

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne démocratique populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة 8 ماي 1945 قالمة

Université 8 mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences de la Nature et de la vie, Sciences de la Terre et de l'Univers



## Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

**Domaine :** Science de la Terre et de l'Univers

**Filière :** Sciences de la Terre

**Spécialité/Option :** Hydrogéologie et Géothermie

**Département :** Science de la Nature et de la Vie et Science de la Terre et de l'Univers

---

### Thème :

**Le stress hydrique en Algérie : cas de la wilaya de Guelma.**

---

**Présenté par :**

- NOUAOURIA Zeyneb

**Devant le jury composé de :**

Président : Mme BENACER Leila                      MAA                      Université de Guelma

Examineur : Mr BRAHMIA Ali                      MCB                      Université de Guelma

Encadreur : Mme DJERRAB Muriel                      MCB                      Université de Guelma

Juin 2018



# Résumé

De nombreuses régions dans le Monde sont touchées par le problème du stress hydrique, défini comme le cas où la demande en eau dépasse la quantité disponible. Dans le cadre de ce Master, nous nous sommes intéressés à la situation dans la wilaya de Guelma. Nous avons donc récolté un maximum de données concernant le climat, les usages agricoles de l'eau, la démographie ou le réseau AEP.

Nous avons constaté que la wilaya de Guelma, située au nord-est de l'Algérie, se caractérise, selon les années, par un climat de type tempéré ou semi-aride, avec une moyenne de température d'environ 18°C et des précipitations proches de 570 mm. Mais nous avons également observé une forte variabilité entre les années, ainsi qu'une légère augmentation des températures moyennes (0,5 °C en l'intervalle de 30 ans).

La wilaya de Guelma est une région à vocation agricole, ce qui explique que la plus grande partie de l'eau est consommée par l'agriculture, avec des surfaces irriguées en constante augmentation. La population quant à elle a fortement augmenté (+ 80 % en l'espace de 35 ans), notamment en milieu urbain, et continue actuellement de croître (+ 1,5 % / an). L'approvisionnement en eau des zones urbaines de Guelma se fait essentiellement à partir du barrage de Bouhamdane, dont le taux de remplissage est actuellement très faible.

Cette situation explique donc l'état chronique de stress hydrique : forte variabilité climatique associée à un changement climatique (températures en hausse), pression démographique importante, approvisionnement en eau souvent déficient, mauvais état général des réseaux d'AEP.

Mais l'Algérie n'est pas un cas unique. En effet, la situation dans les pays voisins et dans de nombreux pays du monde est similaire, mais cependant des solutions sont envisageables à court et moyen terme, comme l'amélioration de la gestion des réseaux, le recyclage des eaux usées ou la diversification des sources d'approvisionnement (ex : dessalement de l'eau de mer).

**Mots clés :** stress hydrique, pénurie d'eau, wilaya de Guelma, pluviométrie, température, démographie, agriculture, forages.

# Abstract

Many parts of the world are affected by the problem of water stress, defined as the case where the demand for water exceeds the available quantity. As part of this Master, we are interested in the situation in the wilaya of Guelma. As a result, we collected as much data as possible on the climate, agricultural uses of water, demography or the AEP network.

We found that the wilaya of Guelma, located in northeastern Algeria, is characterized, depending on the year, by a temperate or semi-arid climate, with an average temperature of about 18 ° C and precipitation close to 570 mm. But we also observed a strong variability between years, as well as a slight increase in average temperatures (0.5 ° C in the 30 year interval).

The wilaya of Guelma is a region with an agricultural vocation, which explains why most of the water is consumed by agriculture, with irrigated surfaces constantly increasing. As for the population, it has risen sharply (+ 80% in 35 years), particularly in urban areas, and continues to grow (+ 1.5% / year). Water supply in urban zones of Guelma is mainly from Bouhamdane dam, which currently has a very low fill rate.

This situation therefore explains the chronic state of water stress: high climatic variability associated with climate change (rising temperatures), significant demographic pressure, often deficient water supply, poor general condition of the water supply networks.

But Algeria is not a unique case. In fact, the situation in neighboring countries and in many countries of the world is similar, but solutions are possible in the short and medium term, such as improving network management, wastewater recycling or diversifying wastewater. Sources of supply (eg desalination of seawater).

**Key words:** water stress, water shortage, Guelma wilaya, rainfall, temperature, demography, agriculture, boreholes.

## ملخص

تعاين العديد من المناطق في العالم من مشكلة الإجهاد المائي، الذي يحدث حين يتجاوز الطلب على المياه الكمية المتاحة. كجزء من هذا الماستير ، نحن مهتمون بالوضع في ولاية قالمة لذا جمعنا الكثير من البيانات و المعطيات فيما يخص المناخ، واستخدام المياه في الزراعة، والعوامل الديموغرافية و شبكة التزويد بالمياه الصالحة للشرب .

تقع قالمة شمال شرق الجزائر تتميز بمناخ معتدل أو شبه جاف، وبمتوسط درجة حرارة حوالي 18 درجة مئوية، و هطول الأمطار على مقربة من 570 ملم. ولكن لاحظنا أيضا تباين شديد بين سنوات، وزيادة طفيفة في متوسط درجات الحرارة (0.5 درجة مئوية أكثر من 30 عام).

منطقة قالمة زراعية، وهو ما يفسر السبب في أن معظم المياه المستهلكة هي في الزراعة ذلك و المناطق المروية في تزايد مستمر. وفي الوقت نفسه يشهد قطاع السكان زيادة حادة (+80% في غضون 35 سنة)، وخاصة في المناطق الحضرية، ويستمر حاليا في النمو (+1.5% / سنة).

إن إمدادات المياه في منطقة قالمة في المناطق الحضرية تأتي أساسا من سد بوحمدان ، الذي يوجد به حاليا معدل ملء منخفض هذا الوضع يفسر حالة مزمنة من شح المياه و هذا بسبب التباينات الشديدة المرتبطة بتغير المناخ (ارتفاع درجات الحرارة)، والضغط السكاني المرتفع، وإمدادات المياه في كثير من الأحيان ناقصة، سوء حالة شبكات إمدادات المياه.

لكن الجزائر ليست فريدة في الواقع، فإن الوضع في البلدان المجاورة وفي كثير من دول العالم مشابه، ولكن هناك حلول ممكنة على المدى القصير و المتوسط، مثل تحسين إدارة الشبكات، وإعادة تدوير مياه الفضلات أو تنويع في المصادر مثل تحلية مياه البحر.

**كلمات مفتاحية :** التوتر المائي، نقص المياه، ولاية قالمة، التساقط ، الحرارة ، السكان ، الزراعة ، الآبار

# Tables des matières

Liste des figures .....	III
Liste des Tableaux.....	V
Liste des abréviations .....	VI
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Généralités .....	3
I.1. Situation géographique.....	3
I.2. Relief .....	4
I.2. 1. La zone des plaines de Guelma et Bouchegouf (moyenne et basse Seybouse) :.....	5
I.2.2. La zone des Djebels au Nord et au Nord-ouest : .....	5
I.2.3. La zone des plaines et collines de Tamlouka : .....	5
I.2.4. La zone des Djebels surplombant les oueds Sedrata et Héliia :.....	5
I.2.5. Principaux Oueds : .....	6
I.3. Potentialités Naturelles.....	8
I.3.1. Potentialités agricoles : .....	8
I.3.2. Potentialités forestières :.....	9
I.3.3. Potentialités hydrauliques :.....	9
I.4. Cadre climatique .....	9
I.5. Cadre géologique.....	11
Chapitre II : Etat de la situation dans la wilaya de Guelma .....	12
II.1. Définition .....	12
II.2. Les données.....	14
II. 2.1. Introduction .....	14
II.2.2. Température et pluviométrie .....	15
2.2.1. Pluviométrie moyenne.....	15
2.2.2. Coefficient pluviométrique.....	16
2.2.3. Température moyenne .....	18
2.2.4. Le diagramme pluvio-thermique .....	20
2.2.5. L'indice d'aridité.....	20
II.3. Utilisation de l'eau .....	23
II. 3.1. Par l'agriculture .....	23
II. 3.2. Pour l'eau potable.....	30

3.2.1. Démographie : .....	30
3.2.2. Réseau AEP : .....	37
II.4. Conclusion .....	40
Chapitre III : Situation globale vis-à-vis du stress hydrique .....	41
III.1. Introduction .....	41
III.2. Les variables climatiques.....	42
III.2.1. Température .....	42
III.2.2. Précipitation .....	44
III.3. Les usages agricoles .....	46
III.4. La démographie .....	49
III.5. L'accès à l'eau potable .....	51
III.6. Solutions éventuelles au stress hydrique .....	56
III.6.1. Gérer l'approvisionnement .....	56
III.6.2. Dessaler l'eau de mer.....	56
III.6.3. Augmenter le stockage de l'eau .....	57
III.6.4. Mettre en valeur les eaux souterraines.....	57
III.6.5. Recycler et réutiliser l'eau .....	57
III. 6.6. Lutter contre la pollution.....	58
III. 6.7. Gérer la demande .....	58
Conclusion générale .....	59
Annexes.....	61
Liste bibliographique.....	64
Ouvrages scientifiques :.....	64
Sites internet : .....	66

## Liste des figures

Figure 1 : Carte géographique de l'Algérie.....	3
Figure 2 : Carte géographique de la Wilaya de Guelma. ....	4
Figure 3 : Communes limitrophes de Guelma (source : Google maps). ....	6
Figure 4 : Réseau hydrographique du bassin de la Seybouse.....	7
Figure 5 : Carte bioclimatique du nord de l'Algérie (Nedjraoui et Bedrani, 2008). ....	10
Figure 6 : Pluviométrie moyenne de la période (1948-2017). ....	15
Figure 7 : Coefficient pluviométrique de la période (1948-2017). ....	17
Figure 8 : Evolution des températures de 1988 à 2017. ....	18
Figure 9 : Diagramme climatique Guelma. ....	20
Figure 10 : Indice d'aridité (période 1988 – 2017). ....	22
Figure 11 : Evolution du pourcentage des terres irriguées au niveau national (2003 – 2014). ....	24
Figure 12 : Terre agricole (% de la superficie) de 1960 à 2015. Source ( <a href="https://data.worldbank.org">https://data.worldbank.org</a> ). ....	25
Figure 13 : Répartition de la population par Daira (année 2008, 2009, 2010 et 2011). ....	32
Figure 14 : Evolution du nombre d'habitants dans les zones urbaine et rurale au niveau national. ....	34
Figure 15 : Evolution du pourcentage des populations rurales et urbaines (1960-2016), au niveau national (lignes) et dans la wilaya de Guelma (points). ....	35
Figure 16 : Population totale de l'Algérie. Source (ONS). ....	36
Figure 17 : Le barrage de Bouhamdane au mois de mars 2017. ....	39
Figure 18 : Un stress hydrique qui touche une large partie du globe. ....	42
Figure 19 : Evolution de la température mondiale (WMO = moyenne NASA, NOAA, Met Office) par rapport à la période 1961-90. Sources : NASA, NOAA, Met Office. ....	43
Figure 20 : Changement de la température moyenne annuelle des terres entre 1901: 1920 et 1991: 2010. Carte basée sur l'ensemble des données de Berkeley Earth. Crédit: ClimateDataGuide, NCAR. ....	44
Figure 21 : Carte de la pluviométrie moyenne annuelle de l'année 2011 (Source : GPCC). ....	45
Figure 22 : Corrélation entre séries chronologiques mensuelles d'anomalies de précipitations pour la période 1901-mars 2011 (source : Global Precipitation Analysis Products of the GPCC). ....	45
Figure 23 : Zones aménagées pour l'irrigation en pourcentage des terres cultivées par pays (1998). Source ( <a href="http://www.fao.org">http://www.fao.org</a> ). ....	46

Figure 24 : Pourcentage des superficies irriguées par rapport au potentiel d'irrigation dans les pays en développement. Source ( <a href="http://www.fao.org">http://www.fao.org</a> ).....	47
Figure 25 : Prélèvements en eau pour l'agriculture en pourcentage des ressources en eau renouvelables (1998). Source ( <a href="http://www.fao.org">http://www.fao.org</a> ).....	48
Figure 26 : Irrigation et ressources en eau : prélèvements de 1999 et prévus en 2030. Source: ( <a href="http://www.fao.org">http://www.fao.org</a> ). .....	49
Figure 27 : Population mondiale. ONU 2015. ....	50
Figure 28 : Zones prévues de croissance et de déclin démographique (Source : Lutz, Sanderson et Scherbov, 2008).....	51
Figure 29 : Une amélioration de l'accès à l'eau potable. Source ( <a href="http://www.lemonde.fr">www.lemonde.fr</a> ) .....	52
Figure 30 : Les eaux souterraines de plus en plus surexploitées.....	53
Figure 31 : Ressources en eau naturelles renouvelables par habitant dans les principaux bassins méditerranéens. Source ( <a href="http://planbleu.org">http://planbleu.org</a> ) .....	54
Figure 32 : Niveau d'eau disponible par an et par habitant pour différents pays du sud et du nord de la Méditerranée (Source : Data Worldbank). ....	55

## Liste des Tableaux

Tableau 1 : Répartition de la superficie agricole / SAT.....	8
Tableau 2 : Définitions conventionnelles des niveaux de stress hydrique.....	13
Tableau 3 : Evolution décennale de la pluviométrie.....	16
Tableau 4 : Evolution décennale des températures.....	19
Tableau 5 : Valeurs de l'indice d'aridité.....	21
Tableau 6 : Evolution des surfaces des terres irriguées pour les céréales (Source : Ministère Agriculture).....	24
Tableau 7 : Equivalent en eau des principaux produits alimentaires.....	26
Tableau 8 : Répartition de la population par Daira (années 2008, 2009, 2010 et 2011).....	31
Tableau 9 : Solde naturel pour la wilaya de Guelma. Années 2012, 2014 et 2015 (Source : ONS).....	33
Tableau 10 : Taux d'accroissement naturel pour la wilaya de Guelma. Années 2012, 2014 et 2015 (Source : ONS).....	34

## Liste des abréviations

ANDI : Agence Nationale de Développement de l'Investissement

ONS: Office National des Statistiques

ADE: L'algérienne des eaux

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations

OMS: Organisation mondiale de la Santé

ONU: Organisation des Nations unies

CIA: Central Intelligence Agency

ONG: Organisation non gouvernementale

Unesco : Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture

NASA : National Aeronautics and Space Administration

NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration

WMO: Organisation météorologique mondiale

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

GPCC : Global Precipitation Climatology Center

Met Office (originellement abréviation de Meteorological Office) : National Weather Service for the UK

## Introduction générale

L'eau c'est la vie. Alors, quand on parle de stress hydrique, on évoque là un phénomène global qui touche tout le monde, le stress hydrique étant défini comme la situation où la demande en eau dépasse les ressources disponibles. La menace d'une pénurie d'eau douce est en effet un risque majeur. D'un côté, les ressources ne sont pas infinies, mais au contraire plafonnées et fragiles. De l'autre, chaque habitant de la planète consommait en moyenne deux fois plus d'eau en 1999 qu'au début du XX<sup>ème</sup> siècle (selon F. Mayor, Directeur Général de l'Unesco en 1999). (Unesco, 1999) Toujours selon Mr Mayor, « face à la surexploitation qu'en fait aujourd'hui une humanité nombreuse, consumériste et polluante, cette ressource collective se raréfie. Les signaux d'alarmes sont lumineux : épuisement des nappes phréatiques, assèchements des lacs et des rivières, pollution grandissante, désertification croissante. Cette raréfaction a un coût humain qui s'alourdit : malnutrition, maladies, exode rural, surpeuplement urbain. »

Dans plusieurs régions du monde, la pression sur l'eau est en effet de plus en plus forte, et notamment dans le Nord de l'Afrique. Ce phénomène est lié d'une part à l'augmentation des prélèvements faits par l'Homme dans les eaux superficielles ou dans les nappes phréatiques, mais également d'autre part au réchauffement climatique qui perturbe le cycle de l'eau. 63 % de la population mondiale devrait ainsi subir un stress hydrique en 2025 (fr.wikipedia.org).

Ce travail de fin d'étude de Master, spécialité Hydrogéologie, traite donc de cette problématique du stress hydrique, en s'intéressant à la wilaya de Guelma. Nous allons donc essayer d'expliquer ce phénomène, de définir les causes et les solutions éventuellement envisageables. Le travail sera subdivisé en trois parties :

- Dans un premier temps, quelques généralités seront présentées, concernant notamment les cadres géographique, climatique ou géologique de la wilaya de Guelma.
- Dans un deuxième temps, et après avoir défini précisément la notion de stress hydrique, le chapitre 02 présente des données sur les agents climatiques (pluviométrie et température), qui sont les deux facteurs qui contrôlent la réserve naturelle, sur l'utilisation de l'eau par l'agriculture, sur la démographie et également sur les sources d'approvisionnement qui alimentent toute la wilaya (AEP).

- Enfin, le dernier chapitre propose une comparaison entre les pays du monde, concernant le climat, l'utilisation de l'eau par l'agriculture, la démographie ou encore l'accès à l'eau potable. Il se termine par l'exposé de quelques solutions qui permettraient de réduire l'intensité et la gravité de ce phénomène.

# Chapitre I : Généralités

## I.1. Situation géographique

La Wilaya de Guelma se situe au Nord-est du pays et constitue, du point de vue géographique, un point de rencontre, voire un carrefour entre les pôles industriels du Nord (Annaba et Skikda) et les centres d'échanges au Sud (Oum El Bouaghi et Tébessa). Elle occupe une position médiane entre le Nord du pays, les Hauts plateaux et le Sud.

La wilaya de Guelma s'étend sur une superficie de 3.686,84 km<sup>2</sup>. Elle est limitrophe des Wilayas de:

- Annaba, au Nord, et El Taref, au Nord-est,
- Souk Ahras, à l'Est, et Oum El-Bouaghi, au Sud,
- Constantine, à l'Ouest, et Skikda, au Nord-ouest,

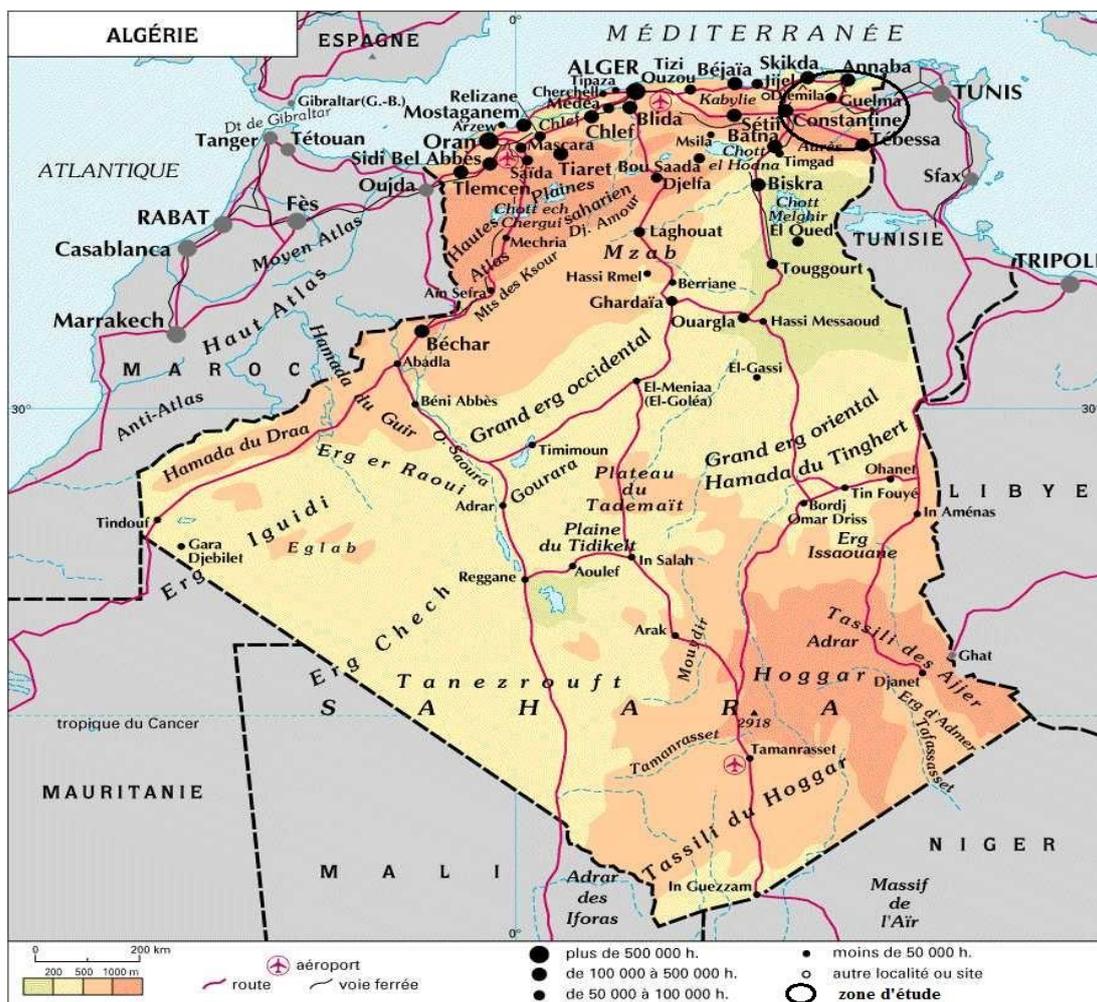


Figure 1 : Carte géographique de l'Algérie.

(source : <http://www.algerieprofonde.net>)

## I.2. Relief

La géographie de la Wilaya se caractérise par un relief diversifié (figure 2). Le principal cours d'eau qui la traverse est l'oued Seybouse.

