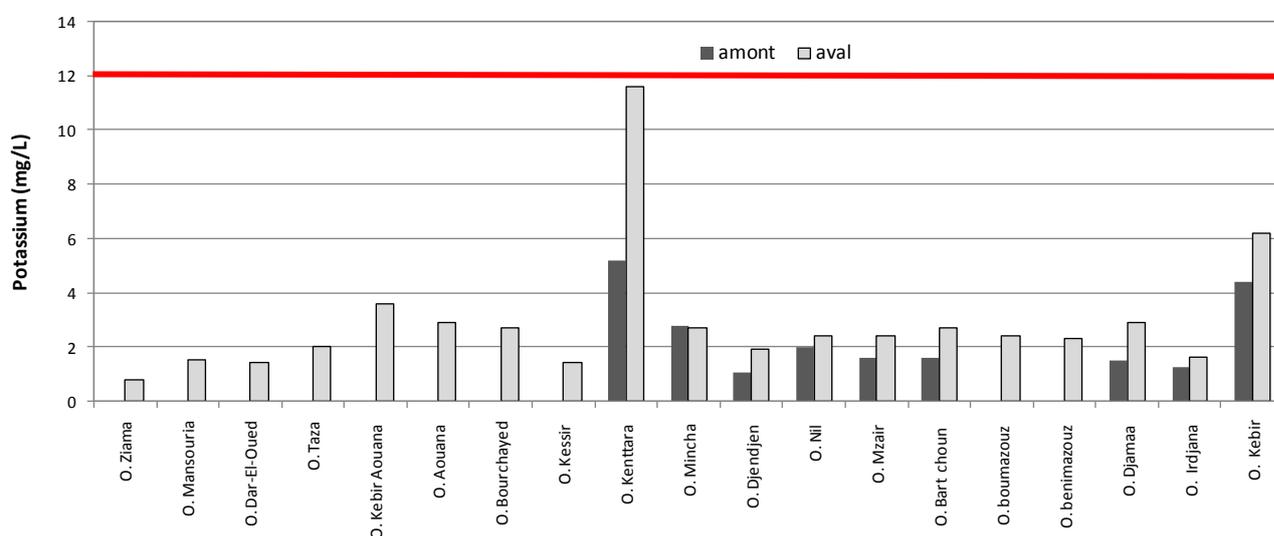
**Figure.37** Concentration du sodium dans les oueds (parties amont et/ou aval) de la wilaya de Jijel

Cette figure montre que les concentrations du sodium dans les oueds sont inférieures à la norme (200 mg/L), dans la majorité des cas inférieures à 60 mg/L, seul trois oueds présentent des concentrations supérieures : oued Kébir, oued Kenttara et oued Kebir Aouana. Son origine est liée aux formations salifères ou à des rejets riches en  $\text{Na}^+$ .

La comparaison entre l'amont et l'aval montre que c'est toujours les concentrations de l'aval sont supérieures à l'amont à l'exception de l'oued Nil où des concentrations de l'amont sont supérieures, cela peut être lié au phénomène de dilution.

#### VI.3.2.4. Potassium ( $\text{K}^+$ )

Les concentrations du potassium observées dans les oueds de la wilaya de Jijel sont présentées dans la figure ci-dessous :