Ce relief se décompose comme suit :

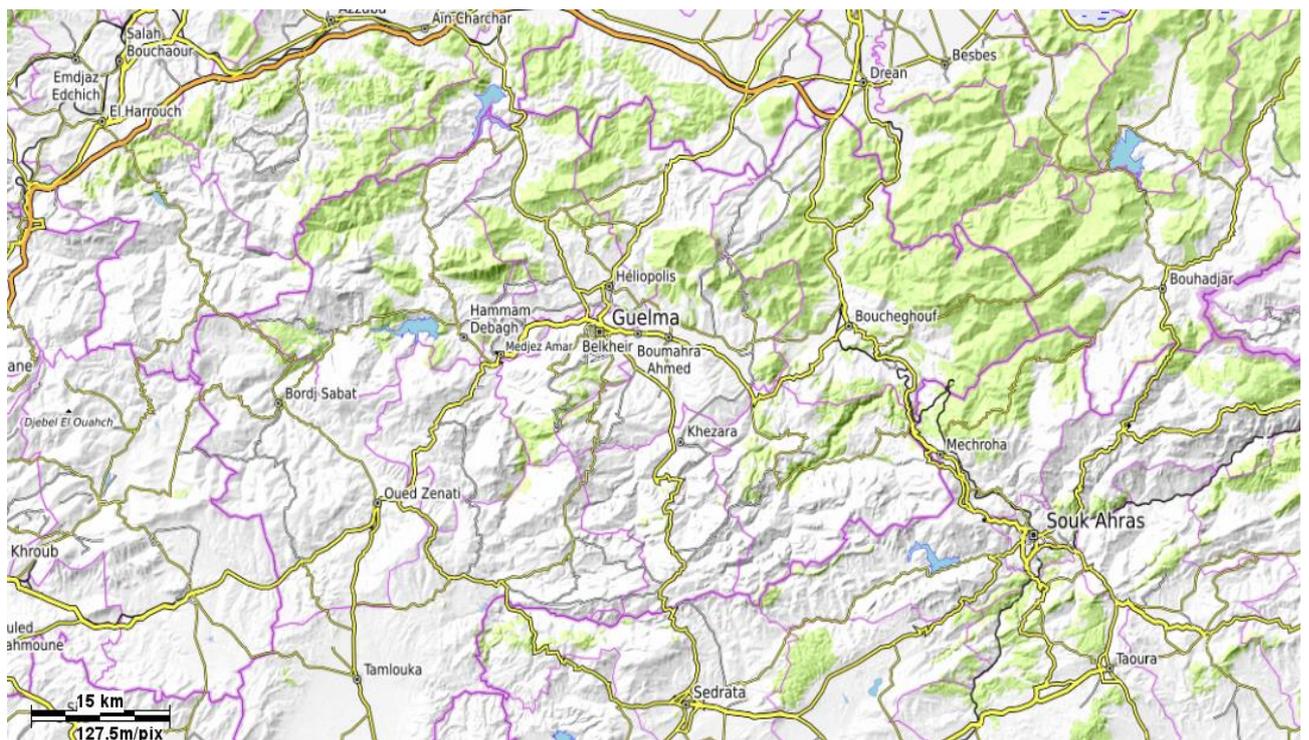
**Montagnes** : 37,82 % dont les principales sont :

- 1 – Mahouna (Ben Djerrah) : 1.411 m d'altitude
- 2 – Houara (Ain Ben Beida) : 1.292 m d'altitude
- 3 – Taya (Bouhamdane) : 1.208 m d'altitude
- 4 – D'bagh (Hammam Debagh) : 1.060 m d'altitude

**Plaines et Plateaux** : 27,22 %

**Collines et Piémonts** : 26,29 %

**Autres** : 8,67 %



**Figure 2 : Carte géographique de la Wilaya de Guelma.**

Le territoire de la Wilaya de Guelma comporte globalement quatre zones :

#### I.2. 1. La zone des plaines de Guelma et Bouchegouf (moyenne et basse Seybouse) :

Les nappes captives du champ de Guelma s'étendent sur près de 40 km le long de la vallée de la Seybouse et sont alimentées par les infiltrations et les ruissellements qui se déversent dans l'Oued Seybouse. Elles enregistrent un débit exploitable de **385 l/s**. Elles constituent les plus importantes nappes de la Wilaya (ANDI 2013).

Au niveau de la nappe de Bouchegouf, les alluvions paraissent moins perméables que ceux de la plaine de Guelma. Elle peut contenir une nappe alluviale moins importante.

#### I.2.2. La zone des Djebels au Nord et au Nord-ouest :

Elle s'étend sur toute la partie Nord de la région du territoire de la Wilaya. Elle regroupe toute la partie de l'Oued Zénati et la partie Nord de la région de Guelma. En dehors de la plaine, une grande partie de cette zone est constituée d'argiles rouges numidiennes sur lesquelles reposent des grès peu perméables.

Les sources y sont nombreuses mais tarissent en été. Cette zone connaît une faible perméabilité en dépit d'une pluviométrie relativement importante.

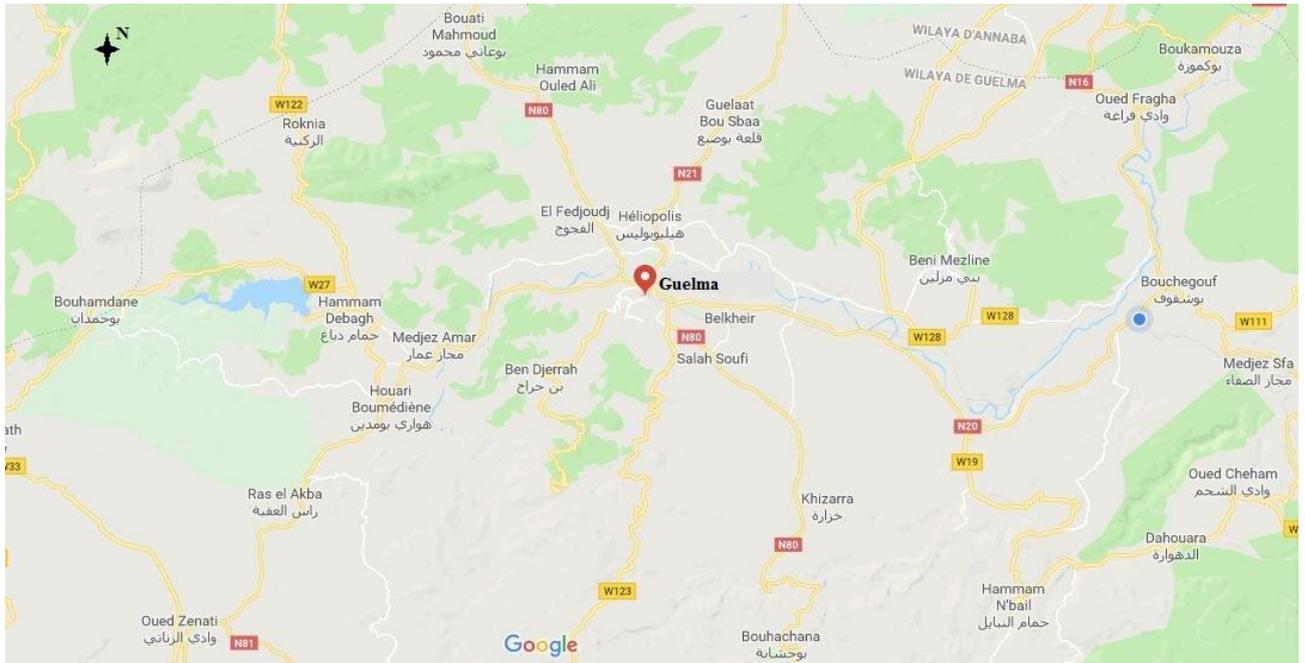
#### I.2.3. La zone des plaines et collines de Tamlouka :

Il est à remarquer, pour cette région, que les structures synclinales du Crétacé supérieur peuvent contenir des nappes actives alimentées par des infiltrations sur les calcaires qui n'ont pas une bonne perméabilité quand ils sont profonds.

#### I.2.4. La zone des Djebels surplombant les oueds Sedrata et Héliá :

Cette zone s'étend sur les parties Nord de la région de Tamlouka et Sud de la région de Guelma et Bouchegouf. Sa partie Sud est certainement la mieux fournie en eau. Elle se caractérise par la présence de hautes dalles calcaires du Crétacé supérieur qui sont perchées sur des marnes. Des sources assez importantes jalonnent leur contact. Sur l'autre partie de la zone (la plus étendue), les dalles calcaires sont plus redressées et fractionnées, et des sources parfois relativement importantes jaillissent des calcaires au contact des marnes.

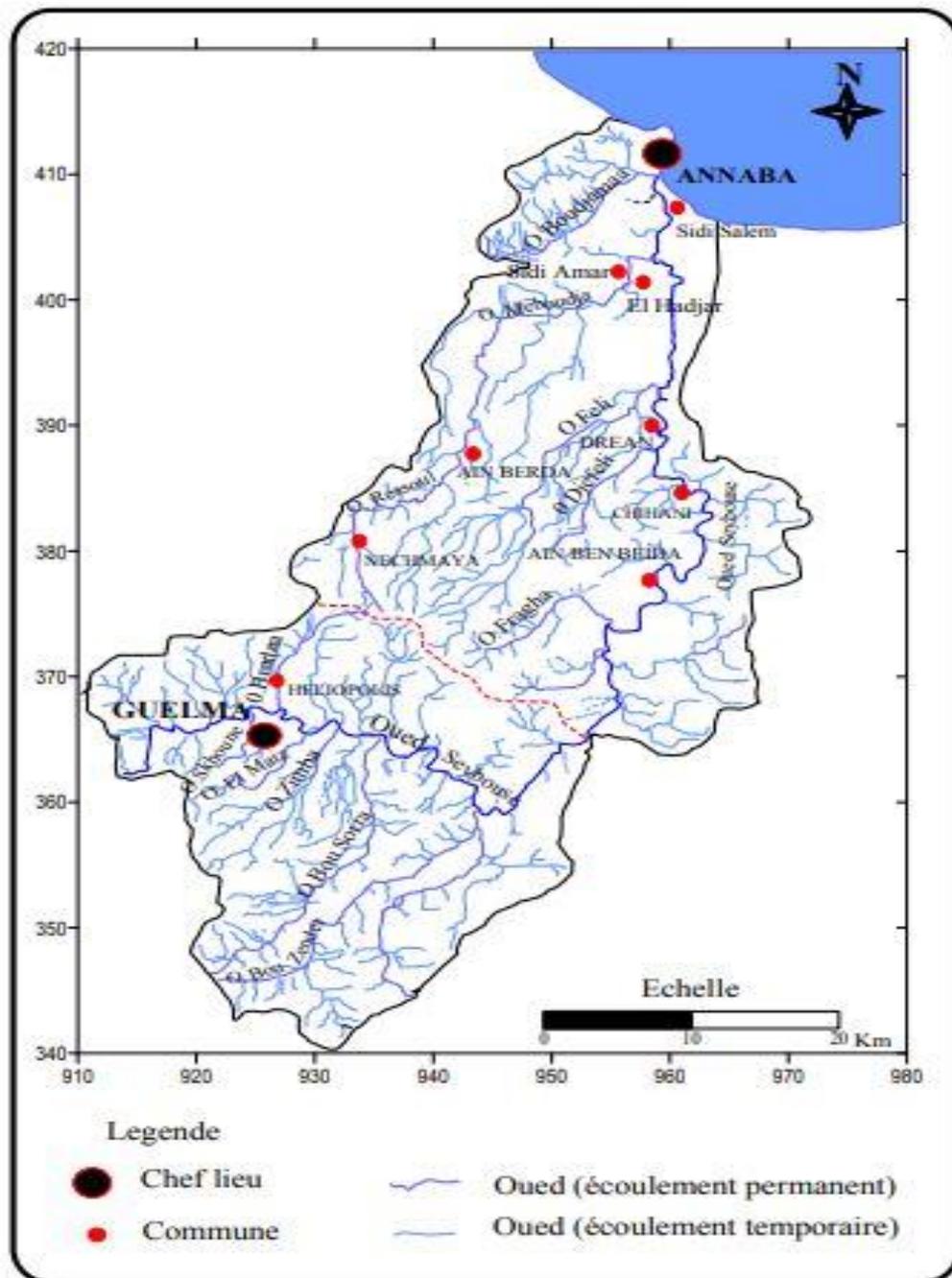
En général, les eaux superficielles constituent les principales ressources (Oued Sedrata et Oued Héliá).



**Figure 3 : Communes limitrophes de Guelma (source : Google maps).**

#### I.2.5. Principaux Oueds :

- **Oued Seybouse** : il prend sa source à Medjez Amar (point de rencontre entre l’oued Charef et l’oued Bouhamdane). Il traverse la plaine Guelma - Bouchehouf sur plus de 45 Km du Sud au Nord, et continue sa course dans la wilaya de Annaba où il a son embouchure. Il draine un bassin versant qui couvre au total une superficie de 6471 Km<sup>2</sup> (figure 3). Son apport total est estimé à 408 millions m<sup>3</sup>/an à la station de Boudroua (commune d’Ain Ben Beida). De nombreux travaux, universitaires notamment, s’intéressent à cet oued et à ses caractéristiques hydrogéologiques (par exemple : Bechiri, 2011 ; Brahmia, 2016 ; Mouchara, 2009 ; Khadri, 2009 ; Zerrouki, 2007).
- **Oued Bouhamdane** : il prend sa source dans la commune de Bouhamdane à l’Ouest de la Wilaya. Son apport est de 96 millions m<sup>3</sup>/an à la station de Medjez Amar II.
- **Oued Mellah** : il provient du Sud-Est, et son apport total est de 151 millions m<sup>3</sup>/an à la station de Bouchehouf.
- **Oued Charef** : il prend sa source au Sud de la Wilaya et son apport est estimé à 107 millions m<sup>3</sup>/an à la station de Medjez Amar I (ANDI 2013).



**Figure 4 : Réseau hydrographique du bassin de la Seybouse.**

(Source : Bechiri, 2011)

### I.3. Potentialités Naturelles

L'ensemble des chiffres cités dans cette partie provient du site internet de l'ANDI (informations datées de 2013).

#### I.3.1. Potentialités agricoles :

D'une vocation essentiellement agricole, la Wilaya de Guelma recèle un important potentiel (tableau 01), à savoir :

- Une surface agricole Totale (SAT) de 264.618 ha, soit 71,77 % de la superficie totale.
- Une surface agricole utile (SAU) de près de 187.338 ha, soit 50,81% de la superficie totale de la Wilaya et 70,80 % de la S.A.T. Ainsi, le ratio S.A.U est de près de 0,36 ha/habitant, alors que celui enregistré au niveau national est de 0,3 ha/habitant.
- Une superficie de pacages et parcours de 50.875 ha, soit 13,80% de la superficie totale de la Wilaya et 19,23 % de la SAT.
- Des terres improductives de 26.405 ha, soit 7,16% de la superficie totale de la Wilaya et 9,93% de la S.AT.
- Une superficie irrigable de près de 17.343 ha, soit 9,26 % de la SAU (elle peut augmenter, à long terme, pour atteindre 26.000 ha, soit 13,88 % de la SAU avec la mise en service totale du périmètre irrigué et les autres projets de mise en valeur, en plus de l'optimisation de la mobilisation des eaux superficielles).

Total S.A.T	S.A.U	Pacages et parcours	Terres improductives	superficie irrigable
264.618 ha	187.338 ha	50.875 ha	26.405 ha	17.343 ha
100 %	70,80 %	19,23 %	9,93 %	9,26 %

**Tableau 1 : Répartition de la superficie agricole / SAT.**

### I.3.2. Potentialités forestières :

- **Superficie de la couverture forestière totale** : 113.182 ha, soit un taux de 30,70 % de la superficie totale de la Wilaya.
- **Paysage forestier** : il est discontinu et hétérogène confiné continuellement dans des massifs répartis d'Ouest en Est.
- **Grands espaces de terrains** : à vocation forestière dans la partie Sud-est.
- **Important potentiel de bois** (Chêne zen et liège : forêts de Béni Salah à Bouchegouf, de Houara à Ain Ben Beida et Djeballah, Mahouna à Ben Djerrah et Béni Medjeled à Bouhamdane) : totalisant près de 19.771 ha de forêts et moyennant une production de l'ordre de 3.000 Stères de Chêne Zen et chêne liège et de 2.000 m<sup>3</sup> de bois.
- **Taux de reboisement** : 12%, ce taux dénote un effort considérable de reforestation du territoire.

### I.3.3. Potentialités hydrauliques :

Il existe 151,81 millions de m<sup>3</sup> d'eaux mobilisables dont :

- Les eaux souterraines : elles sont réparties dans quatre sous-bassins versants (hydriques).

**1620 points d'eau sont opérationnels**, totalisant un potentiel total mobilisable de **94,1 millions de m<sup>3</sup>/an**.

- Les eaux superficielles : **57,7 8 millions m<sup>3</sup>** se répartissant comme suit<sup>1</sup> :
  - o Barrage de Bouhamdane : **185 millions de m<sup>3</sup>**,
  - o Barrage de Medjez-Beggar (Ain Makhlouf) : **2,86 millions de m<sup>3</sup>**,
  - o Retenue de Guefta (Nechmeya) : **0,44 millions de m<sup>3</sup>**,
  - o Un important nombre de retenues collinaires (16) : **0,51 millions de m<sup>3</sup>**.

## I.4. Cadre climatique

La wilaya de Guelma est soumise à un climat de type méditerranéen, caractérisé par deux périodes différentes, l'une pluvieuse humide, l'autre sèche. Avec une pluviométrie de 570 mm/an et une température moyenne annuelle d'ordre de 18°C.

---

<sup>1</sup> En ce qui concerne les barrages et retenues collinaires, les chiffres correspondent aux capacités théoriques maximales de remplissage.

Le territoire de la Wilaya se caractérise par un climat subhumide au centre et au Nord et semi-aride vers le Sud (figure 5). Ce climat est doux et pluvieux en hiver et chaud en été.

Quant à la pluviométrie, on enregistre :

- 654 mm/an à la station de Guelma.
- 627 mm/an à la station d'Ain Larbi.
- 526 mm/an à la station de Medjez Amar.

Cette pluviométrie varie de 400 à 500 mm/an au Sud jusqu'à près de 1000 mm/an au Nord. Près de 57% de cette pluviométrie est enregistrée pendant la saison humide (Octobre à Mai).

La zone d'étude y est marquée par un réseau hydrographique constitué par l'Oued principal Seybouse qui parcourt la plaine, présentant l'axe de drainage d'un bassin versant de 6471 km<sup>2</sup>.

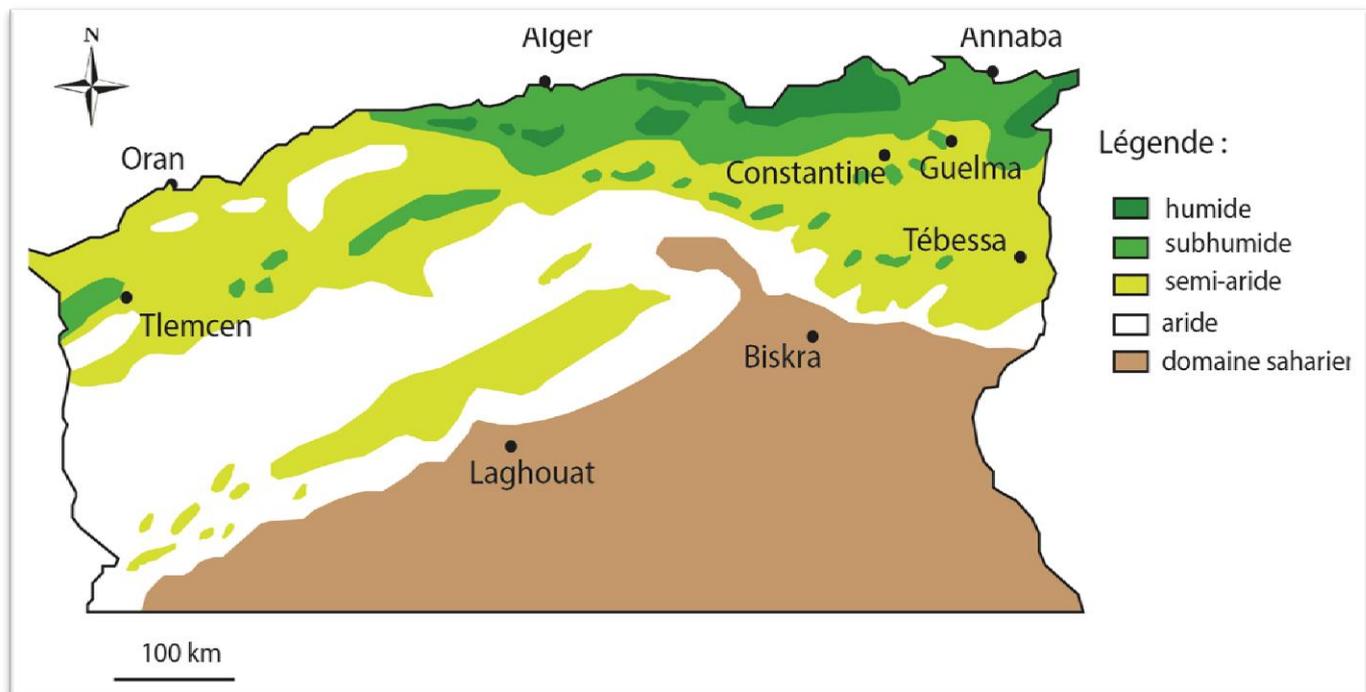


Figure 5 : Carte bioclimatique du nord de l'Algérie (Nedjraoui et Bedrani, 2008).

## **I.5. Cadre géologique**

La géologie de la région a été étudiée par divers auteurs, et notamment Vila (1974, 1980 et autres) ou Lahondère (1987).

Le cadre géologique d'un bassin versant conditionne les écoulements des eaux de surface souterraines. La zone d'étude fait partie de l'ensemble géologique du Tell d'Algérie.

Cet ensemble s'étend de la région de Constantine à la frontière Algéro-Tunisienne. Sa structure est très complexe et essentiellement due à des mouvements tertiaires, surtout d'époque Miocène (Bechiri, 2011).

La région de Guelma peut être divisée en trois grands ensembles : un ensemble anté-nappe, un ensemble mio-pliocène (continental du bassin de Guelma) et un ensemble récent (Pliocène et Quaternaire).

Les formations les plus anciennes, datées du Paléozoïque, se trouvent au niveau de Nador, à l'entrée des gorges de l'Oued Seybouse (schistes satinés et grès). Le Trias est présent à l'extrémité est de la plaine alluviale (argiles bariolées avec gypse, cargneules et calcaires dolomitiques). Le Crétacé (et le Jurassique) est bien représenté : ce sont des unités à faciès néritique, plus ou moins karstifié, qui apparaissent sous forme de fenêtres (Dj. Mahouna, Dj. Debagh, Nador, Dj. Taya). Il est surmonté de plusieurs nappes de charriage.

Les formations plus récentes correspondent aux unités telliennes (formations paléogènes, notamment riches en Nummulites) et au flysch numidien, qui forme les principaux reliefs de la région de Guelma (notamment le Dj. Mahouna).

Les formations post-nappes comportent du Mio-Pliocène (dans le bassin de Guelma : marnes à gypse, argiles et conglomérat) et des dépôts quaternaires, qui constituent, avec les formations pliocènes, la roche-réservoir de la nappe aquifère de Guelma. Le Quaternaire occupe le centre du bassin de Guelma (terrasses alluviales).

## Chapitre II : Etat de la situation dans la wilaya de Guelma

### II.1. Définition

Le terme de stress hydrique est un terme qui est apparu récemment pour définir une situation de plus en plus fréquente. Ainsi, il est employé pour montrer les périodes durant lesquelles la demande dépasse la quantité d'eau disponible (eau douce). Cela s'applique également lorsque la mauvaise qualité de l'eau (non potable, saumâtre) en limite l'usage. La demande varie considérablement entre les différents pays et régions selon l'utilisation sectorielle des eaux, et aussi selon les conditions climatiques locales de chaque pays et chaque région du pays.

Le stress hydrique entraîne une détérioration des ressources d'eau douce en termes de quantité (surexploitation des eaux souterraines, cours d'eau asséchés, etc.) et de dégradation de la qualité de l'eau (eutrophisation, pollution par la matière organique, intrusion saline, déchets industriels, etc.). Donc, on peut estimer que les causes principales de ce phénomène sont essentiellement liées à l'intervention humaine dans le cycle de l'eau.

(Rapport FAO 2012).

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) parle de stress hydrique lorsque la disponibilité en eau, par an et par habitant, est inférieure à 1.700 m<sup>3</sup>. Ce risque ne plane pas que sur les pays chauds, mais concerne également des pays froids où le gel peut bloquer l'accès à l'eau liquide (Rapport FAO 2012).

⇒ La pénurie d'eaux :

La pénurie d'eau est un terme qui définit un stade qui est plus grave que le stress hydrique, La pénurie d'eau est définie comme une différence entre l'offre disponible et la demande en eau douce dans un lieu spécifique.

Donc : Pénurie d'eau = excès de la demande en eau par rapport à l'offre disponible

La pénurie se manifeste par une demande insatisfaite, des tensions entre les utilisateurs, une concurrence pour l'eau, une surexploitation des eaux souterraines et des écoulements insuffisants dans le milieu naturel.

Le tableau 02 montre la différence entre la pénurie et le stress et donne une définition numérique des différents niveaux de stress hydrique :

Eaux douce annuelles renouvelables (m <sup>3</sup> /pers.an)	Niveau de stress hydrique
< 500	Pénurie d'eau absolue
500-1000	Pénurie d'eau chronique
1000-1700	Stress hydrique régulier
>1700	Stress hydrique occasionnel ou local

**Tableau 2 : Définitions conventionnelles des niveaux de stress hydrique.**

(Selon Falkenmark et Widstrand, 1992).

L'indicateur de pénurie nationale d'eau le plus connu est le volume d'eau renouvelable par habitant, selon lequel des valeurs seuil de 500, 1 000 et 1 700 m<sup>3</sup>/personne/an permettent de distinguer les différents niveaux de stress hydrique (Falkenmark et Widstrand, 1992; ONU-Eau, 2006). En fonction de ce critère, des pays ou régions sont considérés comme étant confrontés à une pénurie absolue d'eau si les ressources en eaux renouvelables sont < 500 m<sup>3</sup> par habitant, à une pénurie d'eau chronique si les ressources en eau se situent entre 500 et 1 000 m<sup>3</sup> par habitant et à un stress hydrique régulier entre 1 000 et 1 700 m<sup>3</sup> par habitant (Tableau 02). Cette méthode rudimentaire de mesure de la pénurie d'eau se fonde essentiellement sur des estimations du nombre de personnes qui peuvent raisonnablement vivre sur un certain volume de ressources en eau (Falkenmark, 1984).

## ⇒ Stress hydrique : conséquences et solutions

Le premier impact du stress hydrique s'observe sur la végétation. Lorsque l'évapotranspiration n'est pas compensée par des apports en eau douce, le manque d'eau se fait ressentir, les plantes mettent en œuvre des mécanismes d'adaptation qui impactent par exemple leur développement et leur croissance. Les risques de feux de forêt augmentent alors. Les productions agricoles souffrent. Puis ce sont les ressources en eau douce qui sont impactées. En effet, en période de manque d'eau, les rivières s'assèchent et les eaux souterraines risquent la surexploitation. La qualité des eaux est également dégradée (eutrophisation, pollution, intrusions salines, etc.).

Pour prévenir l'occurrence d'un stress hydrique, il faut d'abord éviter de gaspiller l'eau. Mais on peut également mettre en œuvre des méthodes de récupération et de traitement de l'eau de pluie ou de l'eau de mer (dessalement — par osmose inverse ou par une technologie thermique).

La survenue d'un stress hydrique, voire d'une pénurie, peut donc être liée à plusieurs facteurs, parmi lesquels le climat en premier lieu (pluviométrie, température), mais également l'importance de la consommation de l'eau (par l'agriculture ou pour l'eau potable) ou l'efficacité du réseau de distribution de cette eau. Ces différents aspects vont être développés dans ce qui suit. Dans ce travail, nous allons donc présenter quelques chiffres traduisant ces différents aspects pour les différentes communes de la wilaya de Guelma, en cherchant à expliquer les causes qui sont liés à ce phénomène.

## **II.2. Les données**

### II. 2.1. Introduction

Afin de réaliser ce travail, et dans le but de collecter un maximum de données, divers organismes étatiques ont été sollicités, avec plus ou moins de succès. Il s'agit de :

- L'ONS (bureau régional de Constantine),
- La station météorologique de Belkheir,
- L'ADE (Guelma),
- La direction de services agricoles (Guelma),
- La direction des ressources hydriques (Guelma),
- La station d'épuration de Hammam Debagh.

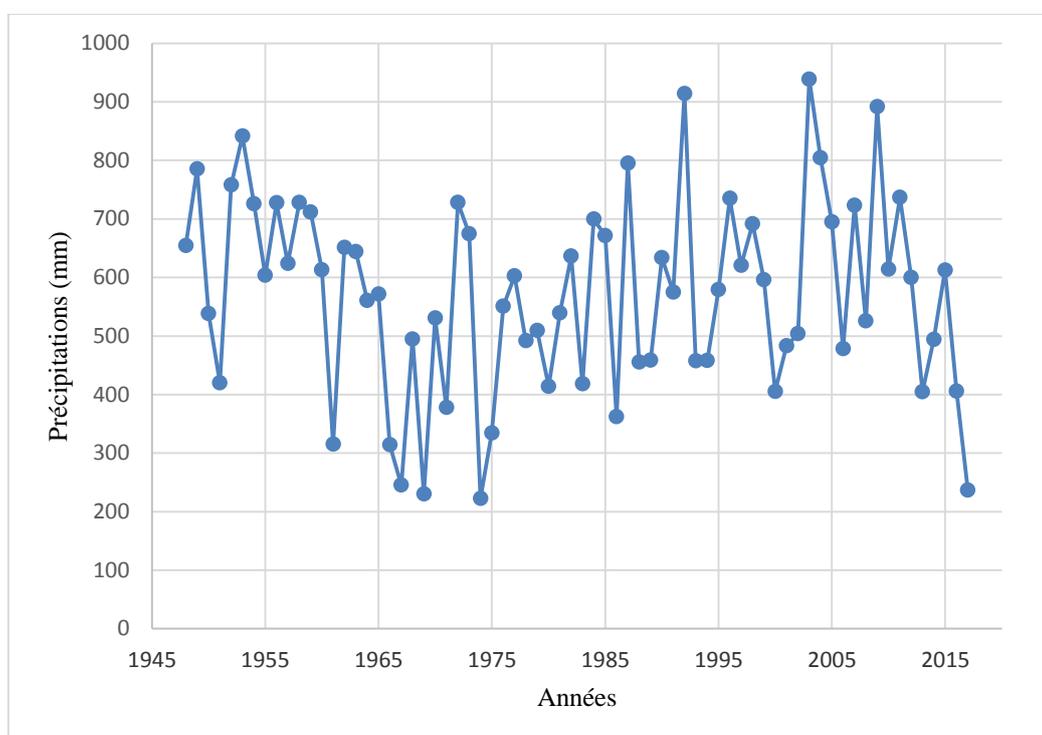
Les données malheureusement manquantes ont été recherchées sur le Web, notamment sur divers sites officiels algériens (Ministères, ANDI, ONS...) ou étrangers (ONU, FAO, Unesco, Banque Mondiale, CIA, diverses ONG).

Les données climatiques (températures et précipitations) ont été obtenues sur une période allant de 1948 à 2017. Pour la période de 1948 à 2010, les données proviennent de la station de station de Belkheir, et la période de 2010 à 2017 de la station de traitement et de station de hammam debagh / Guelma.

## II.2.2. Température et pluviométrie

### 2.2.1. Pluviométrie moyenne

La figure (6) présente l'évolution de la pluviométrie moyenne annuelle sur la période 1948-2017.



**Figure 6 :** Pluviométrie moyenne de la période (1948-2017).

#### *Analyse des résultats :*

La pluviométrie moyenne sur la période d'étude est égale à 571,99 mm, mais on observe une grande variabilité entre les années, avec un minimum de 222,6 mm en 1974 et un maximum de 938,5 mm en 2003.

Si on étudie l'évolution de la pluviométrie, on constate que la période la plus sèche est comprise entre les années 1961 et 1975. Cette période comprend 6 des 10 années les plus sèches de l'enregistrement.

Les deux dernières années font également parties des 10 années les plus sèches.

Pour la période d'étude (données détaillées disponibles entre 1988 et 2017), les mois les plus pluvieux se trouvent en hiver principalement, et en automne : il s'agit des mois de janvier (P moy = 87,25 mm), décembre (P moy = 75,46 mm), novembre (P moy = 71,95 mm) et février (P moy = 66,33 mm).

Le mois le plus sec est le mois de juillet, avec une moyenne de précipitation de 2,76 mm.

L'évolution décennale de la pluviométrie (voir tableau suivant) ne paraît pas significative.

Décennies	Pluviométrie moyenne (en mm)
1948 à 1957	667,71
1958 à 1967	535,36
1968 à 1977	474,53
1978 à 1987	553,73
1988 à 1997	588,65
1998 à 2007	631,91
2008 à 2017	552,06

**Tableau 3** : Evolution décennale de la pluviométrie.

### 2.2.2. Coefficient pluviométrique

Il est calculé comme suit :

$$CP = P_i/P$$

CP : Le coefficient pluviométrique

P<sub>i</sub> : Pluviométrie d'une année donnée (mm)

P : Pluviométrie moyenne sur la période d'étude (mm)

La table sera ajoutée comme annexe à la fin de ce travail.

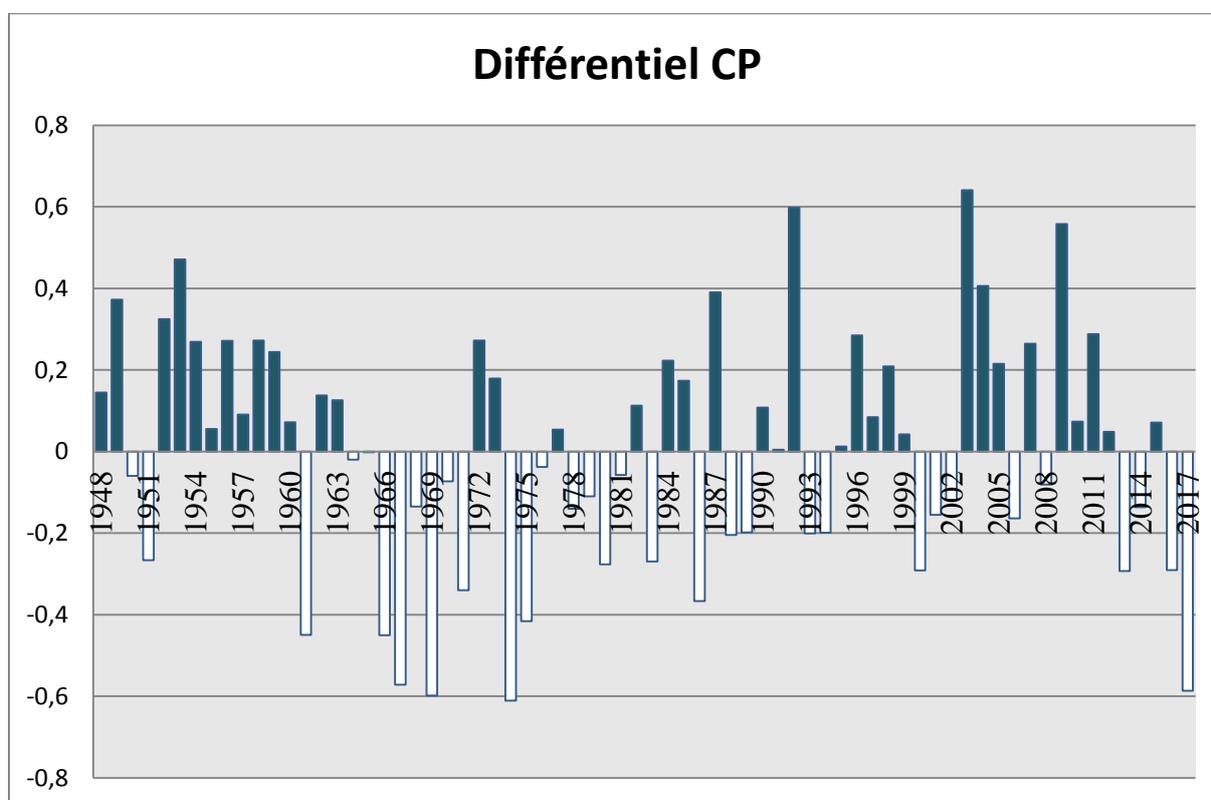
Le coefficient pluviométrique est défini comme le rapport entre les précipitations annuelles sur la moyenne des maxima et des minima de précipitation de chaque mois de toute la période d'étude dans une région déterminée.

Il est calculé pour avoir une idée sur les quantités de précipitation dans une région pendant une période de temps et comparer avec la moyenne des précipitations. Il permet de faire des comparaisons entre différentes périodes de temps, et de définir les années déficitaires (moins d'eau que la moyenne) et les années excédentaires (plus d'eau que la moyenne).

La figure 7 représente l'évolution dans le temps du coefficient pluviométrique. Les valeurs du coefficient sont comprises entre 0,41 et 1,64. La valeur 1 correspond à la valeur moyenne de référence (P).

Remarque : Pour plus de lisibilité sur la figure, les valeurs inférieures à 1 (années déficitaires) sont considérées comme négatives et les valeurs supérieures à 1 sont positives.

La valeur moyenne est égale à 0 dans la figure (ex : pour CP = 0,41, la valeur retenue dans la figure est  $-(1-0.41) = -0,59$ ).



**Figure 7** : Coefficient pluviométrique de la période (1948-2017).

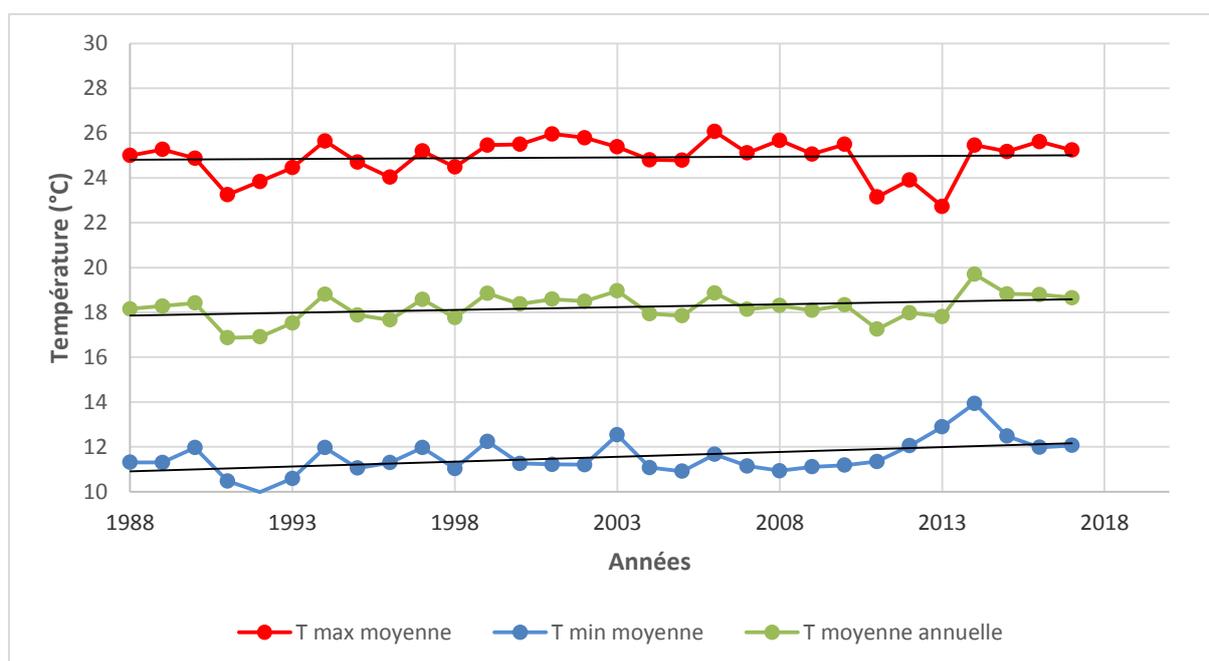
### Analyse des résultats :

L'indice pluviométrique a été calculé pour la période de (1948-2017). Il nous permet d'apprécier l'évolution temporelle de la pluviométrie dans la wilaya de Guelma. Les données sont issues de différentes stations, ce qui peut nous aider à avoir une idée plus large sur la pluviométrie de la wilaya.

Les données disponibles couvrent une période de 70 ans. On remarque une tendance à l'augmentation des quantités de précipitation pour 37 années (ce sont les années excédentaires), ce qui représente environ 52 % du total. Les autres années sont des années déficitaires. L'évolution est donc contrastée. Dans environ 25 % des cas, les précipitations sont très proches de la pluviométrie moyenne.

### 2.2.3. Température moyenne

La figure 8 présente l'évolution des températures moyennes<sup>2</sup> sur la période 1988-2017 (sur la figure ont été insérées trois courbes : température moyenne annuelle, température minimale moyenne annuelle et température maximale moyenne annuelle).



**Figure 8** : Evolution des températures de 1988 à 2017.

<sup>2</sup> Les données concernant les températures de la période 1948 – 1988 ne sont pas disponibles.

*Analyse des résultats :*

La température moyenne sur la période d'étude est égale à 18,22 °C. L'année la plus chaude est 2014. Les quatre dernières années sont parmi les dix années les plus chaudes de l'enregistrement (1988 - 2017).

L'étude de l'évolution décennale des températures indique que la température moyenne évolue à la hausse, avec une différence de 0,5 °C entre la décennie la plus froide et la plus chaude (tableau 4).

La température maximale moyenne ne connaît pas d'évolution significative. En revanche, la température minimale moyenne est en nette hausse, avec une augmentation moyenne de 0,8 °C entre la décennie la plus froide et la plus chaude.