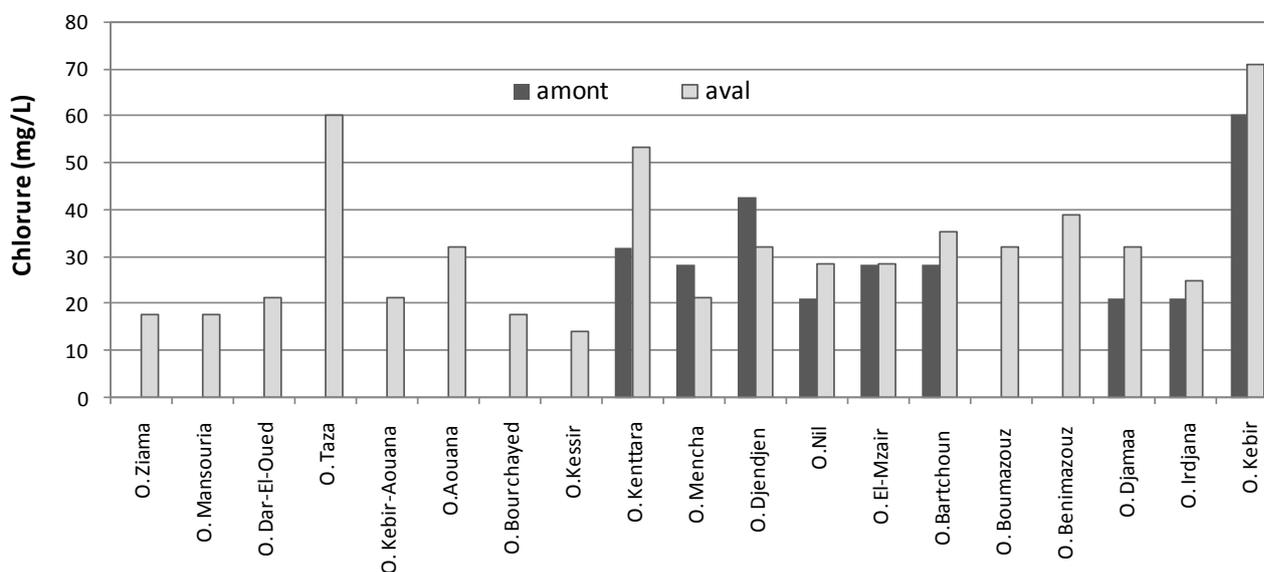
**Figure.38** Concentration du potassium dans les oueds (parties amont et/ou aval) de la wilaya de Jijel.

Les concentrations du potassium sont inférieures à la norme (12 mg/L) et elles sont tous inférieures à 6 mg/L à l'exception de l'oued Kenttara, où on a observé des concentrations de 5.2 mg/L à l'amont et 11.6 mg/L à l'aval, indiquant sûrement des apports anthropiques, vu que cet oued passe par plusieurs zones urbaines.

#### VI.3.2.5. Chlorure : ( $\text{Cl}^-$ )

Ils peuvent provenir de l'intrusion des eaux marines ou bien liée aux activités humaines (salage des routes) ou de la contamination par les eaux usées d'origines domestique et industrielle, et aussi de la dissolution des sels naturels par le lessivage des terrains salés. La teneur admissible de l'eau en ( $\text{Cl}^-$ ) est fixée par l'OMS à 200 mg/l pour la potabilité et 250 mg/l pour l'irrigation.

La teneur en ion chlorure dans les eaux naturelles est essentiellement associée à celle du sodium. Les résultats d'analyse sont dans la figure ci-dessous :

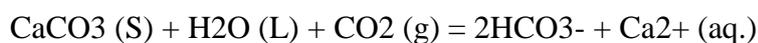


**Figure.39** Concentration des chlorures dans les oueds (parties amont et/ou aval) de la wilaya de Jijel

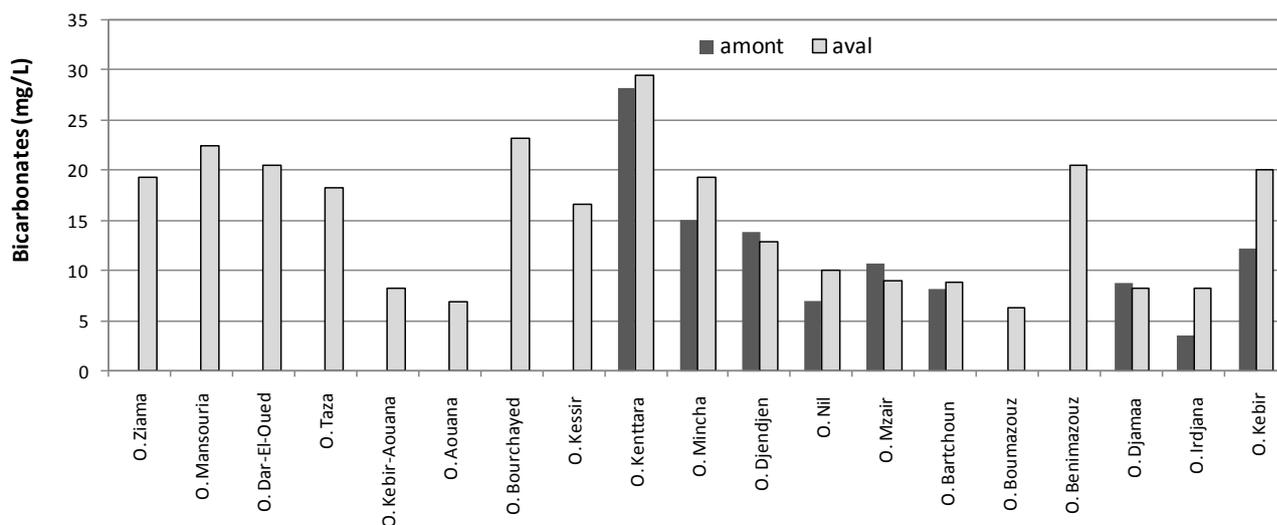
Les concentrations observées sont inférieures à la norme (200 mg/L) et ils sont dans la majorité des cas inférieures à 50 mg/L, à l'exception de l'oued Kébir (60 et 70 mg/L), l'oued Kentra (53 mg/L) et l'oued Taza (60 mg/L). Leur origine est liée à la dissolution des formations salifères (NaCl, Gypse...etc.).

#### VI.3.2.6. Bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )

Ils sont liés à la dissolution des formations carbonatées selon la formule ci-dessous :



Les concentrations des bicarbonates rencontrés dans les oueds sont présentées dans la figure ci-dessous :



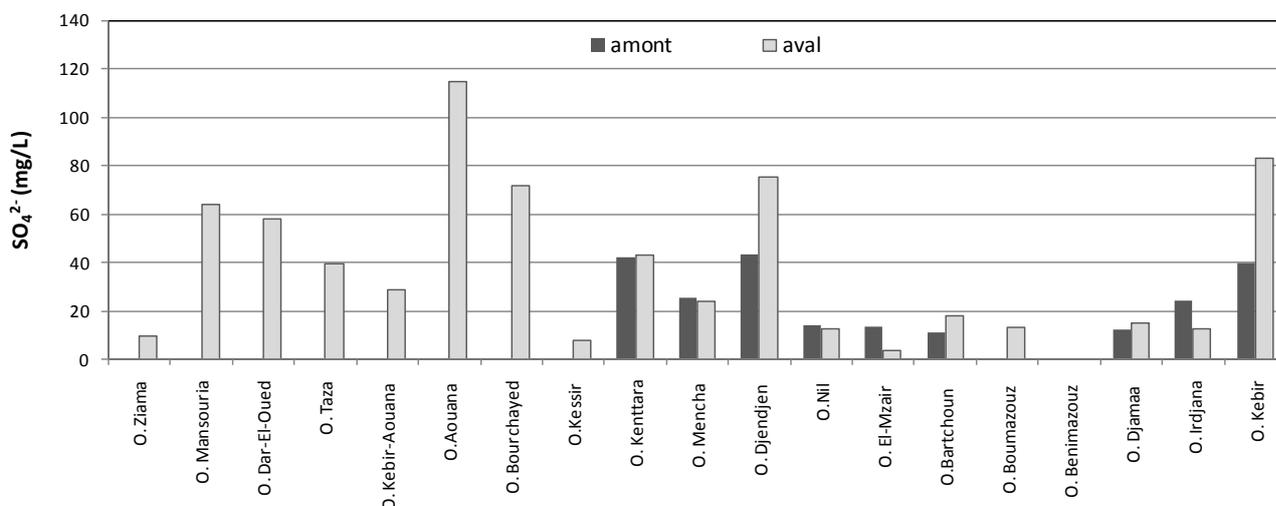
**Figure40** Concentration des bicarbonates dans les oueds (parties amont et/ou aval) de la wilaya de Jijel

Les concentrations sont inférieures aux normes algériennes et elles sont tous inférieures à 30 mg/L, indiquant une faible présence des formations carbonatées.

### VI.3.2.7. Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

Les origines naturelles des sulfates sont la mise en solution de roches sédimentaires évaporitiques notamment le gypse ( $\text{CaSO}_4$ ), mais également de la pyrite ( $\text{FeS}$ ) et plus rarement de roches magmatiques (galène, blende, pyrite). La teneur admissible des sulfates fixes par l'OMS est de 500 mg/l.