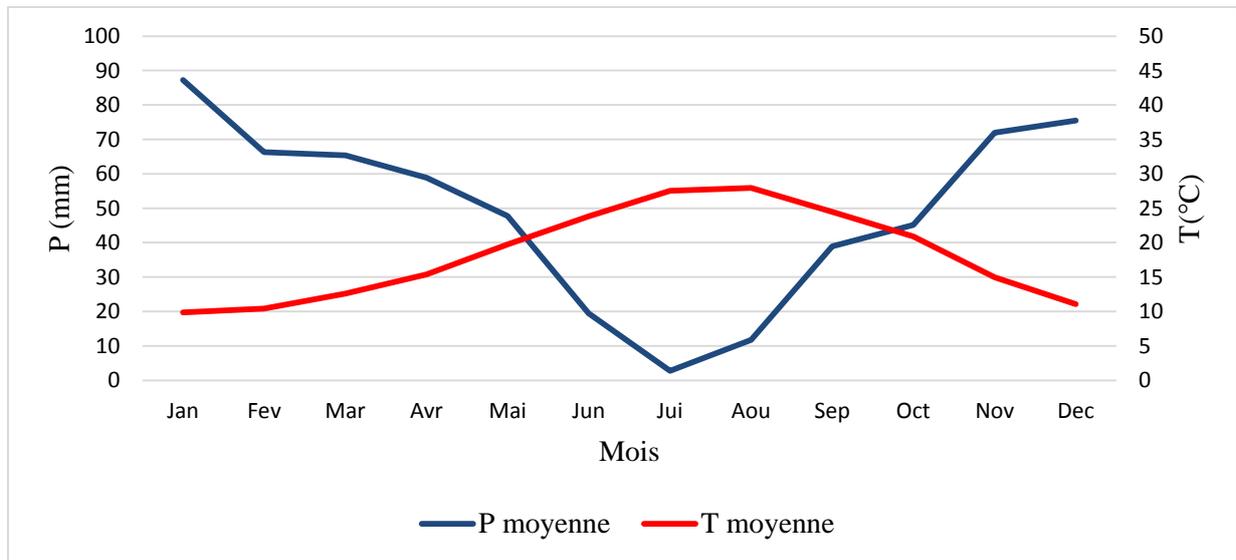
	T°C moyenne	T°C max moyenne	T°C min moyenne
1988 à 1997	17,9	24,6	11,2
1998 à 2007	18,4	25,3	11,4
2008 à 2017	18,4	24,7	12

**Tableau 4** : Evolution décennale des températures.

La table sera ajoutée comme annexe à la fin de ce travail.

#### 2.2.4. Le diagramme pluvio-thermique

Ce diagramme a été réalisé pour la période 1988 à 1947 :



**Figure 9 : Diagramme climatique Guelma.**

*Analyse des résultats :*

On voit sur la figure que l'écart des précipitations entre le mois le plus sec (juillet) et le plus humide (janvier) est d'environ 85 mm, tandis que l'écart de température entre ces deux mêmes mois est d'environ 18 °C. Le mois le plus chaud est donc le mois de juillet (moyenne de 27,95 °C) et le plus froid est le mois de janvier (moyenne de 9,87 °C).

On constate également sur ce diagramme l'existence de deux saisons bien marquées :

- Une saison sèche, de la fin du mois de mai au début d'octobre. Cette saison dure environ 5 mois.
- Une saison humide pour le reste de l'année. La saison humide a donc une durée plus longue que la saison sèche.

#### 2.2.5. L'indice d'aridité

L'**indice d'aridité** (I) est un indicateur numérique du degré de sécheresse du climat à un endroit donné à une période donnée. Il peut être annuel ou mensuel.

Cet indicateur permet d'identifier, de localiser ou de délimiter les régions qui souffrent d'un déficit d'eau disponible, une condition qui peut affecter gravement l'efficacité de l'utilisation des terres pour des activités telles que l'agriculture ou la potabilité (l'utilisation humaine en général).

Cet indicateur a été mis au point par Emmanuel de Martonne (en 1926).

La formule de calcul est la suivante :

Indice d'aridité annuel :

indice d'aridité mensuel :

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

$$I = 12 * P / (10 + T)$$

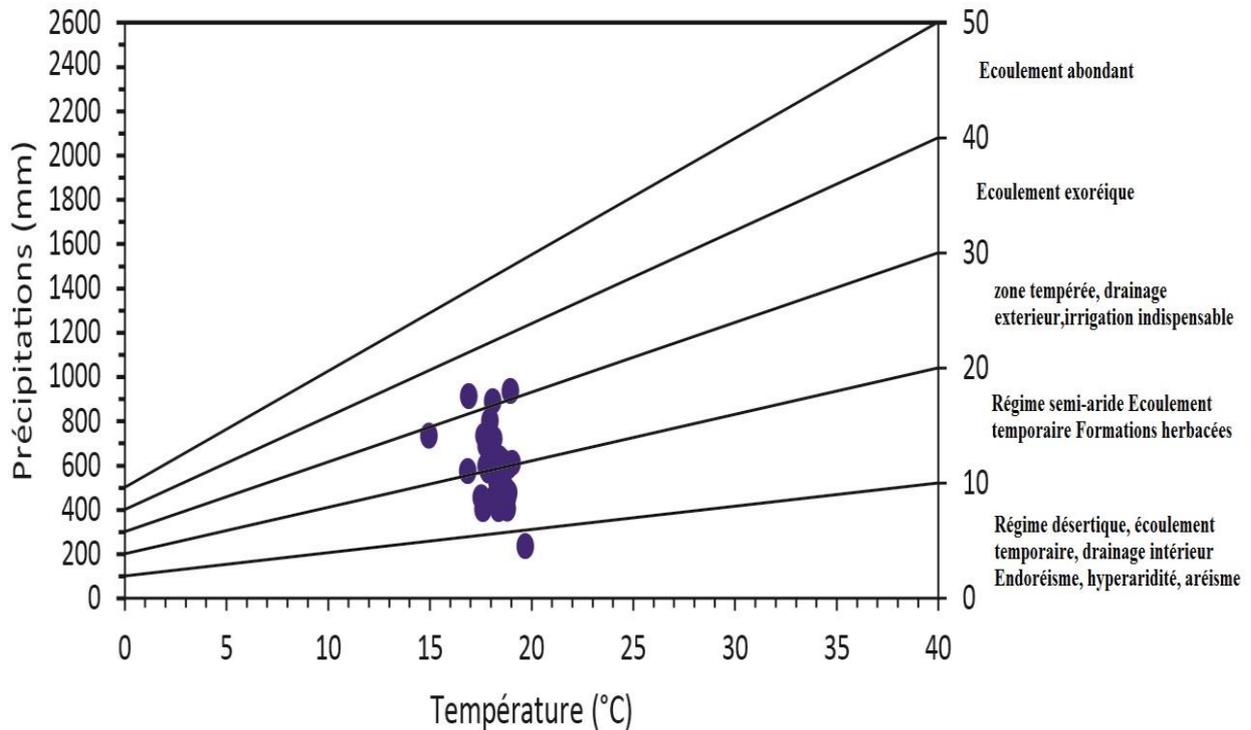
Le tableau 5 donne la correspondance entre les valeurs de l'indice d'aridité, le type de climat, le type de végétation et quelques exemples.

Valeur de I	Type de climat	Type de végétation potentielle	Exemple
0 à 5	Hyper- aride	Désert absolu	Vallée de la mort aux USA
5 à 10	Aride	Désert	Désert du Sahara, Désert de l'Arizona (USA)
10 à 20	Semi- aride	Steppe	Sahel, Kalahari
20 à 30	Semi- humide	Prairie naturelle, forêt	Région Parisienne, région de Marseille (France)
30 à 40	Humide	Forêt	Nord de la France (région de Lille)
40 à 55	Humide	Forêt	Nord-ouest de la France - façade atlantique (région de Rouen, Dieppe)

**Tableau 5** : Valeurs de l'indice d'aridité.

(Source <http://jymassenet-foret.fr/cours/ecologie/CHAPITREclimato2012ppt.pdf>)

La figure 10 montre l'évolution de l'indice d'aridité pour la région de Guelma :



**Figure 10** : Indice d'aridité (période 1988 – 2017).

*Analyse des résultats :*

Le calcul de l'indice d'aridité a été fait sur une période de 1988 à 2017 (figure 10).

Les données sont issues de différentes stations, ce qui permet d'avoir une analyse générale sur l'aridité de la wilaya, malheureusement la période d'étude est relativement 'courte' (29 ans).

On observe une forte variabilité au cours de la période.

Selon les années, la région de Guelma se caractérise principalement par deux types de climat :

- Le type de climat dominant est le **climat tempéré ou semi-humide** (14 années), avec un indice d'aridité compris entre 20 et 30,
- Le climat de **type semi-aride**, avec un indice compris entre 10 et 20, est également fréquent (12 années),

- Enfin, quelques années se caractérisent par un écoulement de type **exoréique et un climat de type humide** (3 années), voire même par un climat de type **désertique** (l'année 2017).

Les cinq dernières années présentent majoritairement un climat semi-aride voire aride (4 années).

## **II.3. Utilisation de l'eau**

### **II. 3.1. Par l'agriculture**

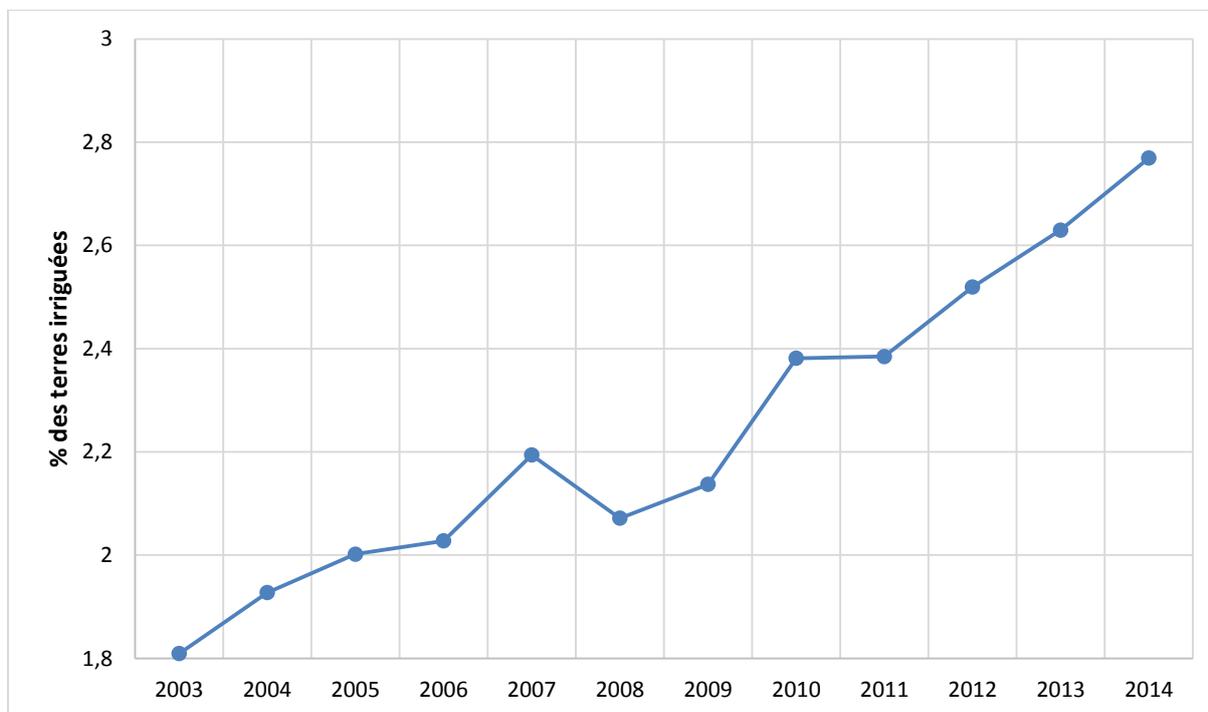
L'agriculture est un processus par lequel les êtres humains aménagent leurs écosystèmes et contrôlent le cycle biologique d'espèces domestiquées, dans le but de produire des aliments et d'autres ressources utiles à leurs sociétés . Elle désigne l'ensemble des savoir-faire et activités ayant pour objet la culture des sols, et, plus généralement, l'ensemble des travaux sur le milieu naturel (pas seulement terrestre) permettant de cultiver et prélever des êtres vivants (végétaux, animaux, voire champignons ou microbes) utiles à l'être humain.

Parmi les différents secteurs, c'est l'agriculture qui utilise les plus grandes quantités d'eaux pour l'irrigation des différentes cultures. Chaque type de culture nécessite différentes quantité d'eaux, donc les besoins en eaux vont être différents pour chaque année ou bien chaque saison.

L'Algérie est classée parmi les pays qui souffrent d'un déficit en eau, qu'elle soit potable ou destinée à l'irrigation. Les agriculteurs ont également parfois une consommation irrationnelle de l'eau, en utilisant différents types d'irrigation qui menace les réserves d'eaux.

La figure 11 montre l'évolution du pourcentage des terres irriguées pour la période 2003 – 2014, et ce au niveau national. Ce graphe montre le fort développement des terres irriguées, dont la proportion s'est accrue de plus de 50 % en l'espace de 10 ans.

Les données illustrées dans cette figure et la suivante sont issues du site (<https://data.worldbank.org> ) (Agence spécialisée de l'ONU). Aucune donnée n'a pu être obtenue au niveau local (direction des services agricoles), essentiellement par faute de temps.



**Figure 11** : Evolution du pourcentage des terres irriguées au niveau national (2003 – 2014).

Source (<https://data.worldbank.org>)

Selon le site du Ministère de l’Agriculture, les objectifs sont d’augmenter de façon importante la superficie des terres irriguées afin d’augmenter le rendement agricole. A titre d’exemple, pour les céréales, les surfaces irriguées ont presque été multipliées par 10 en 25 ans (augmentation de 204 250 ha entre 1990 et 2015), et les objectifs de développement pour les années à venir sont très ambitieux :

Années	1990	1995	1999	2015	2019 (objectif)
Terres irriguées (ha)	25 750	48 250	73 310	230 000	600 000

**Tableau 6** : Evolution des surfaces des terres irriguées pour les céréales (Source : Ministère Agriculture).

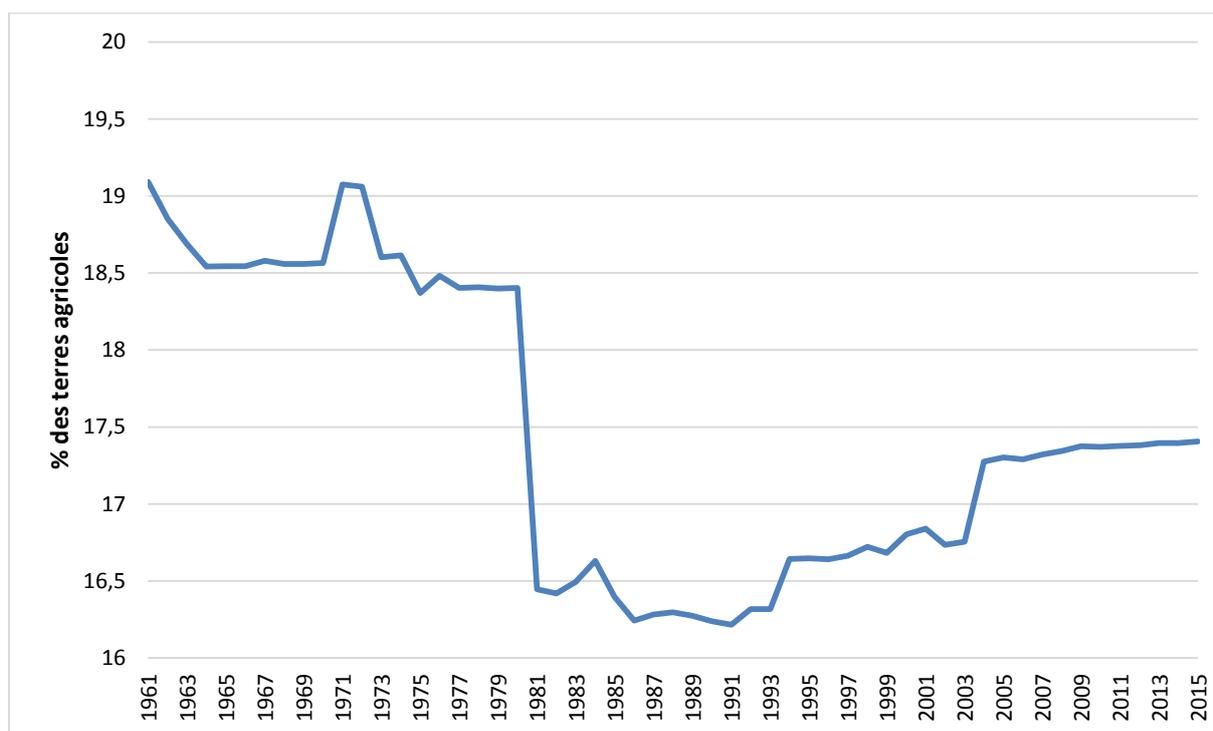


Figure 12 : Terre agricole (% de la superficie) de 1960 à 2015. Source (<https://data.worldbank.org>).

Le graphe ci-dessus montre l'évolution de la proportion des terres agricoles. L'évolution peut être divisée en deux parties ou deux phases, la première (1960 – 1980) étant caractérisée par une diminution du pourcentage des terres agricoles (on passe d'environ 19 % à moins de 16 %). A partir de 1980, la proportion augmente de façon irrégulière, et semble se stabiliser au début de 2005.

Pour permettre leur croissance végétative et leur développement, les plantes ont besoin d'eau appropriée en qualité et en quantité, à portée de leurs racines et au bon moment. La plus grande partie de l'eau absorbée par une plante sert à transporter les nutriments dissous du sol jusqu'aux organes aériens des plantes, d'où elle est libérée dans l'atmosphère par transpiration: l'utilisation de l'eau en agriculture est intrinsèquement consommatrice. Chaque culture a des besoins en eau particuliers, qui varient selon les conditions climatiques locales. A titre indicatif, la production d'un kilogramme de blé nécessite environ 1 000 litres d'eau qui retournent dans l'atmosphère, alors que le riz peut en exiger deux fois plus.

La production de viande requiert entre six et vingt fois plus d'eau que celle des céréales, selon le facteur de conversion aliments/viande applicable. Le tableau 7 donne la valeur de l'équivalent en eau propre à divers produits alimentaires. Il est possible, à partir de ces valeurs, de déduire très approximativement le volume d'eau nécessaire à la ration alimentaire humaine, en fonction de la taille et de la composition des repas (<http://www.fao.org>).

Produit	Unité	Equivalent en eau m <sup>3</sup> par unité
Bovin	Tête	4000
Moutons et chèvres	Tête	500
Bœuf frais	Kg	15
Agneau frais	Kg	10
Volaille fraîche	Kg	6
Céréales	Kg	1,5
Agrumes	Kg	1
Huile de palme	Kg	2
Légumineuses, racines et tubercules	Kg	1

**Tableau 7 :** Equivalent en eau des principaux produits alimentaires.

(Source : <http://www.fao.org>)

Ce tableau donne des exemples des volumes d'eau nécessaires à la production d'une unité des principaux produits alimentaires dont le bétail, qui consomme le plus d'eau par unité. Les céréales, les cultures oléagineuses et les légumineuses, racines et tubercules consomment beaucoup moins d'eau.

**- Les techniques d'irrigation agricole :**

Les techniques d'irrigation agricole sont des méthodes pour apporter de l'eau aux cultures et sont classifiées en irrigation de surface, irrigation par aspersion et micro irrigation. Décider de sélectionner une technique d'irrigation ou de passer à une technique plus efficiente est compliqué. D'un point de vue de la préservation de l'eau, le choix est simple, les économies en eaux augmentent lorsque l'on passe de l'irrigation de surface à l'aspersion et de l'aspersion à la micro irrigation. Cependant, le succès d'une technique d'irrigation sera très

dépendant du site, de facteurs de situation ainsi que du niveau de gestion utilisé. La technique d'irrigation existante doit être évaluée très précisément avant de passer à une autre technique.

Les principaux types d'irrigation sont les suivants :

a. Les systèmes d'irrigation de surface

Les systèmes d'irrigation de surface sont classés dans l'ordre croissant de leur efficacité en

- ⇒ Irrigation par ruissellement.
- ⇒ Irrigation par planches.
- ⇒ Irrigation à la raie.
- ⇒ Irrigation par bassins.

Les deux caractéristiques qui distinguent l'irrigation de surface des autres techniques d'irrigation sont que l'eau s'écoule librement sous l'action de la gravité et que les moyens sur le terrain de transport et de distribution sont la surface du champ (Walker, 1989 *in* Barta et al., 2004).

⇒ Irrigation par ruissellement :

L'eau d'irrigation est apportée par ruissellement à partir des fossés du champ sans vrai contrôle par des digues ou par d'autres méthodes limitant le mouvement de l'eau (Schwab et al., 1993 *in* Barta et al., 2004). Cette façon de faire est souvent comparée à une inondation sauvage. Bien que ces méthodes soient intéressantes pour leur faible coût initial et pour le travail demandé, elles ne le sont pas pour leur faible efficacité et leur faible uniformité. Cette méthode est généralement utilisée sur les terrains vallonnés lorsqu'il n'est pas possible d'implanter des planches, des bassins ou des raies et où l'eau à apporter est suffisante.

⇒ Irrigation par planches :

L'irrigation par planches est l'apport d'eau sur des longues parcelles en pente et rectangulaire avec des conditions de drainage à l'extrémité basse du champ. Les planches sont disposées dans le sens de la plus grande pente, 10 à 20 m de large, 100 à 400 m de long avec de petites levées de terre entre les bandes pour canaliser l'eau durant l'irrigation (Schwab et al., 1993 *in* Barta et al., 2004). Le terrain entre les planches doit être nivelé perpendiculairement à la direction de l'eau. L'irrigation par planche convient très bien pour la plupart des types de cultures et de sol, mais elle est favorisée par les sols ayant une vitesse d'infiltration lente et les cultures qui tolèrent l'accumulation d'eau en surface.

⇒ Irrigation à la raie :

Alors qu'avec les autres techniques d'irrigation de surface l'eau recouvre la totalité de la parcelle, l'irrigation à la raie ne couvre qu'un cinquième ou la moitié de la surface.

Les raies dont la taille varie, peuvent être placées dans le sens de la pente ou selon les courbes de niveau. De petits sillons peu profonds, sont typiquement utilisés pour les cultures denses telles que les céréales basses, alors que des raies plus larges et plus profondes conviennent pour les cultures en ligne comme le maïs. Par rapport aux autres techniques d'irrigation de surface, l'irrigation à la raie permet, sur l'exploitation, de gérer l'eau avec plus de flexibilité. Le débit unitaire est considérablement réduit et cette technique peut être pratiquée avec des pentes allant jusqu'à 12% si les raies sont placées selon les courbes de niveau avec un débit dimensionné pour être non érosif.