Les résultats des analyses des oueds sont présentés dans la figure ci-dessous



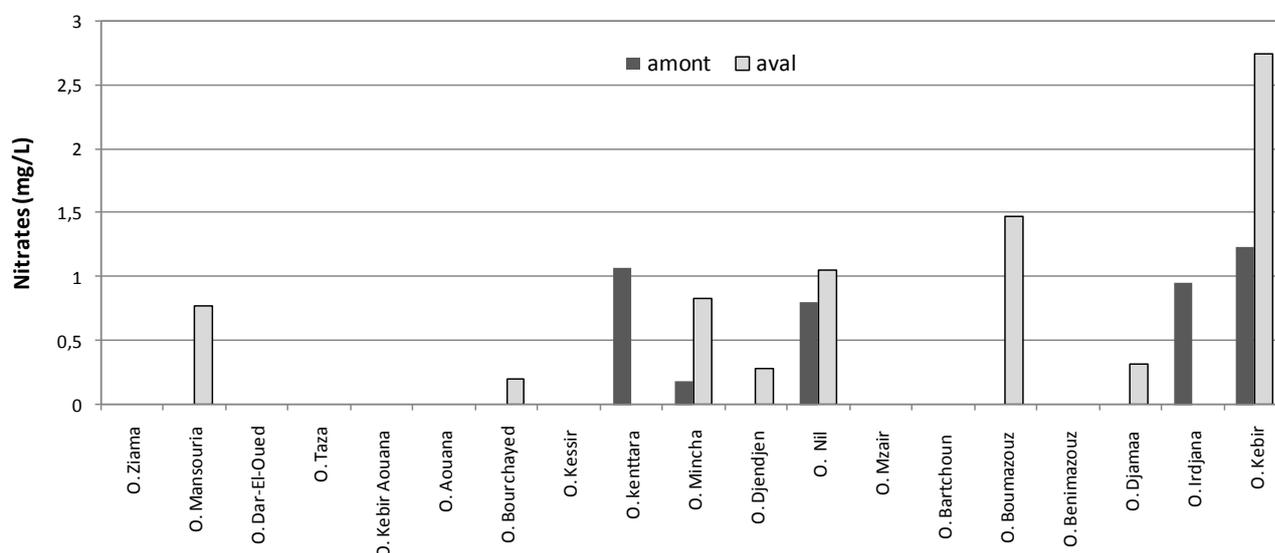
**Figure.41** Teneurs en sulfates dans les oueds (parties amont et/ou aval) de la wilaya de Jijel

D'après la figure, les concentrations les plus élevées en sulfates sont observées à l'oued Aouana, (114 mg/L), oued Kébir (83 mg/L), l'oued Djendjen (75 mg/L) et l'oued Bourchayed (72 mg/L). Cela indique un apport en sulfates surement lié à la dissolution du gypse. Les autres oueds présentent dans la majorité des concentrations inférieures à 50 mg/L. De point de vu qualité, ils sont inférieures à la norme 200 mg/L.

### VI.3.3. Cycle d'azote

#### VI.3.3.1. Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )

Le nitrate provient de la dégradation de la matière organique et à l'utilisation des engrais chimiques dans l'agriculture, la présence des nitrates dans les eaux est liée à la minéralisation de la matière organique, les engrais azotés, résidus animaux, fumier, etc. Les concentrations observées dans les oueds sont présentées dans la figure ci-dessous :

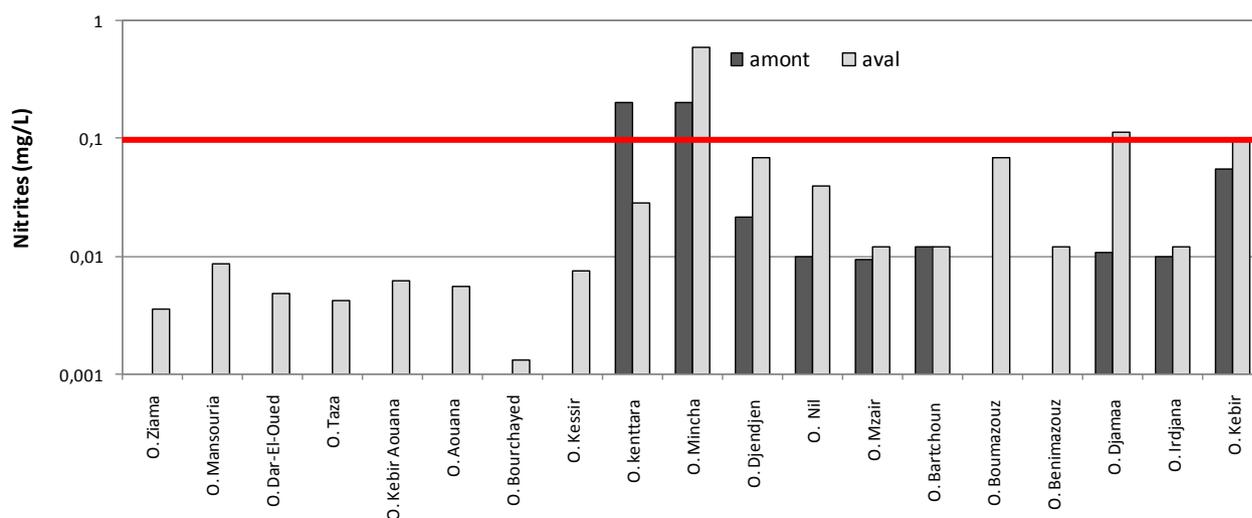


**Figure.42** Teneurs en nitrates dans les oueds (parties amont et/ou aval) de la wilaya de Jijel

Les concentrations sont très faibles (< 3 mg/L) et inférieures à la norme de 50 mg/L.

#### VI.3.3.2. Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )

Les nitrites sont dus à la réduction de la forme des nitrates ou à l'oxydation de l'ammonium, c'est une forme intermédiaire. La présence de nitrite dans l'eau, constitue un indice de pollution. Leur présence dans l'eau soulève de sérieux problèmes pour la santé publique.



**Figure.43** Teneurs en nitrites dans les oueds (parties amont et/ou aval) de la wilaya de Jijel

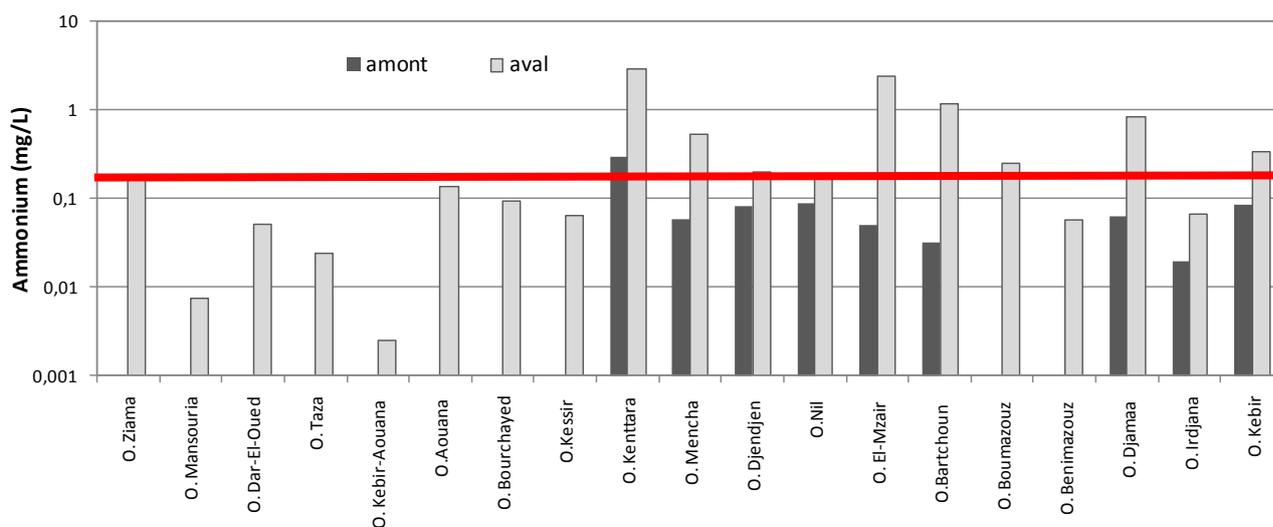
Les valeurs qui ont dépassées la norme (0.1 mg/L) sont celle de l'oued Djamaa (0.11 mg/L), Mencha (0.2 et 0.58 mg/L) et Kenttra (0.2 mg/L).