Si les raies ne sont pas disposées selon les courbes de niveau, la pente maximale recommandée est de 3% ou moins. Avec cette technique d'irrigation, la surface mouillée plus petite diminue les pertes par évaporation. Les raies offrent plus de possibilités à l'irrigant de gérer de façon plus efficace les irrigations lorsque, en cours de saison, les conditions sur la parcelle varient. Cependant, l'irrigation à la raie n'est pas toujours efficace et un ruissellement important peut se produire si un débit d'entrée constant est maintenu pendant l'arrosage.

⇒ Irrigation par bassins :

Les bassins sont généralement de forme rectangulaire, nivelés et entourés par une digue pour éviter le ruissellement. La mise en eau des bassins est généralement ni dirigée, ni contrôlée et elle peut être efficace si un débit important est disponible pour recouvrir rapidement la parcelle (Schwab et al., 1993 *in* Barta et al., 2004). Quelques cultures et types de sol ne se prêtent pas à l'irrigation par bassins et elle convient mieux aux sols peu filtrants et aux cultures denses à enracinement profond (Walker 1989 *in* Barta et al., 2004). Le nivellement du terrain est très important pour obtenir une uniformité et une efficacité élevées pour toutes les techniques d'irrigation de surface.

⇒ L'irrigation par aspersion

L'irrigation par aspersion est un moyen polyvalent pour arroser n'importe quels types de cultures, de sols et de topographies (Schwab et al., 1993 *in* Barta et al., 2004). Elle peut être efficace dans des conditions de sols ou de topographies pour lesquelles les méthodes d'irrigation de surface ne le sont pas. En général les systèmes sont définis selon le type de

déplacement des rampes sur lesquelles sont fixés différents types d'asperseurs. Les rampes sont fixes ou mobiles.

Dans ce dernier cas, elles sont déplacées manuellement ou mécaniquement. L'irrigation par aspersion a une efficacité élevée mais pose des problèmes dus aux exigences en main d'œuvre et aux coûts d'investissement.

Les rampes déplacées manuellement nécessitent les investissements les plus faibles mais un besoin en main-d'œuvre très élevé. Ce système ne peut être utilisé que sur les cultures à faible développement.

Un pivot est constitué par une canalisation tournant autour d'un point pivot central sous l'action de la pression d'eau ou d'un moteur (Schwab et al., 1993 *in* Barta et al., 2004).

Différents types de buses, à différentes hauteurs et avec différentes pluviométries peuvent être utilisés sur les pivots. Pour avoir la meilleure efficacité possible, le choix des asperseurs doit correspondre aux conditions de sol.

Les rampes frontales utilisent des structures semblables à celles des pivots mais dans le champ elles se déplacent parallèlement à elles-mêmes. Dans le cas de la couverture intégrale les asperseurs sont installés sur l'ensemble de la parcelle et tous ou seulement quelques uns fonctionnent en même temps.

#### b. Les systèmes de micro-irrigation

La micro-irrigation est une technique d'irrigation apportant l'eau sur le sol lentement, avec une fréquence élevée, une pression de fonctionnement et des débits faibles et contrôlés (Schwab et al., 1993 *in* Barta et al., 2004). Correctement conçue, une installation de micro-irrigation permet d'augmenter les rendements et de diminuer les besoins en eau, en fertilisants et en main-d'œuvre. La micro-irrigation comprend : les micro-asperseurs, le goutte à goutte et l'irrigation goutte à goutte enterrée (SDI).

Les *micro-asperseurs* comprenant, les mini diffuseurs, les microdiffuseurs et les bruisseurs correspondent à des petits distributeurs placés sur de petits tubes allongés au-dessus de la surface du sol. L'eau projetée dans l'air parcourt une faible distance avant d'atteindre le sol. Avec cette technique, la faible surface mouillée par le distributeur est contrôlée aisément avec exactitude et peut présenter différentes formes correspondant aux types d'arrosage choisis.

Les installations d'irrigation par micro-asperseurs permettent de pratiquer la lutte antigel, d'avoir une plus grande flexibilité lors des arrosages et une sensibilité plus faible au colmatage.

Les systèmes *goutte à goutte* apportent l'eau directement sur ou dans le sol (SDI) et ne mouillent qu'une partie seulement du sol. Ils présentent des avantages car l'eau est apportée directement ou juste à côté de la zone racinaire des plantes minimisant ainsi les pertes par percolation et réduisant ou supprimant la surface mouillée permettant à l'eau de s'évaporer et éliminant les pertes par ruissellement. Ils réduisent également l'utilisation de l'eau par les mauvaises herbes et fonctionnent à très faible pression. Les systèmes de micro-irrigation arrosent selon une fréquence élevée créant ainsi dans le sol des conditions d'humidité optimales pour la plante.

Avec une gestion appropriée, la micro-irrigation économise de l'eau car celle-ci est apportée en faible quantité uniquement dans la zone racinaire ce qui évite les pertes par percolation profondes, l'utilisation de l'eau par des adventices ou l'évaporation à partir de la surface du sol. De plus, tout en étant très efficace une installation d'irrigation *goutte à goutte* bien conçue demande peu de main d'œuvre.

On constate également un accroissement des rendements des cultures car le niveau élevé, temporaire, de l'humidité du sol, nécessaire pour satisfaire les besoins en transpiration de la plante, est maintenu (Colaizzi et al, 2003 *in* Barta et al., 2004).

Source (Barta et al., 2004).

Dans la région de Guelma, plusieurs types d'irrigation ont été utilisées ces dernières années, avec notamment de l'irrigation par aspersion, qui semble peu à peu remplacer par une irrigation de type gouttes à gouttes (informations détaillées non disponibles).

## II. 3.2. Pour l'eau potable

### 3.2.1. Démographie :

Le nombre de régions en pénurie d'eau augmente, la croissance démographique étant le facteur dominant dans la raréfaction de l'eau. Toutefois, d'après une grande étude internationale, les changements dans le cycle hydrologique, associés au réchauffement climatique, menaceraient 40 % de Terriens de plus que l'estimation actuelle, obtenue en ne considérant que l'augmentation de la population.

Les données disponibles pour la wilaya de Guelma sont les suivantes :

La wilaya de Guelma avec ces 10 Dairas et 34 communes a connu une croissance démographique très important dans les dernières années :

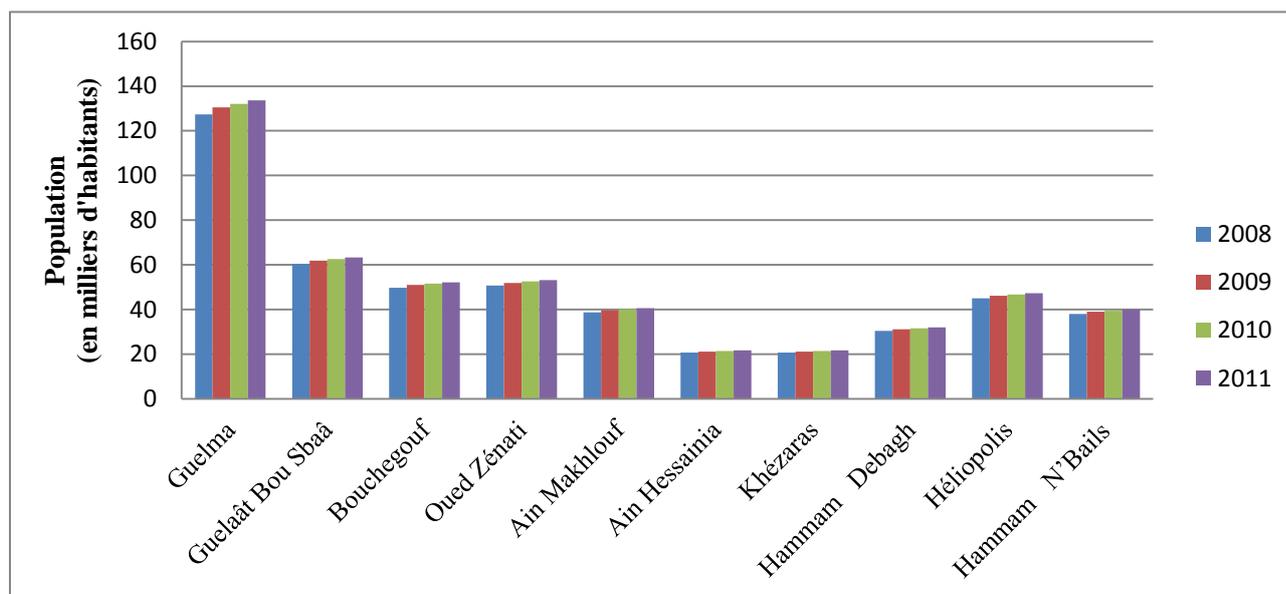
Années	Guelma	Guelaât Bou Sbaâ	Bouchegouf	Oued Zénati	Ain Makhlouf	Ain Hessainia	Khézaras	Hammam Debagh	Héliopolis	Hammam N'Bails
2008	127.400	60.452	49.794	50.716	38.798	20.76	20.738	30.537	45.108	38.128
2009	130.476	61.912	50.996	51.94	39.735	21.261	21.239	31.274	46.197	39.049
2010	132.042	62.654	51.609	52.564	40.211	21.515	21.493	31.649	46.751	39.517
2011	133.626	63.406	52.227	53.195	40.694	21.774	21.751	32.029	47.312	39.991

Tableau 8 : Répartition de la population par Daira (années 2008, 2009, 2010 et 2011).

- **Population (1977)** : Population totale : 276 998 Hab
- **Population (1987)** : Population totale : 353 226 Hab
- **Population (1998)** : Population totale : 430 000 Hab
- **Population (2008)** : Population totale : 482 430 Hab
- **Population (2009)** : Population totale : 494 097 Hab
- **Population (2010)** : Population totale : 500 007 Hab
- **Population (2011)** : Population totale : 506 007 Hab

Le tableau 8 ci-dessous montre la population de chaque Daira de la wilaya de Guelma pendant 4 années :

Source (<http://www.dcwguelma.dz>)



**Figure 13** : Répartition de la population par Daira (année 2008, 2009, 2010 et 2011).

Les données ci-dessus indiquent une augmentation continue de la population pendant la période d'étude. La population globale dans la wilaya a ainsi augmenté de 229 009 habitants entre 1977 et 2011, ce qui représente une augmentation de plus de 80 %.

La figure 13 montre la croissance de la population de chaque Daira de Guelma. Dans chaque daira, l'augmentation de la population est continue entre les années, mais elle n'est pas remarquable.

Sur le site de l'ONS, les données récentes disponibles permettent de calculer le solde naturel ainsi que le taux d'accroissement naturel (calculé en %).

Ces valeurs sont calculées de la façon suivante :

⇒ *Le solde naturel* :

C'est la différence entre le nombre de naissances vivantes et le nombre de décès calculé le plus souvent au cours d'une année.

En général, le nombre de naissances est supérieur à celui des décès, on parle alors d'accroissement naturel.

Lorsque le nombre de décès est supérieur à celui des naissances, on parle d'accroissement négatif.

Le taux d'accroissement naturel est le rapport du solde naturel à la population totale moyenne de cette période. Il est en général calculé pour une année et est aussi égal à la différence entre le taux de natalité et le taux de mortalité.

⇒ *La croissance démographique :*

Il s'agit de l'augmentation de l'effectif d'une population au cours d'une période donnée.

La croissance démographique correspond à la somme du solde naturel et du solde migratoire, calculé en général pour une année. L'effectif d'une population augmente quand il y a excédent des naissances sur les décès (solde naturel) et des entrées de migrants sur les sorties (solde migratoire). Le taux d'accroissement annuel est le rapport entre la variation de la population au cours d'une année et son effectif au milieu de l'année.

Calcul du solde naturel (tableau 9):

Pour la wilaya de Guelma, le nombre de naissances est largement supérieur à celui des décès, le solde naturel est donc le suivant :

Années <sup>3</sup>	Nombre des naissances	Nombres des décès	Solde naturel
2012	9 085	2 016	7069
2014	10 098	2 097	8001
2015	10 265	2 244	8021

**Tableau 9** : Solde naturel pour la wilaya de Guelma. Années 2012, 2014 et 2015 (Source : ONS).

Estimation du taux d'accroissement naturel (tableau 10) :

La population globale de la wilaya n'étant pas connue à ce jour, une estimation peut être proposée à partir des données disponibles.

La valeur la plus récente connue est celle de 2011, la population totale est alors de 506 007 habitants.

---

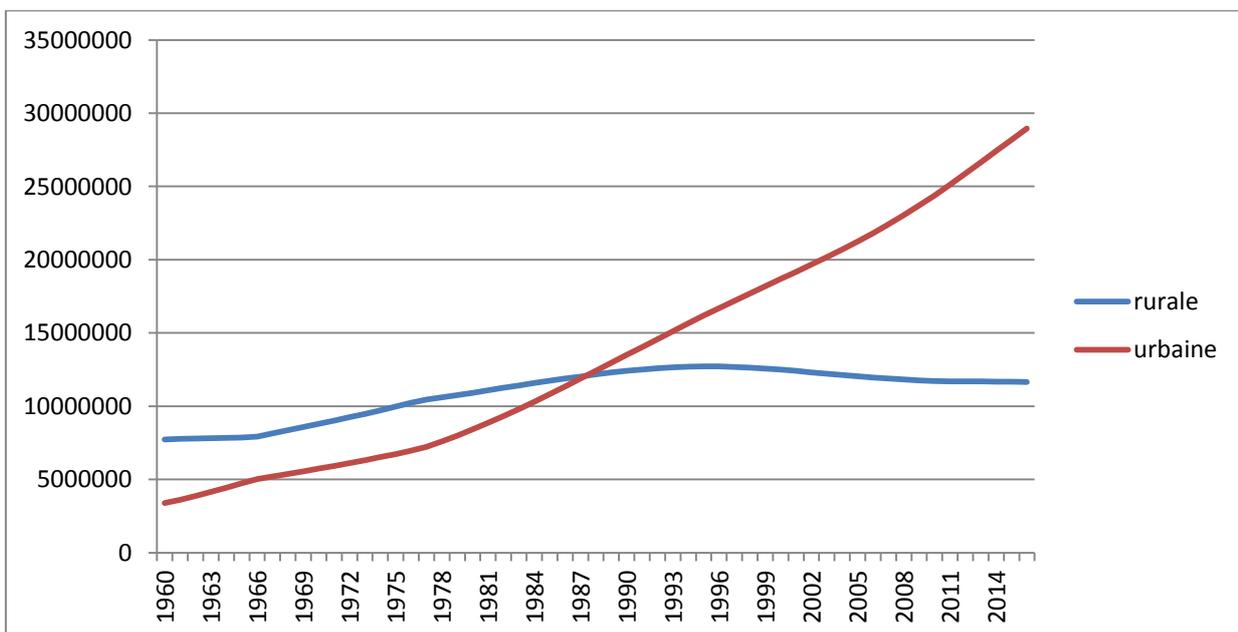
<sup>3</sup> Les années 2012, 2014 et 2015 sont les données disponibles les plus récentes sur le site de l'ONS.

Années	Population totale <sup>4</sup>	Taux d'accroissement naturel
2012	513 076	13,8 ‰
2014	521 077	15,3 ‰
2015	529 098	15,1 ‰

**Tableau 10** : Taux d'accroissement naturel pour la wilaya de Guelma. Années 2012, 2014 et 2015 (Source : ONS).

Les données suivantes (figures 14, 15) présentent les pourcentages des populations urbaines et rurales, ainsi que la population totale de l'Algérie depuis l'année 1960 :

⇒ Populations urbaine et rurale :



**Figure 14** : Evolution du nombre d'habitants dans les zones urbaine et rurale au niveau national.

Source (<https://donnees.banquemondiale.org>)

<sup>4</sup> Exemple de calcul : population totale de 2012 = population connue pour 2011 + solde naturel de 2012.

Ces dernières années, la population algérienne a connu un fort accroissement, inégalement réparti entre villes et campagnes (figure 14). Avant l'année 1987, l'essentiel de la population était concentré dans les campagnes, puis dans les villes après cette date.

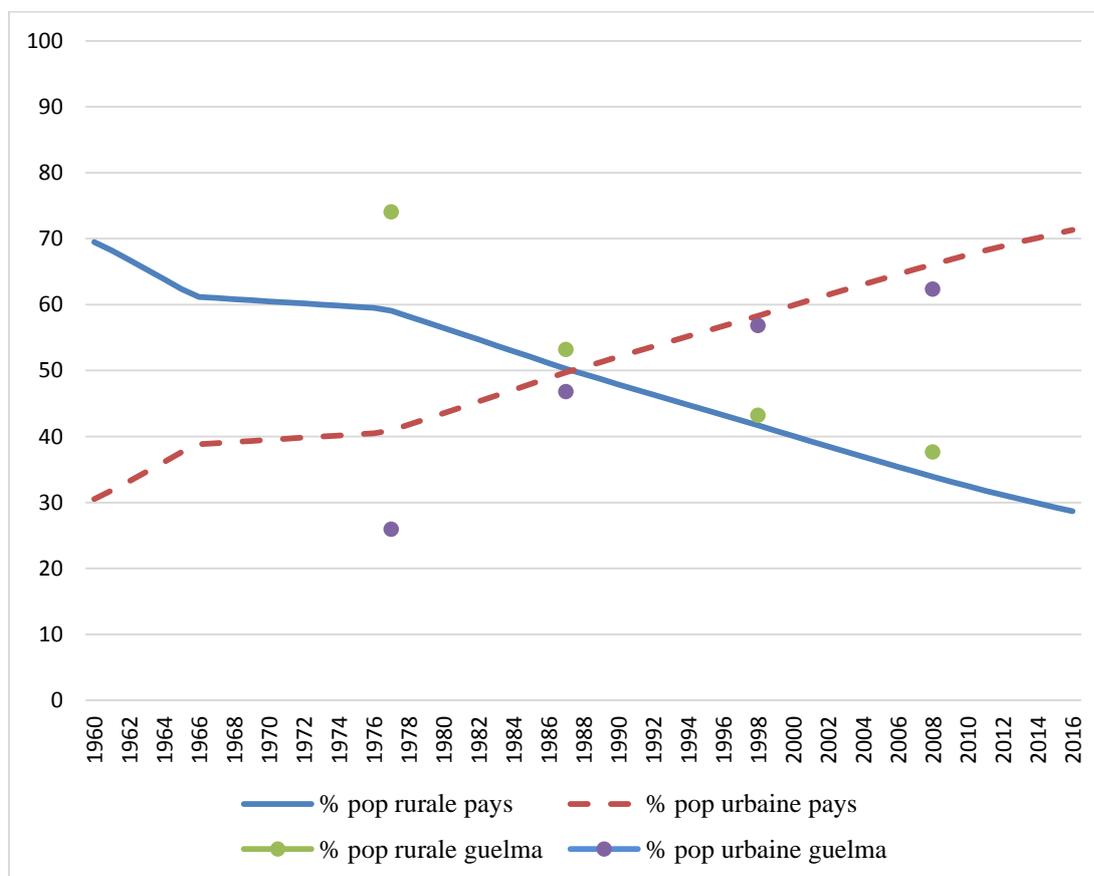


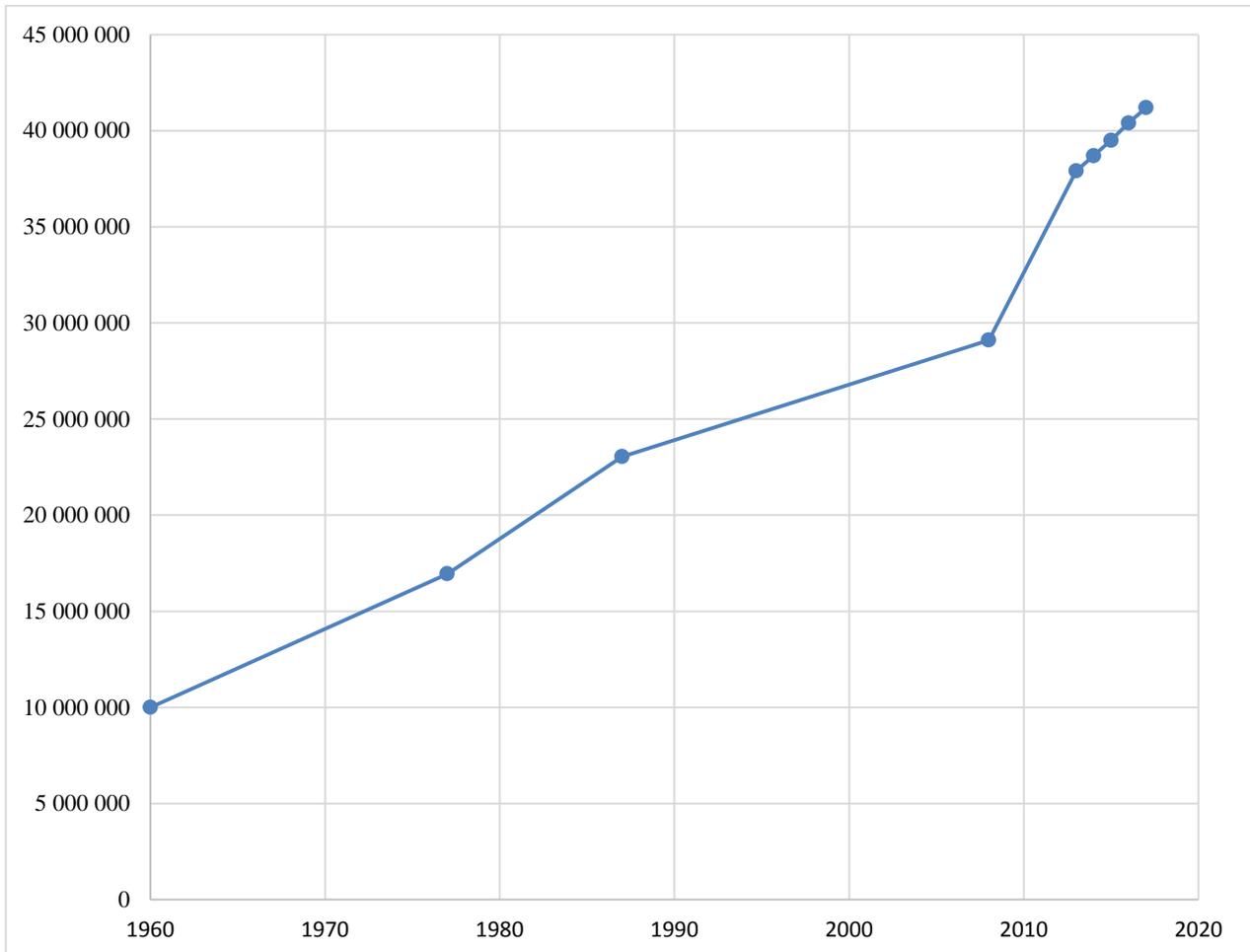
Figure 15 : Evolution du pourcentage des populations rurales et urbaines (1960-2016), au niveau national (lignes) et dans la wilaya de Guelma (points).