La présence de nitrite dans l'eau, constitue un indice de pollution. Leur présence dans l'eau soulève de sérieux problèmes pour la santé publique (Ramade, 1993).

L'augmentation des valeurs de nitrite dans des oueds est expliquée par la percolation des engrais chimiques.

### VI.3.3.1. Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )

L'ammonium est la forme réduite de l'azote et il constitue un bon indicateur de la pollution des cours d'eau par des rejets organiques, agricole, domestique ou industriel. Les concentrations observées dans les oueds sont présentées dans la figure ci-dessous :

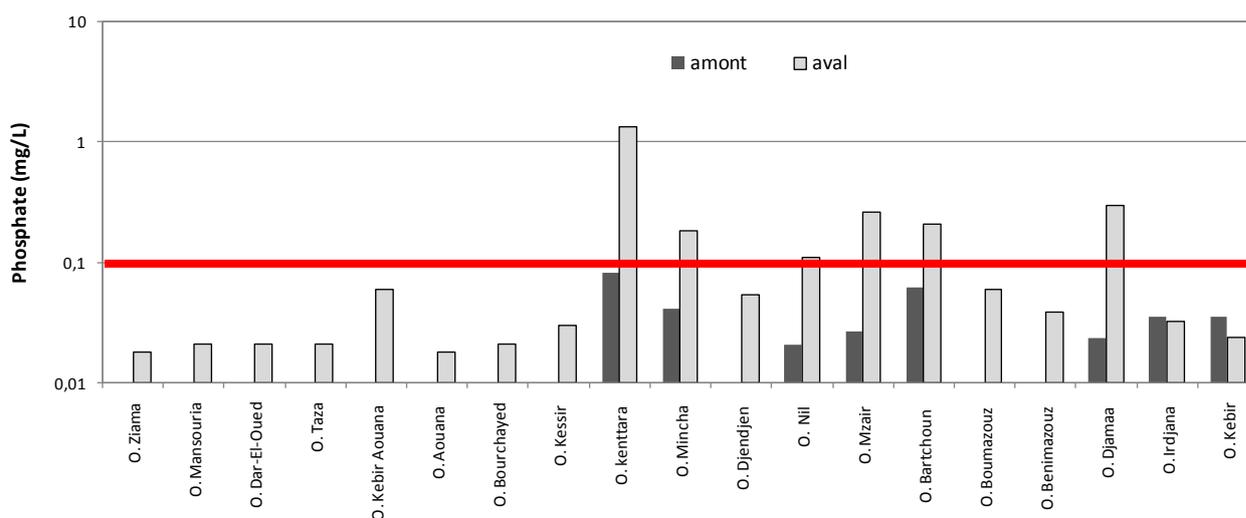


**Figure.44** Teneurs en ammonium dans les oueds (parties amont et/ou aval) de la wilaya de Jijel.

D'après les résultats illustrés, on remarque que tous les oueds présentent des teneurs en ammonium et varient de 0,02 mg/l à oued Irdjana et 3,24mg/l à oued kanttara. La plus part des oueds situés à l'est de la ville de Jijel, présentent des teneurs supérieures à la norme (0.2 mg/l). Il constitue un bon indicateur de la pollution des cours d'eau par des rejets organiques d'origine agricole, domestique ou industriel dans les fortes concentrations.

#### VI.3.4. Phosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

Le phosphate est lié à la dissolution des formations géologiques, les engrais chimique NPK et les rejets. Les concentrations observées sont présentées dans la figure ci-dessous :

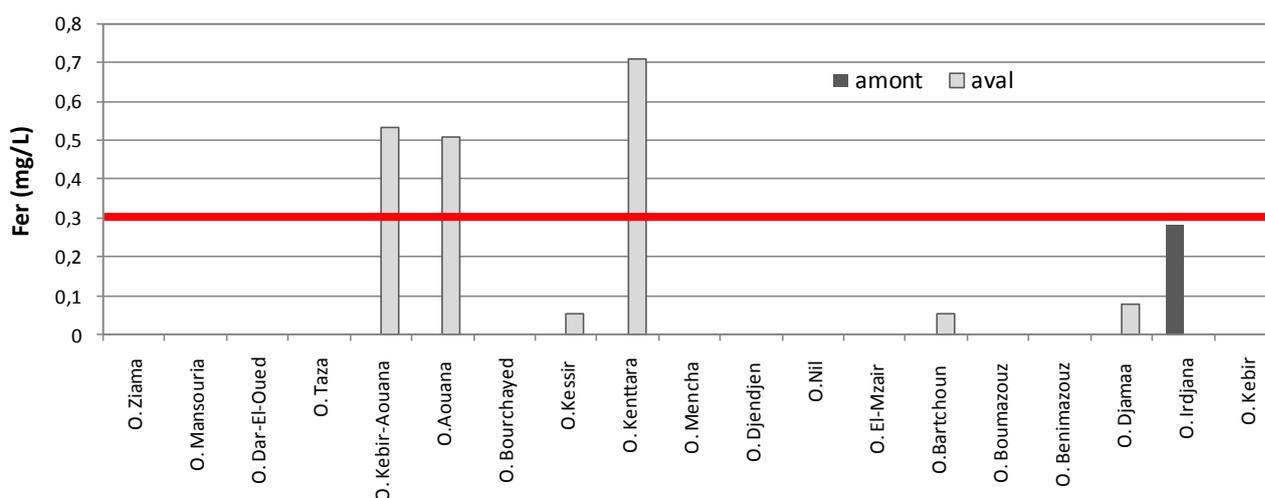


**Figure.45** Teneurs en phosphates dans les oueds (parties amont et/ou aval) de la wilaya de Jijel.

Les valeurs les plus élevées ( $> 0.1$  mg/L) ont été observées dans les oueds : Kenttara, Djamaa, Bartchoun et Mzair. Il est sûrement lié aux rejets urbains.

### VI.3.5. Fer (Fe)

Les concentrations du fer observées dans les eaux de surface sont présentées dans la figure ci-dessous :



**Figure.46** Teneurs en fer dans les oueds (parties amont et/ou aval) de la wilaya de Jijel

Les concentrations en fer mesurées au cours de nos prélèvements sont pratiquement nulles ou inférieures à la norme (0.3 mg/L). Les concentrations qui ont dépassées la norme sont présentées dans l'oued Kenttara (0.71 mg/L), oued Aouana (0.50 mg/L) et Kébir-aouana (0.53 mg/L).

La plus part des concentrations sont observée à l'aval, indiquant que leur origine peut être lié à l'origine anthropique et la dissolution des formations géologique.

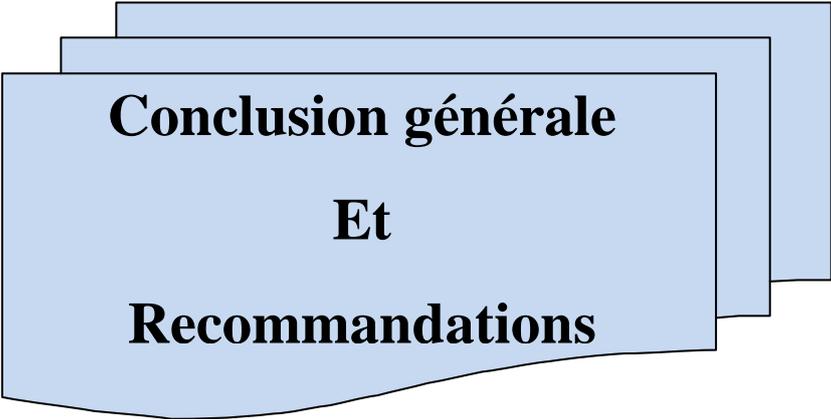
### VI.4.Conclusion

Cette étude montre que les concentrations des éléments chimique ne sont pas élevé, elle sont présentées par des conductivités inférieures à 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , sauf pour les grands bassins versant (oued Kébir) et les oueds qui passent par les zones urbaines ou la conductivité à atteint 1200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Les eaux d'une manière générale basique et mois chargées en éléments chimique ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ ), leur concentration ne dépasse pas 100 mg/L.