La figure 15 montre également cette même évolution, mais en pourcentage. Au niveau national, on constate ainsi que, depuis les années 1960, la population urbaine a augmenté de manière significative : au début des années 60, le taux était de 30% à 40%. Il dépasse 70 % en 2015. La population rurale décroît quant à elle de façon symétrique, et atteint donc en 2015 une valeur inférieure à 30 %.

Dans la wilaya de Guelma, l'évolution est très similaire, sauf au début de la période. En effet, jusque dans les années 1980, les habitants des zones rurales étaient beaucoup plus nombreux (près de 75 % en 1977 à Guelma, contre à peine 60 % au niveau national).

On observe donc un **transfert démographique vers la ville**, ce qui cause cette évolution très marquée, et provoque une **pression accrue sur les ressources en eau dans les villes**.

⇒ Population totale de l'Algérie:



**Figure 16** : Population totale de l'Algérie. Source (ONS).

La population algérienne a fortement augmenté depuis les années 1960, passant d'environ 10 millions d'habitants en 1960 à plus de 41 millions au début de l'année 2017 (figure 16). Elle s'est donc multipliée par quatre, avec un accroissement récent plus marqué.

#### **Conclusion sur la démographie:**

En 34 ans (1977 à 2011), la population dans la wilaya de Guelma a augmenté de 82 %, ce qui est considérable. Au niveau national, pendant cette même période, la population a doublé (en passant d'environ 16 millions à 35 millions).

Avec un taux d'accroissement naturel de 15,1 ‰ en 2015, la croissance démographique enregistrée dans la wilaya de Guelma reste élevé, mais sensiblement moins qu'au niveau national.

Ces données doivent être comparées avec les données disponibles au niveau national, toujours sur le site de l'ONS. Ainsi, pour la période 1970 – 2015, le taux d'accroissement naturel varie de 30‰ environ au début de la période à 21,5‰ en 2015, avec une diminution dans les années 2000.

Au niveau mondial, le taux d'accroissement naturel en 2016 est égal à 12,1 ‰, avec des fortes disparités (<https://www.prb.org/2016-world-population-data-sheet/>). Il est ainsi compris entre 0 et 10 ‰ en Europe de l'ouest ou en Amérique du nord, voire même négatif pour certains pays (Europe de l'est, Japon, Russie) (<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/2002.html>). Selon ce même site, le taux serait de 9,7 ‰ pour le Maroc<sup>5</sup> et de 10,1 ‰ pour la Tunisie<sup>6</sup> (estimations pour 2017).

Les perspectives futures supposent que la population algérienne va continuer à augmenter, avec un total qui pourrait atteindre 50 millions d'habitants dans les années 2030 et 63 millions dans les années 2050 (source : <https://www.prb.org/2016-world-population-data-sheet/>), contre 41,2 millions au 1<sup>er</sup> janvier 2017.

### 3.2.2. Réseau AEP :

Les sources d'approvisionnement de la wilaya de Guelma consistent en deux types d'apport, les eaux souterraines (forages) et les eaux de surface (barrage). La principale source est la seconde. Les données ci-dessous proviennent de la direction des ressources en eaux de GUELMA.

⇒ Les forages :

Les forages actuellement existant sont les suivants :

- Forage au niveau de la plaine de Tamlouka : Q : 150L/s

Communes concernées :

Oued Zenati, Tamlouka, Ain Regada, Ain Kakhoulf et Bordj Sabate.

---

<sup>5</sup> Selon le Haut-commissariat au plan (HCP) du Maroc, ce taux était de 12,2 ‰ en 2014.

<sup>6</sup> Selon l'institut national des statistiques de Tunisie, le taux était de 14 ‰ en 2016.

- Forage au niveau de la plaine de Guelma : Q : 100 L/s

Communes concernées :

Guelma, Belkheir, Boumahra, Bouchegouf, Beni Mezline, Oued Fragha et Mdjez Sfa.

- Forage au niveau de la plaine de Hammam Bradaa : Q : 120 L/S

Communes concernées :

Guelma, Heliopolis, Guelaat Bousbaa, Nechmaya, Djeballa Khemissi, Beni Mezline, Bouchegouf, Oued Fragha, Ain Ben Baida et Mdjez Sfa.

- Forage au niveau de la plaine de l'oued Helia: Q: 70L/S

Communes concernées :

Bouhechana, Ain Sandel, Khezaras, une partie de Belkheir.

⇒ Le barrage :

Le barrage qui alimente en eau les environs de Guelma se trouve sur la commune de Hammam Debagh, c'est le barrage de Bouhamdane. Il fournit une quantité d'eau de 43 000 m<sup>3</sup>/jour.

Communes concernées :

Hammam Debagh, Roknia, Houari Boumediene, Mdjez Amar, Guelma et Bendjerrah.

Le barrage de Bouhamdane alimente à concurrence de 95% la ville de Guelma, sachant que les cités Mekhancha, Frères-Rahabi, ancien stade et Bensouilah dépendent de la nappe d'Oued Maïz.

Construit par une société italienne, le barrage de Bouhamdane, devant assurer l'alimentation en eau potable et l'irrigation de la région, est distant d'une vingtaine de kilomètres de Guelma, et a été mis en exploitation au début des années 2000, à la grande satisfaction de la population qui avait enduré un calvaire insoutenable durant des années. Cet ouvrage, d'une capacité théorique de 185 millions de m<sup>3</sup>, possède une station de traitement des eaux qui alimente les communes de Guelma, Bendjerrah, Medjez-Amar, Hammam-Debagh, Houari-Boumediene et Roknia par le biais de l'ADE.

Source (<https://www.liberte-algerie.com>) (23-07-2017)

Selon le directeur du barrage de Bouhamdane (article paru le 1<sup>er</sup> mars 2018 : <https://www.liberte-algerie.com>), cet ouvrage hydraulique était au début de 2018 à un niveau de remplissage très bas (à peine 11 millions de m<sup>3</sup>). Fort heureusement, les fortes précipitations enregistrées cet hiver ont contribué à un apport de 5,961 millions de m<sup>3</sup>, portant à environ 17 millions de m<sup>3</sup> les réserves au début du mois de mars, ce qui permet de répondre aux besoins de la population jusqu'à fin décembre 2018. Depuis, d'autres précipitations ont été enregistrées, ce qui a dû accroître sensiblement le taux de remplissage.



**Figure 17** : Le barrage de Bouhamdane au mois de mars 2017.

Source (<https://www.liberte-algerie.com>)

Conclusion sur les sources d'approvisionnement en eau potable :

Il faut signaler pour terminer qu'il existe une différence entre la quantité d'eau prélevée et celle distribuée, due notamment à la vétusté des réseaux de distribution de l'eau et aux fuites d'eau, qui peuvent atteindre des proportions importantes. Ainsi, 30-40% des ressources en eau transportées dans le monde ne seraient pas comptabilisées en raison des fuites dans les canaux et canalisations ou des prélèvements illégaux (Unesco 2006). Des taux de fuite (perte) de 50% ne seraient pas rares dans les systèmes de distribution urbains (ONU 2009).

L'eau distribuée peut également être de qualité médiocre donc inutilisable.

## II.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié le stress hydrique sous ses différents aspects (cas de la wilaya de Guelma), le stress hydrique étant défini comme le cas où la demande en eau dépasse la quantité fournie.

Une situation de stress hydrique peut être causée par plusieurs paramètres, dont :

- Le climat : La ville de Guelma bénéficie d'un climat tempéré chaud. L'été, à Guelma, les pluies sont moins importantes qu'elles ne le sont en hiver. En moyenne, la température à Guelma est de 18.2 °C et la pluviométrie de 572 mm, mais la variabilité est grande. Ces moyennes de température et de précipitation dans la wilaya ne sont pas suffisantes pour expliquer l'état de stress chronique qui affecte la wilaya.
- L'agriculture : c'est un des domaines qui nécessitent de larges quantités d'eau pour satisfaire la demande pour l'irrigation. Le pourcentage des terres irriguées est en cours d'augmentation au niveau de l'Algérie. L'utilisation irrationnelle des ressources a causé l'assèchement des oueds et des forages, ce qui oblige les agriculteurs à changer les méthodes d'irrigation pour de nouvelles méthodes moins consommatrices en eau.
- La croissance démographique : elle a une influence sur les réserves d'eau de chaque région. Dans la wilaya de Guelma, la croissance démographique est continue (+ 16 022 habitants entre 2012 et 2015). Cette évolution de la population provoque une perturbation dans les quantités d'eaux potables distribuées.
- Le réseau d'AEP : l'alimentation en eau potable de la ville de Guelma se fait principalement à travers les eaux de surface par l'intermédiaire du barrage de Bouhamdane, mais également grâce à des forages. Le taux de remplissage du barrage est sujet à de fortes variations selon les années, ce qui perturbe la distribution en eau potable, mais également en eau d'irrigation. En outre, pour maintenir une qualité optimale, le réseau de distribution nécessite des améliorations et un entretien constant.

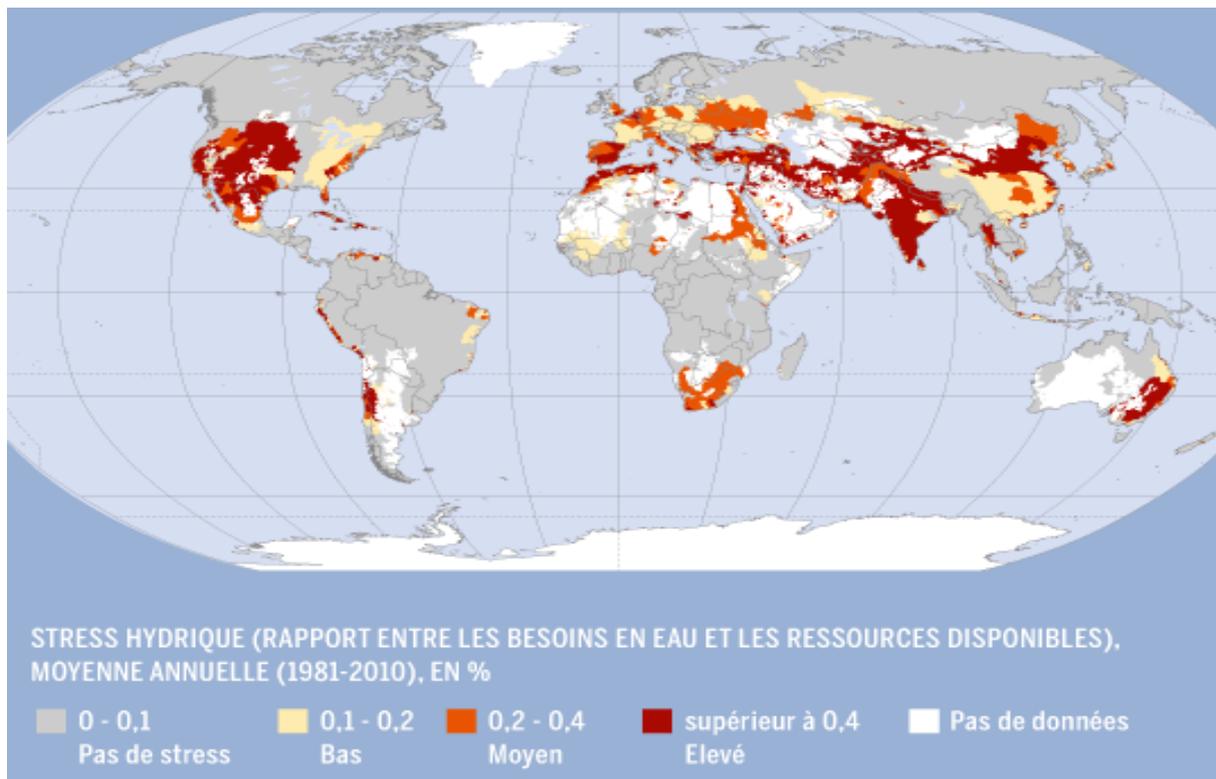
## Chapitre III : Situation globale vis-à-vis du stress hydrique

### III.1. Introduction

Y aura-t-il demain assez d'eau pour tous sur notre planète ? Théoriquement oui, mais il est urgent de changer « *radicalement* » la façon de l'utiliser et de la partager, prévient l'Organisation des Nations unies (ONU) dans son rapport annuel 2015 sur l'or bleu, qu'elle a rendu public vendredi 20 mars, à l'avant-veille de la journée mondiale de l'eau. Sinon, au rythme actuel, « *le monde devra faire face à un déficit hydrique global de 40 %* » dès 2030, écrivent les experts du Programme mondial des Nations unies pour l'évaluation des ressources en eau.

Inextricablement liée au changement climatique, à l'agriculture et à la sécurité alimentaire, à l'énergie, à la santé et même à l'égalité entre les sexes, l'eau est peut-être le thème qui illustre le mieux les trois piliers du développement durable, qu'il s'agisse de la lutte contre la pauvreté, du développement économique, ou de la préservation des écosystèmes. Il s'agit de défis essentiels. Le rapport souligne ainsi à quel point la pénurie et la mauvaise gestion de cette précieuse ressource cristallisent les tensions et les conflits autour du monde.

Le stress hydrique – autrement dit, une ressource insuffisante pour répondre aux différentes activités humaines et aux besoins de l'environnement – commence lorsque la disponibilité en eau est inférieure à 1 700 mètres cubes par an et par personne. Quasiment les trois quarts des habitants des pays arabes vivent en dessous du seuil de pénurie établi, lui, à 1 000 m<sup>3</sup> par an, et près de la moitié se trouvent dans une situation extrême avec moins de 500 m<sup>3</sup>, en Egypte, en Libye notamment (fig.18).



**Figure 18 :** Un stress hydrique qui touche une large partie du globe.

Source (<https://www.lemonde.fr>)

## III.2. Les variables climatiques

### III.2.1. Température

*Constat :* Les températures globales augmentent (fig. 19), mais l'évolution est contrastée suivant les régions. L'augmentation est particulièrement forte par exemple pour les régions arctiques. L'Afrique du Nord est elle aussi concernée par un fort accroissement récent des températures (fig.20).

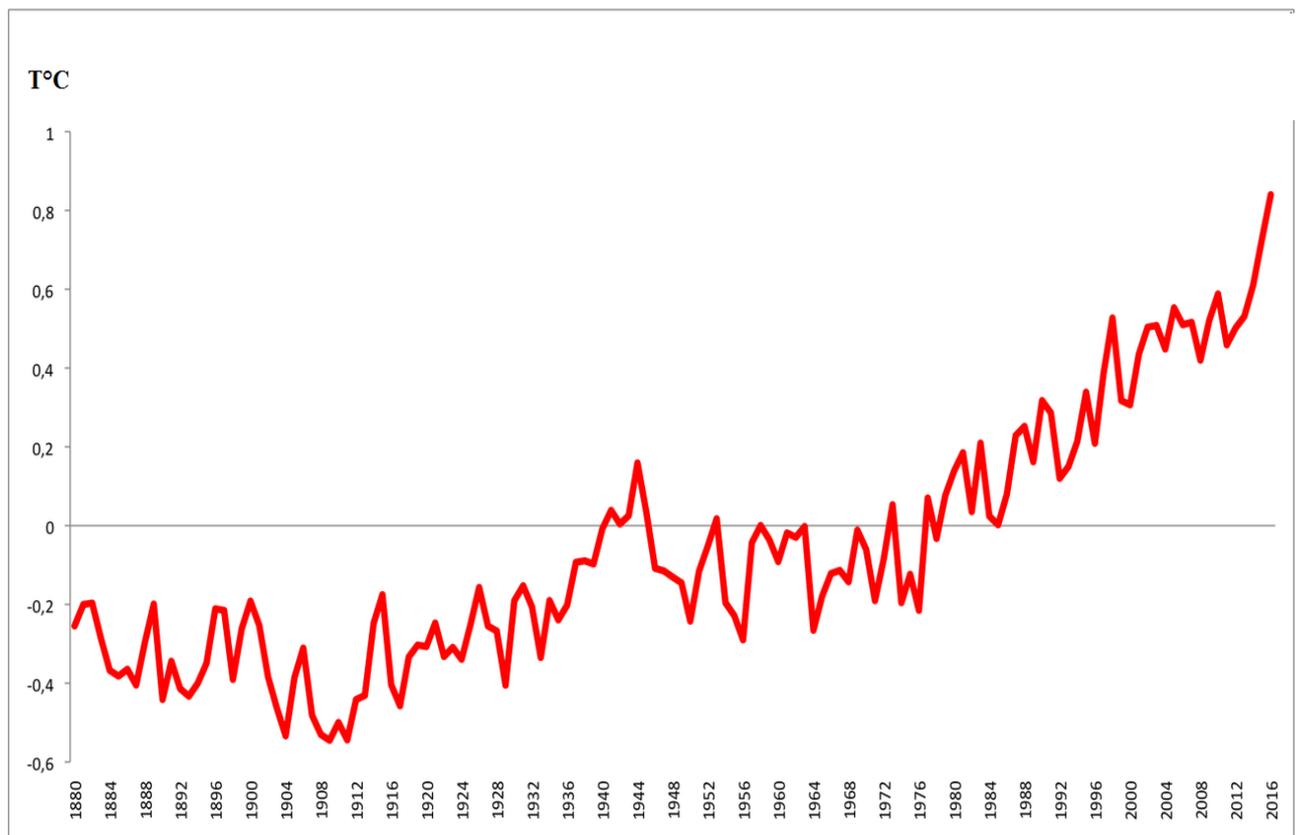


Figure 19 : Evolution de la température mondiale (WMO = moyenne NASA, NOAA, Met Office) par rapport à la période 1961-90. Sources : NASA, NOAA, Met Office.

Source (<https://global-climat.com>)

En 2015 (sur la période janvier-octobre), la température observée est à un niveau record de +0,73°C au-dessus de la moyenne 1961-1990. L'année 2016 serait donc nettement au-dessus avec +0,84°C.

Les chiffres de l'Organisation météorologique mondiale (WMO) sont utilisés ici comme référence par le Met Office. La WMO obtient ce chiffre en combinant les données des trois grandes archives mondiales que sont la NASA, la NOAA et justement le Met Office.(figure 19)

Contrairement aux rapports du GIEC, les projections du Met Office sont basées sur l'état réel du climat au moment où elles sont réalisées. Elles donc plus réalistes.

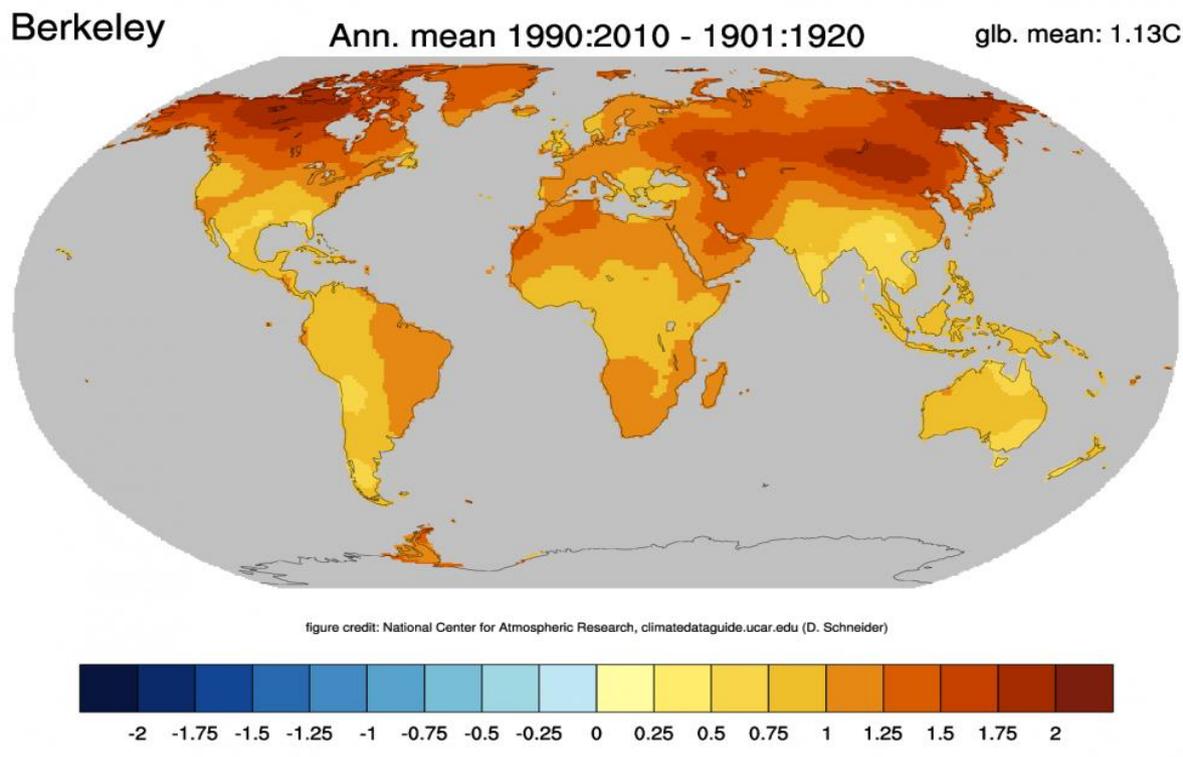


Figure 20 : Changement de la température moyenne annuelle des terres entre 1901: 1920 et 1991: 2010. Carte basée sur l'ensemble des données de Berkeley Earth. Crédit: ClimateDataGuide, NCAR

Source : (<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/global-surface-temperatures-best-berkeley-earth-surface-temperatures>)

La figure ci-dessus montre le changement dans la température mondiale et une comparaison entre deux périodes (1901-1920 / 1991-2010). Les températures ont augmenté sur l'ensemble de la Terre, bien que de façon inégale. Dans le nord de l'Algérie, l'augmentation est de 1,5°C.

### III.2.2. Précipitation

*Constat* : La pluviométrie est inégalement répartie sur Terre (figure 21). L'évolution récente (1901 versus 2011) montre une forte variabilité selon les zones (figure 22), certaines étant caractérisées par un accroissement des précipitations (ex : Nord de l'Europe, Asie du sud-est) et d'autres par une baisse de la pluviométrie moyenne (ex : sud de l'Europe, Afrique du nord).

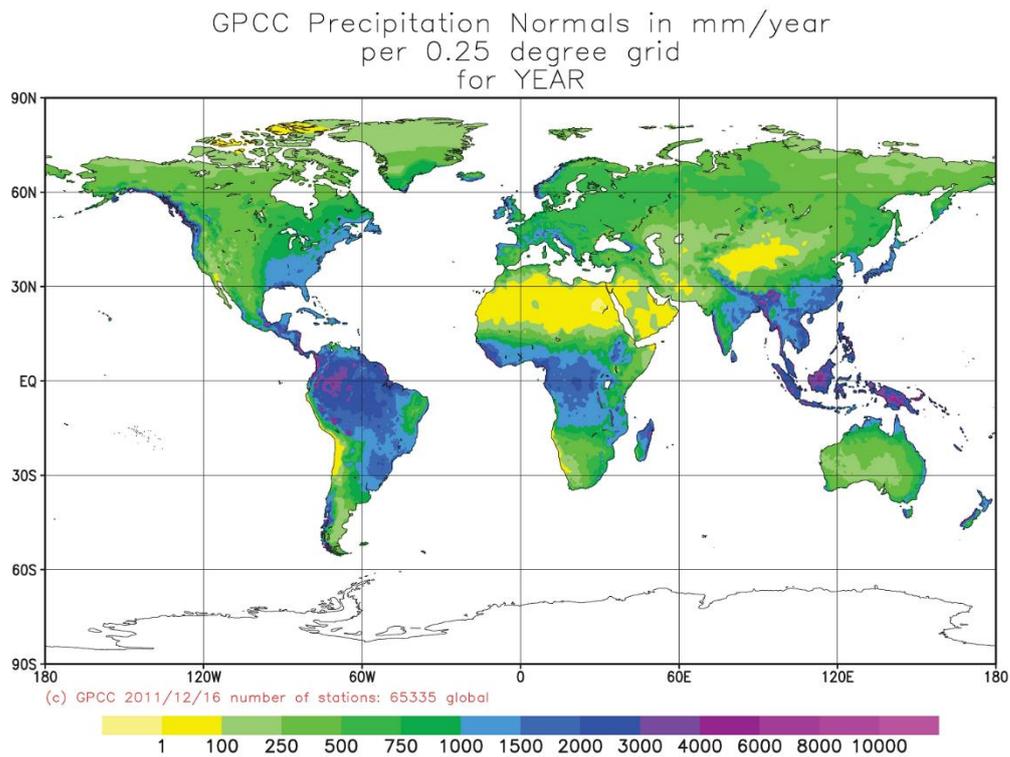


Figure 21 : Carte de la pluviométrie moyenne annuelle de l'année 2011 (Source : GPCC).

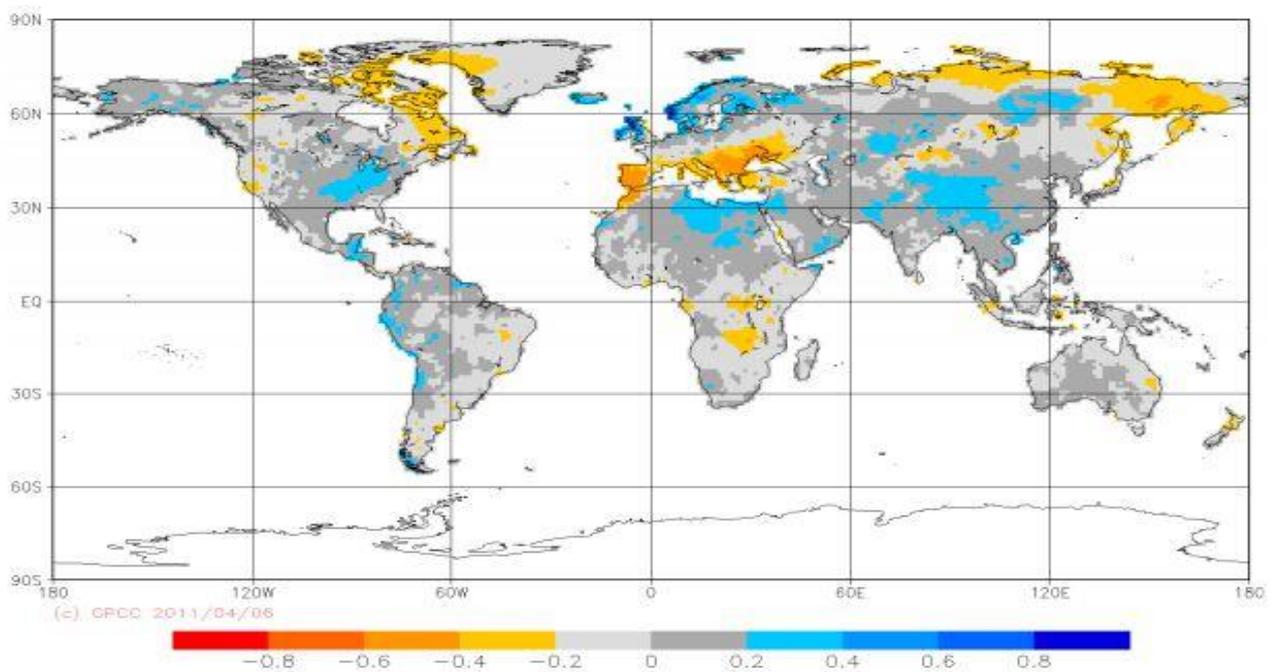
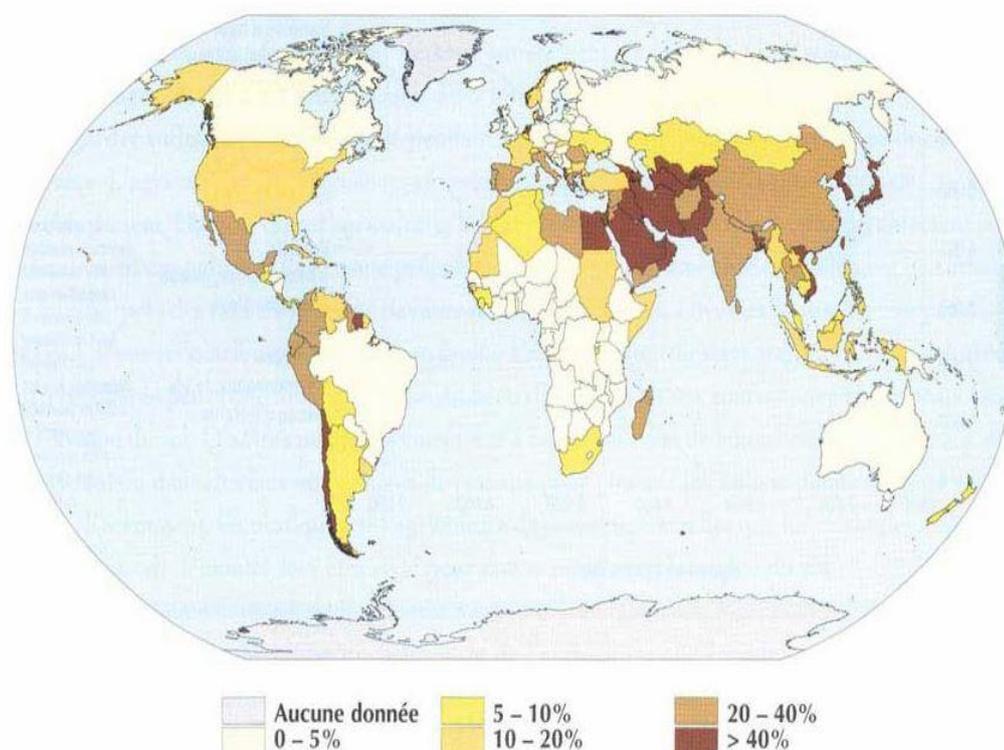


Figure 22 : Corrélation entre séries chronologiques mensuelles d'anomalies de précipitations pour la période 1901-mars 2011 (source : Global Precipitation Analysis Products of the GPCC).

Cette carte montre que le monde, entre 1901 et 2011, a subi des changements au niveau de la pluviométrie mensuelle. Certains pays dans le monde ont observé une diminution des précipitations mensuelles, tandis que d'autres ont observé une augmentation significative au niveau des précipitations mensuelles (Figure 22).

### III.3. Les usages agricoles

*Constat* : L'agriculture est un secteur très utile et développé, et représente l'activité humaine qui consomme le plus d'eau. Dans le monde, le pourcentage des terres agricoles par rapport à la surface générale est encore en augmentation (figure 23). Mais les potentialités d'irrigation sont très variables (figure 24), de même que les ressources disponibles (figures 25 et 26).



Source: FAOSTAT, 2002

Figure 23 : Zones aménagées pour l'irrigation en pourcentage des terres cultivées par pays (1998). Source (<http://www.fao.org>)

La figure 23 montre les terres irriguées en pourcentage des terres arables dans les pays en développement. En général, la proportion de terres irriguées est élevée dans les pays et régions dotés d'un climat aride ou semi-aride.

La faible quantité de terres irriguées en Afrique subsaharienne met toutefois en évidence le problème du sous-développement des infrastructures d'irrigation. La figure 24

montre les données et prévisions concernant les terres irriguées dans les pays en développement par comparaison avec leur potentiel d'irrigation. Les chiffres indiquant le potentiel d'irrigation tiennent déjà compte des disponibilités en eau.

Le graphique montre qu'une part importante du potentiel d'irrigation est déjà utilisée dans la région du Proche-Orient/Afrique du Nord (où l'eau est le facteur restrictif) et en Asie (où la terre est souvent le facteur restrictif) alors qu'un potentiel non négligeable est encore inutilisé en Afrique sub-saharienne et en Amérique latine. (<http://www.fao.org>).

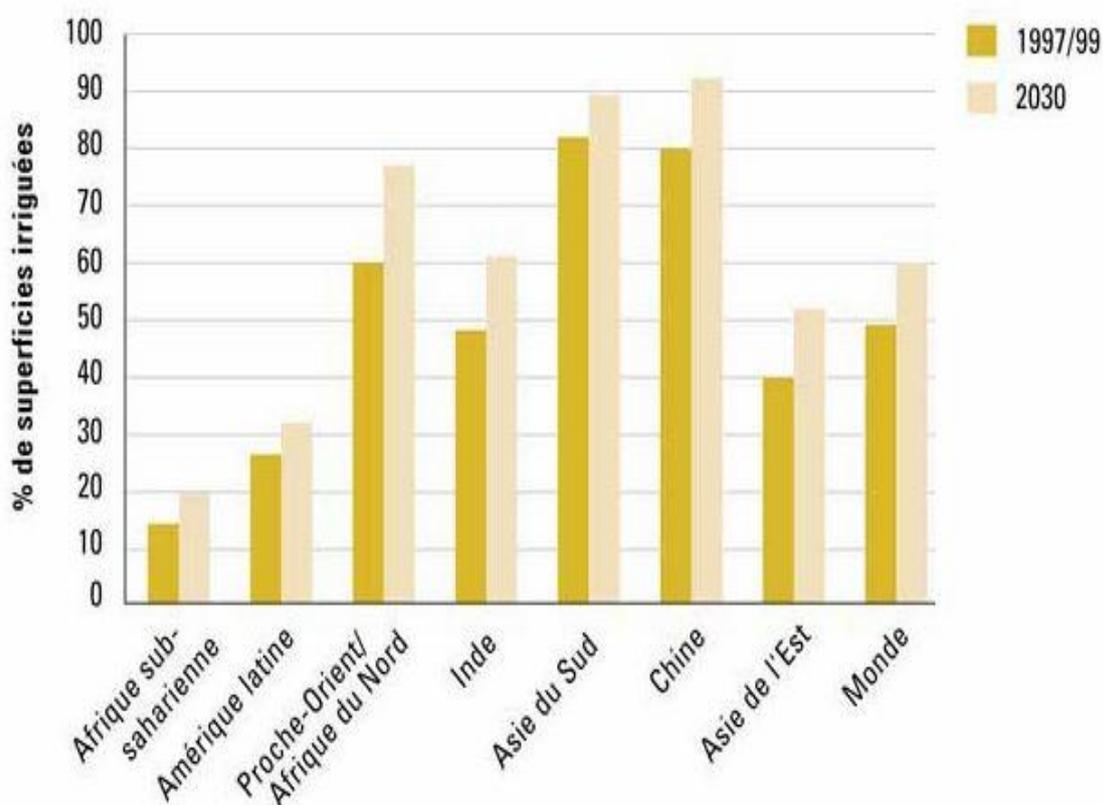


Figure 24 : Pourcentage des superficies irriguées par rapport au potentiel d'irrigation dans les pays en développement. Source (<http://www.fao.org>).

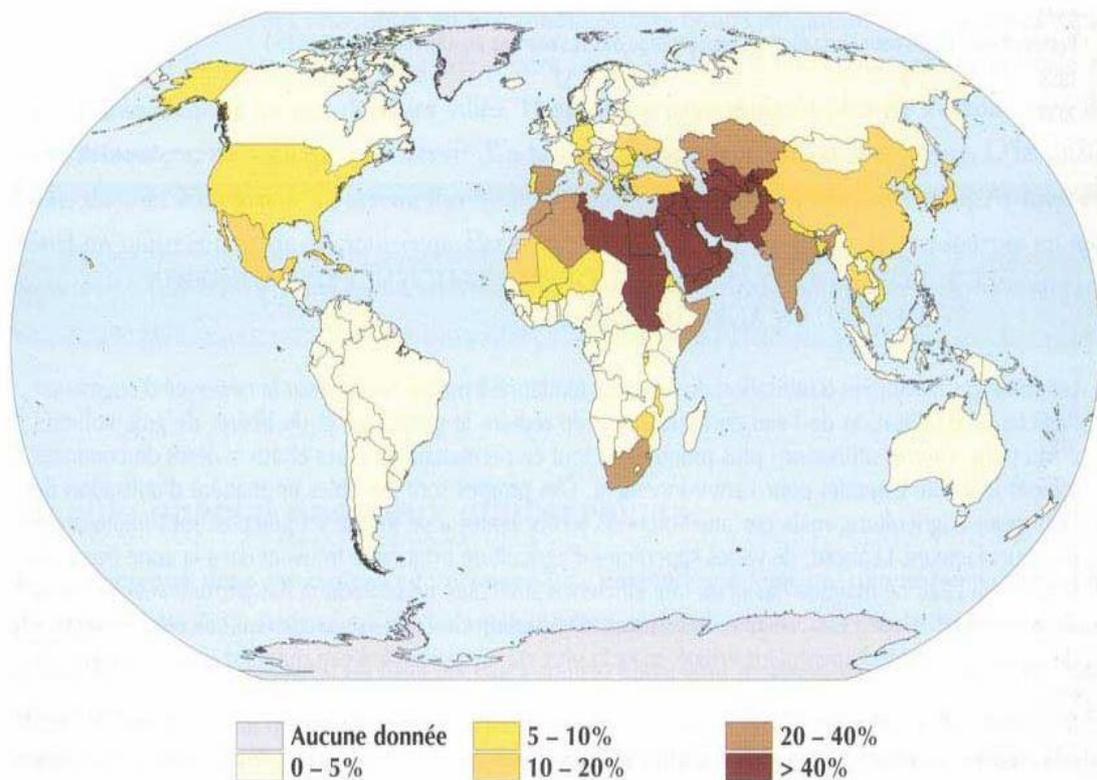


Figure 25 : Prélèvements en eau pour l'agriculture en pourcentage des ressources en eau renouvelables (1998). Source (<http://www.fao.org>).

Cette carte (figure 25) illustre l'importance de l'agriculture dans le bilan hydrique des pays.

Alors que les prélèvements en eau pour l'agriculture ne représentent dans la majorité des pays qu'une petite partie de l'ensemble des ressources en eau renouvelables, certaines régions comme le nord-est de l'Afrique et l'Asie occidentale se distinguent en ce que leurs prélèvements pour l'agriculture comptent pour plus de 40 pour cent de leurs ressources en eau totales. Dans certaines parties du Proche et du Moyen-Orient, les prélèvements en eau pour l'agriculture dépassent le total de leurs ressources.

Source: AQUASTAT, 2002. (<http://www.fao.org>).

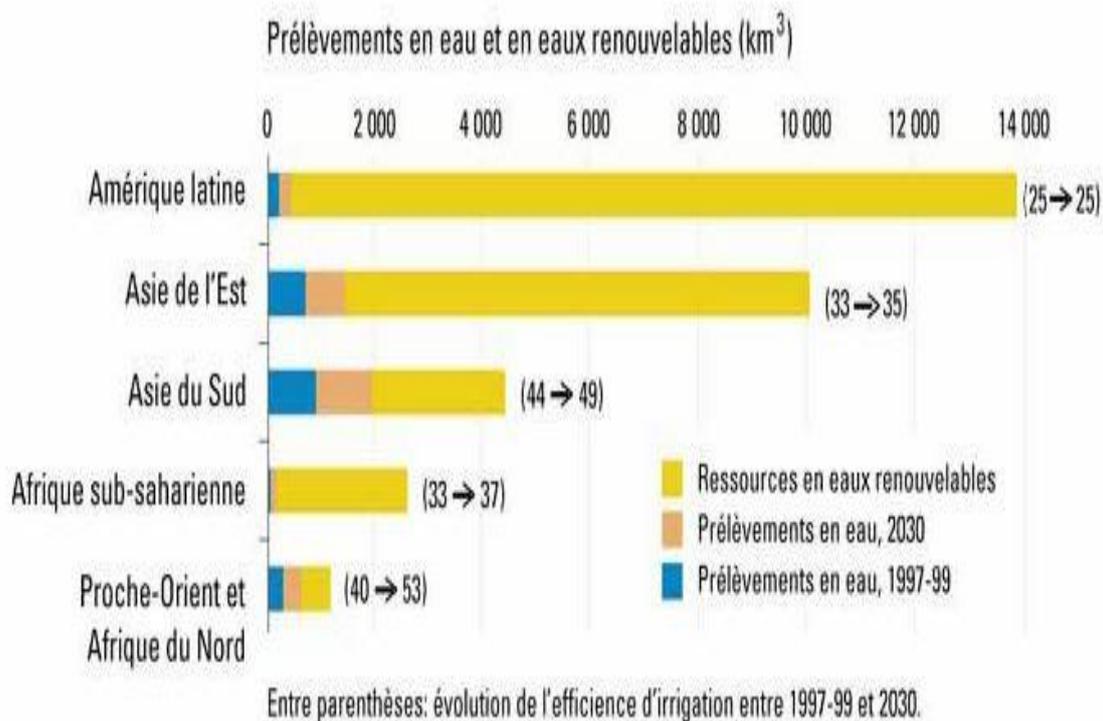


Figure 26 : Irrigation et ressources en eau : prélèvements de 1999 et prévus en 2030.  
Source: (<http://www.fao.org>).

Cette figure montre l'augmentation prévue des prélèvements d'eau pour l'irrigation pour la période 1999-2030. Une augmentation est attendue dans toutes les régions, et plus particulièrement en Asie du Sud, mais la région de l'Afrique subsaharienne devrait maintenir ses très faibles niveaux de prélèvement d'eau pour l'irrigation (Figure 26).

Source: Données et prévisions de la FAO (<http://www.fao.org>).

### III.4. La démographie

*Constat* : La population mondiale est actuellement de 7,5 milliards. Elle s'est fortement accrue au cours de ces dernières années. A titre d'exemple, elle était de 2,5 milliards dans les années 1950 (figure 27). L'Asie représente 60 % de la population mondiale. L'augmentation de la population va très probablement continuer, dans une proportion difficile à estimer mais variable selon les continents et les pays (figure 27).