Les formes d'azotes sont marquées par une faible concentration en nitrates ( $< 3$  mg/L) et des concentrations en nitrites et en ammonium qui dépassent la norme, indiquant une pollution d'origine urbain et agricole.

Pour les éléments traces métalliques, seul le fer a été analysé, ses concentrations ont dépassées 0.5 mg/L dans trois oueds, surement lié à la dissolution des formations géologiques(schist, argile) ou aux rejets anthropiques.

La comparaison entre les concentrations de la partie amont et aval de l'oued montre que les concentrations de la partie aval sont supérieures due à l'existence d'autres formations en plus et aux rejets anthropique qui se trouvent souvent dans la partie aval. Quelques oueds on a observée l'inverse, avec des concentrations plus élevées dans la partie amont, cela est due à la confluence de l'oued avec un affluent moins concentré, ou a la dissolution des formations géologiques.



**Conclusion générale**

**Et**

**Recommandations**

## Conclusion générale

Cette étude explore les eaux superficielles de la wilaya de Jijel. Elle a pour objectifs de :

- quantification les apports d'eau du ruissellement à partir des données pluviométriques et hydrométriques ;
- et de déterminer la qualité des eaux superficielle.

La wilaya de Jijel occupe une superficie de 24 000 km<sup>2</sup> et elle a une façade maritime de 120 km. Elle est dominée par les montagnes (82%). Les plaines et les collines présentent seulement 18% et se présentent essentiellement dans la partie nord et au voisinage des oueds.

Le climat de la wilaya est de type méditerranéen, pluvieux et froid en hiver, chaud et humide en été. Les températures varient entre 20°C et 35°C en été à 5°C à 15°C en hiver. Les précipitations moyennes annuelles enregistrées dans la wilaya varient de 1000 à 1200 mm/an.

La géologie de la wilaya est caractérisée par la présence des formations sédimentaires, métamorphiques et magmatiques. Les plaines et les rives des oueds sont présentés par les formations sédimentaire (alluvions et sables) et les montagnes par des formations métamorphiques (schiste, flysch, cipolin...) et sédimentaires (calcaire et grès). Les formations magmatiques affleurent que localement et se présentent par le granite, le granodiorite, les diorites...).

Le réseau hydrographique de la wilaya est très dense, trois oueds principaux (El-Kébir, DjenDjen et Nil) se présentant dans la wilaya. L'installation des barrages sur le parcours des oueds a diminué considérablement les apports d'eau dans la partie aval.

L'analyse de l'évolution du volume d'eau dans le barrage de Kissir en fonction des pluies, nous a permis de déterminer le temps de retard entre les pluies et l'arrivée d'eau à l'exutoire du bassin versant et d'estimer le volume d'eau produit par chaque épisode pluvieux. En effet, une corrélation a été faite entre les pluies cumulées et le volume d'eau cumulé de chaque épisode pluvieux et nous a permet de trouver une relation de type puissance entre les deux variables.

La détermination de la qualité des eaux de surface de la willaya de Jijel a été faite à partir de la campagne d'échantillonnage réalisée durant le mois d'avril 2016. Les résultats obtenus montrent que les oueds de la partie est de la wilaya de Jijel sont plus pollués que les oueds de la partie ouest, cela est dû au fait que la partie Este est caractérisée par des bassins versants importants et par l'existence de plusieurs villes urbaines. Par contre la partie ouest, les bassins versants sont moins importants.

La comparaison entre la partie amont et aval des oueds de la partie ouest montre que la partie aval est très polluée en comparant avec la partie amont. Trois espèces chimiques marquants cette pollution : nitrites, ammonium et phosphates. Cela est sûrement lié aux rejets urbains jetés par les agglomérations localisées sur les rives des oueds .

## **Recommandations :**

### ✓ **Relation pluie – ruissellement :**

Généraliser l'étude sur tous les barrages pour obtenir une équation globale qui détermine le ruissellement en fonction des pluies dans la wilaya de Jijel.

### ✓ **Qualité des eaux :**

Réalisation des stations de traitement des eaux usées et faire un contrôle périodique de la qualité des eaux de surface.