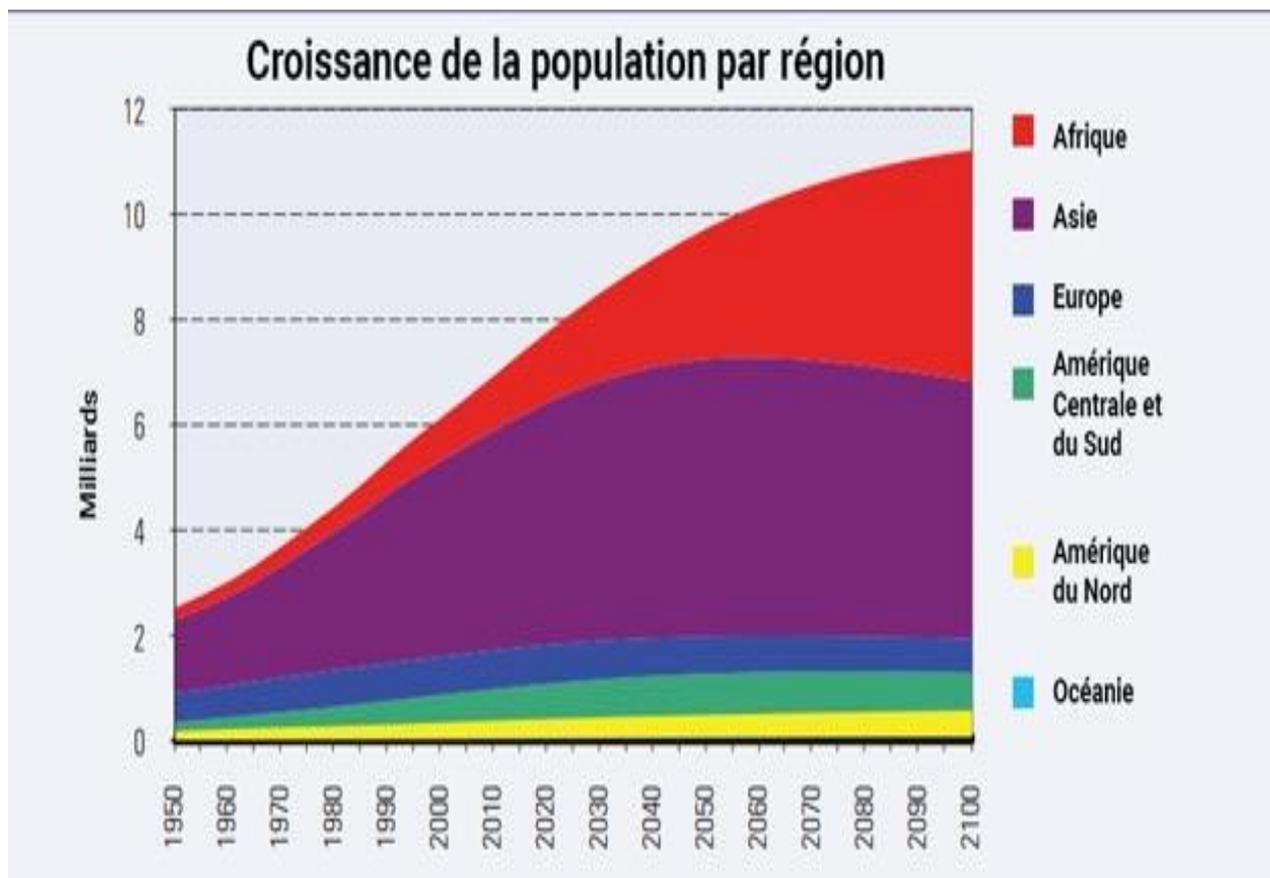


Figure 27 : Population mondiale. ONU 2015.

Source : (<https://www.planetoscope.com>)

Les Nations unies ont publié de nouvelles projections démographiques. En partant de trois scénarios différents (fertilité haute, moyenne et basse), elles chiffrent la population mondiale en 2100 à respectivement 15,8 milliards, 10,1 milliards et 6,2 milliards. A titre de référence, elles indiquent que si le taux de fertilité restait à son niveau actuel, la population mondiale s'élèverait en 2100 à près de 27 milliards (Figure 27).

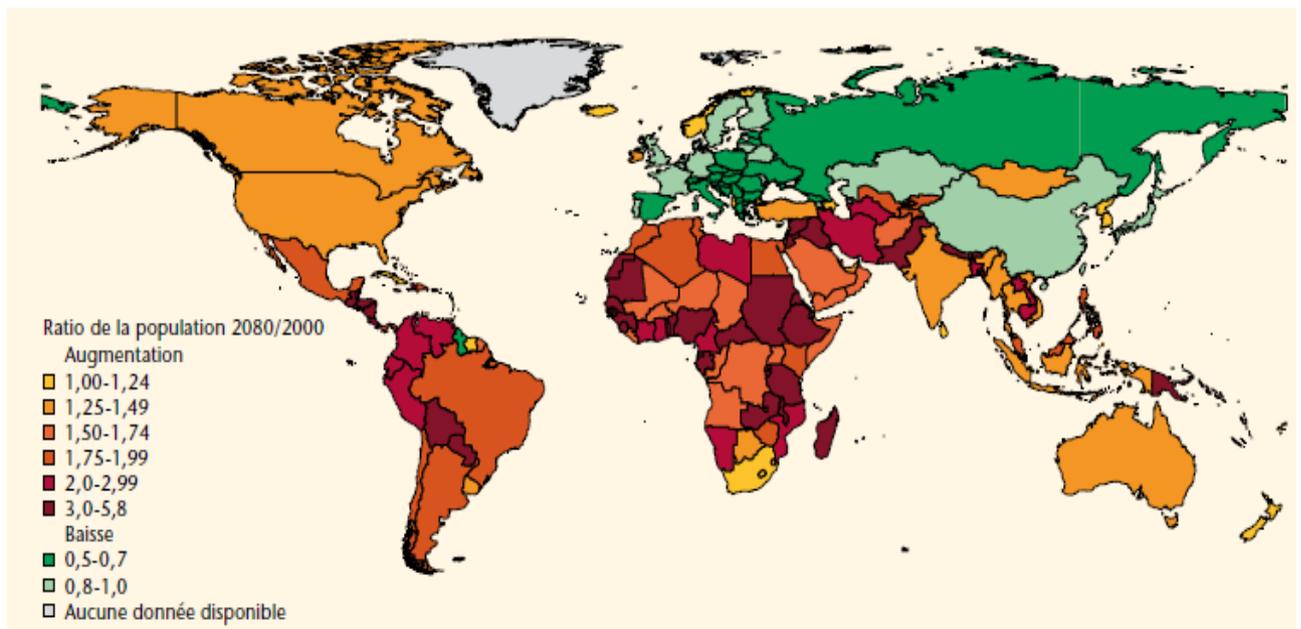


Figure 28 : Zones prévues de croissance et de déclin démographique

(Source : Lutz, Sanderson et Scherbov, 2008).

La carte ci-dessus montre les prévisions d'évolution démographique jusqu'en 2080. On constate que la plupart des pays du monde sont caractérisés par un accroissement de leur population, excepté l'Eurasie. L'Afrique notamment est marquée par une forte croissance démographique, comprise entre 1% et 5,8 %. L'Algérie aurait une croissance future de 1,5 %.

### III.5. L'accès à l'eau potable

*Constat* : L'eau potable est une richesse dont peu de gens bénéficient, en effet, de nombreuses populations dans le monde souffrent de pénurie d'eau, notamment d'eau potable.

De plus, il existe souvent une différence importante entre la quantité théorique d'eau disponible et la quantité réelle distribuée à la population. Cette eau peut également être de qualité médiocre donc inutilisable. Et même si globalement l'accès à l'eau potable s'est amélioré, il persiste de fortes disparités dans le monde (figure 28). La quantité d'eau disponible, en plus d'être inégalement répartie dans le monde (figures 30 et 31) est aussi inégalement utilisée (figure 29).

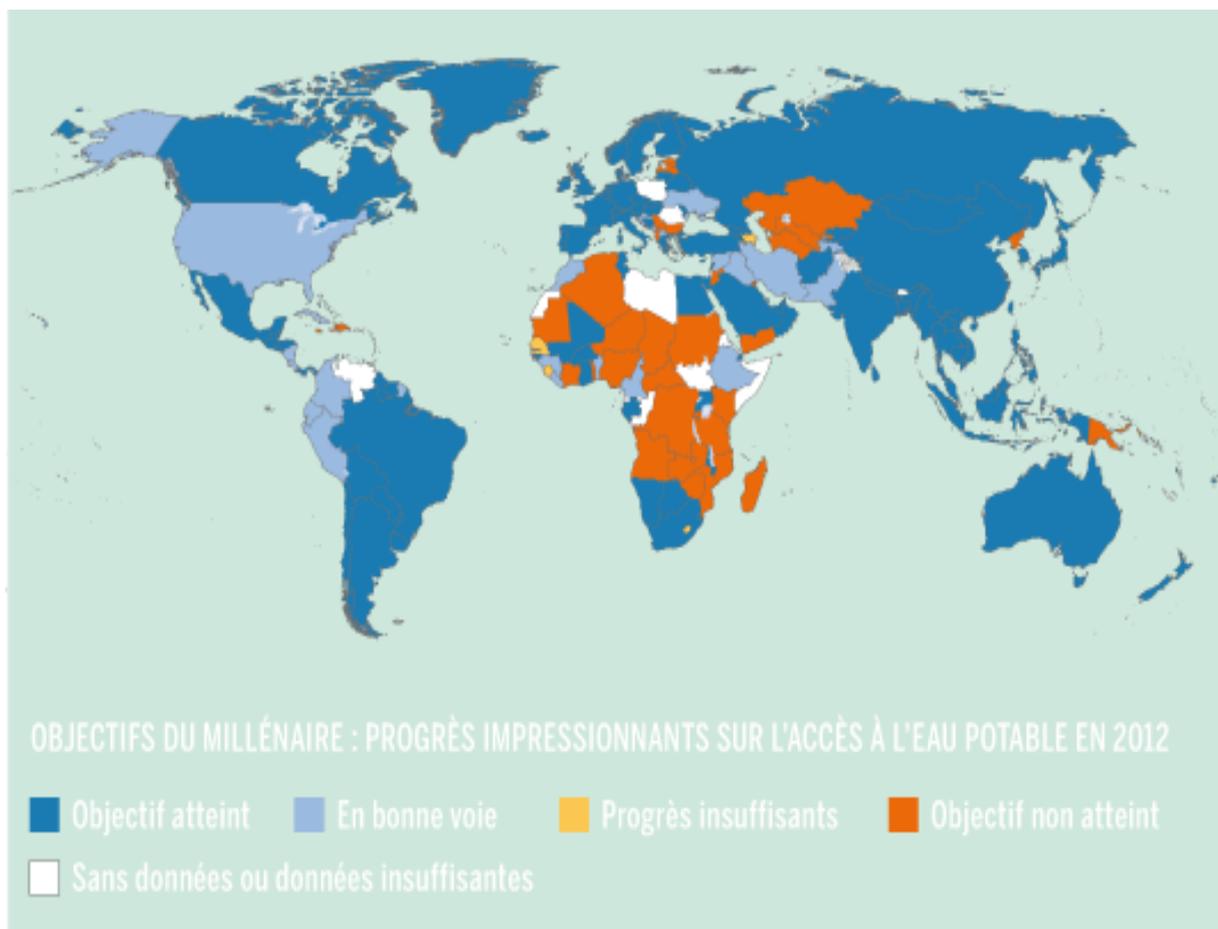


Figure 29 : Une amélioration de l'accès à l'eau potable. Source (www.lemonde.fr)

En vingt ans, le nombre de personnes ayant accès à « *un point d'eau potable amélioré* » a augmenté de 2,3 milliards. Les rapporteurs de l'ONU parlent de « *progrès impressionnants* » – alors que l'accès à l'eau était l'un des objectifs du Millénaire pour le développement pour 2015 (Figure 29).

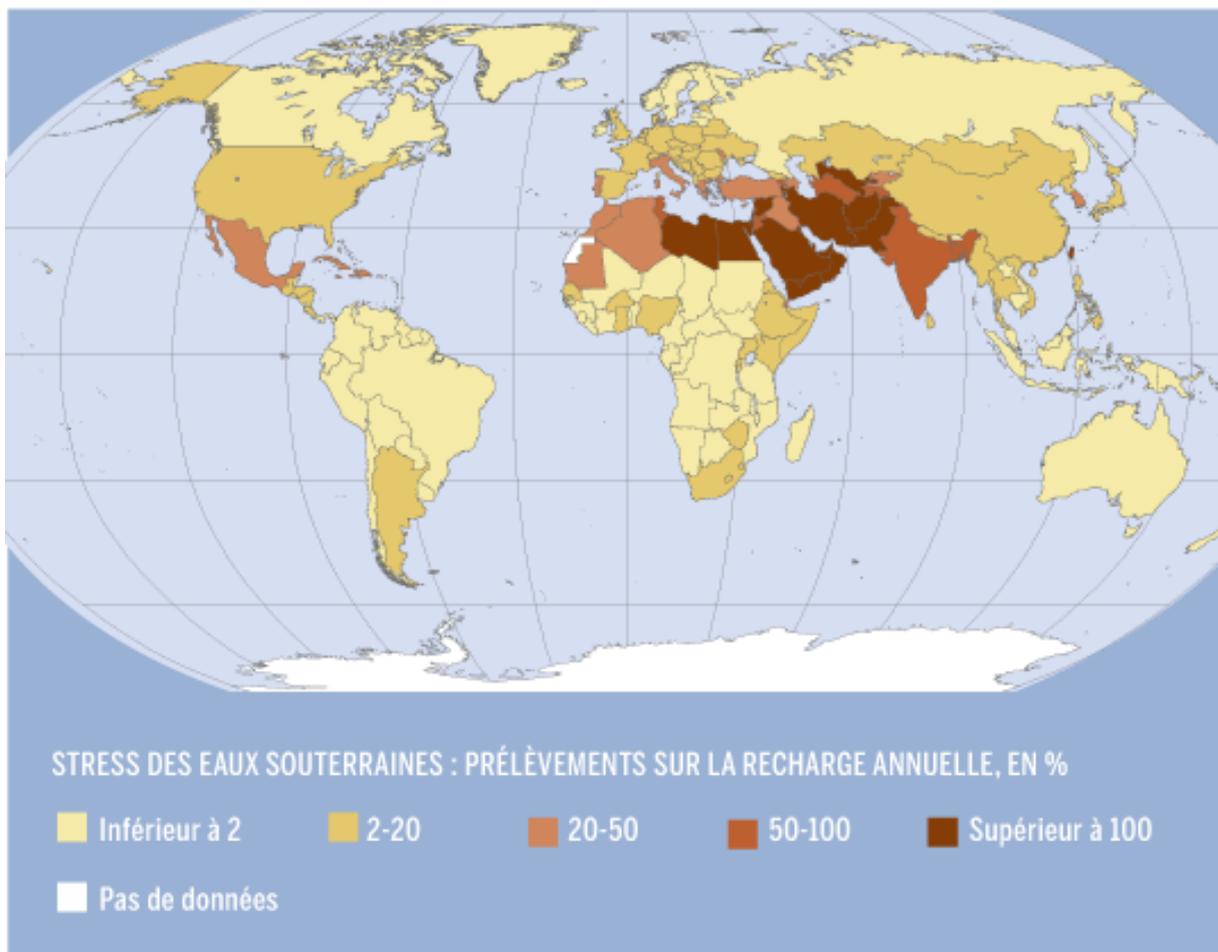


Figure 30 : Les eaux souterraines de plus en plus surexploitées.

Source (<https://www.lemonde.fr>)

Les aquifères souterrains fournissent de l'eau potable à la moitié de la population mondiale. Mais un sur cinq est surexploité. Largement dévolus à l'irrigation intensive – comme dans le nord de la Chine où le niveau de la nappe phréatique est descendu de 40 mètres en quelques années –, les prélèvements excessifs accentuent les risques de glissement de terrain et favorisent surtout les entrées de sel, rendant à terme l'eau inconsommable. Avec l'élévation du niveau de la mer, des grandes villes voient ainsi la qualité de l'eau douce de leurs aquifères menacée, notamment Shanghai, en Chine, et Dacca, au Bangladesh. Et des îles du Pacifique comme Tuvalu et Samoa sont contraintes d'importer de plus en plus d'eau douce (figure 30).

Dans le monde, 748 millions de personnes restent privées d'eau potable. Dans les agglomérations qui s'étendent à une vitesse vertigineuse avec leurs lots de bidonvilles, le nombre de citoyens sans accès à l'eau est passé de 111 millions à 149 millions entre 1990 et 2012. Et l'Afrique subsaharienne continue de souffrir de la pénurie, dans les cités comme dans les campagnes. Globalement, 36 % de la population africaine ne dispose toujours pas d'un point d'eau accessible.

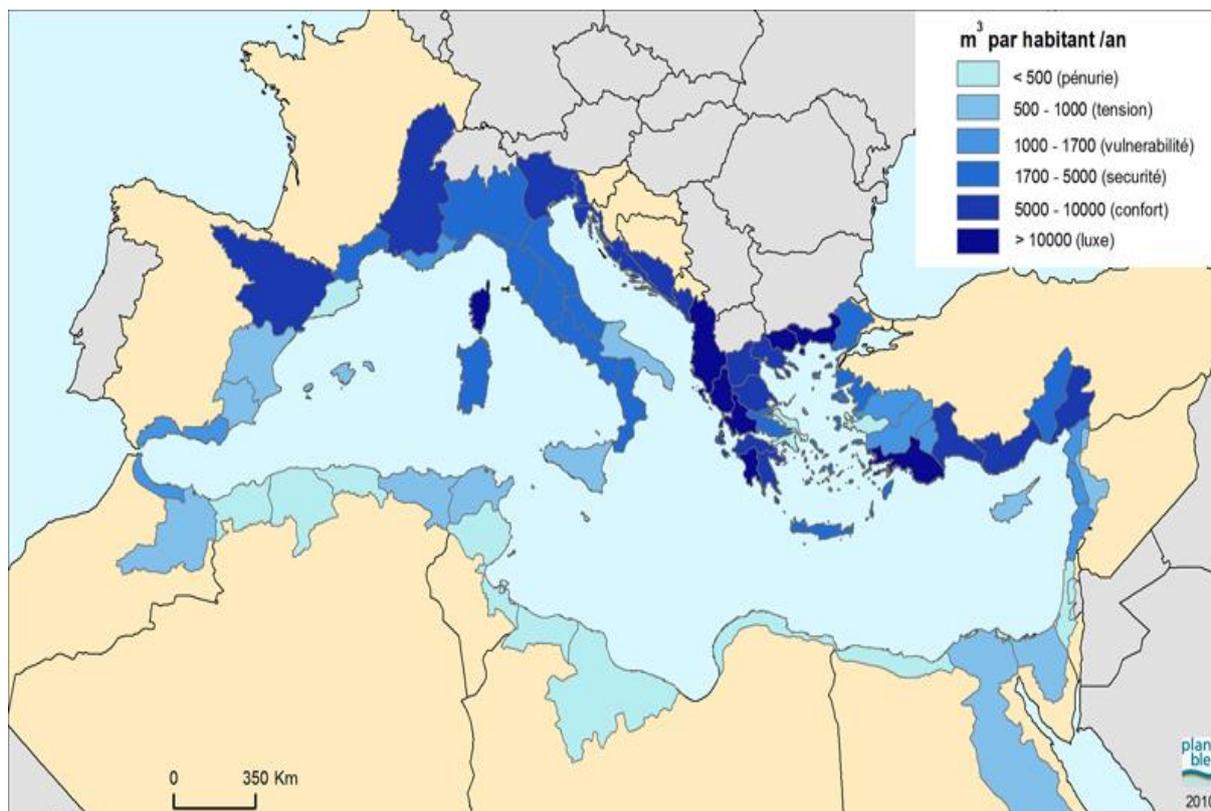


Figure 31 : Ressources en eau naturelles renouvelables par habitant dans les principaux bassins méditerranéens. Source (<http://planbleu.org>)

La Méditerranée regroupe 60 % de la population mondiale dite « pauvre en eau », disposant globalement de moins de 1000 m<sup>3</sup>/hab/an. Il y a 20 millions de Méditerranéens sans accès à l'eau potable, notamment dans les pays au Sud et à l'Est de la Méditerranée (figure 31), et 47 millions sans accès à un système d'assainissement adéquat. 80 millions de Méditerranéens seront en situation de « pénurie » (moins de 500 m<sup>3</sup>/hab/an) à l'horizon 2025.

L'irrigation est le secteur dominant de consommation dans la plupart des pays méditerranéens, soit 60 % des quantités d'eau totales utilisées, mais 82 % au Sud.

La figure ci-dessous montre les niveaux d'eau disponibles (par an et par habitant) dans différents pays de l'Afrique du Nord et d'Europe. Pour tous les pays, les quantités d'eau disponibles diminuent fortement au cours de la période d'étude (1962-2014), mais il existe de fortes disparités :

- Les deux pays d'Europe (France et Espagne) disposent des quantités les plus élevées, entre 3500 et 4000 m<sup>3</sup>/an/habitant dans les années 1960, et de 2500 à 3000 m<sup>3</sup>/an/habitant en 2014. Ils sont donc dans une situation confortable, bien au-dessus du seuil de stress hydrique fixé à 1700 m<sup>3</sup>/an/habitant.

- Les pays du sud de la Méditerranée disposent de quantités beaucoup plus faibles : l'Algérie par exemple est à 1000 m<sup>3</sup>/an/habitant en 1962 contre 287 m<sup>3</sup>/an/habitant en 2014. Tous les pays du sud sont en situation critique vis-à-vis de l'eau, soit en situation de stress hydrique (cas du Maroc), voire même en situation de pénurie (tous les autres pays). Remarquons cependant que les chiffres fournis sont des moyennes nationales, et que les quantités d'eau disponible diffèrent forcément selon les régions (par exemple pour l'Algérie : sud désertique ≠ nord pluvieux).

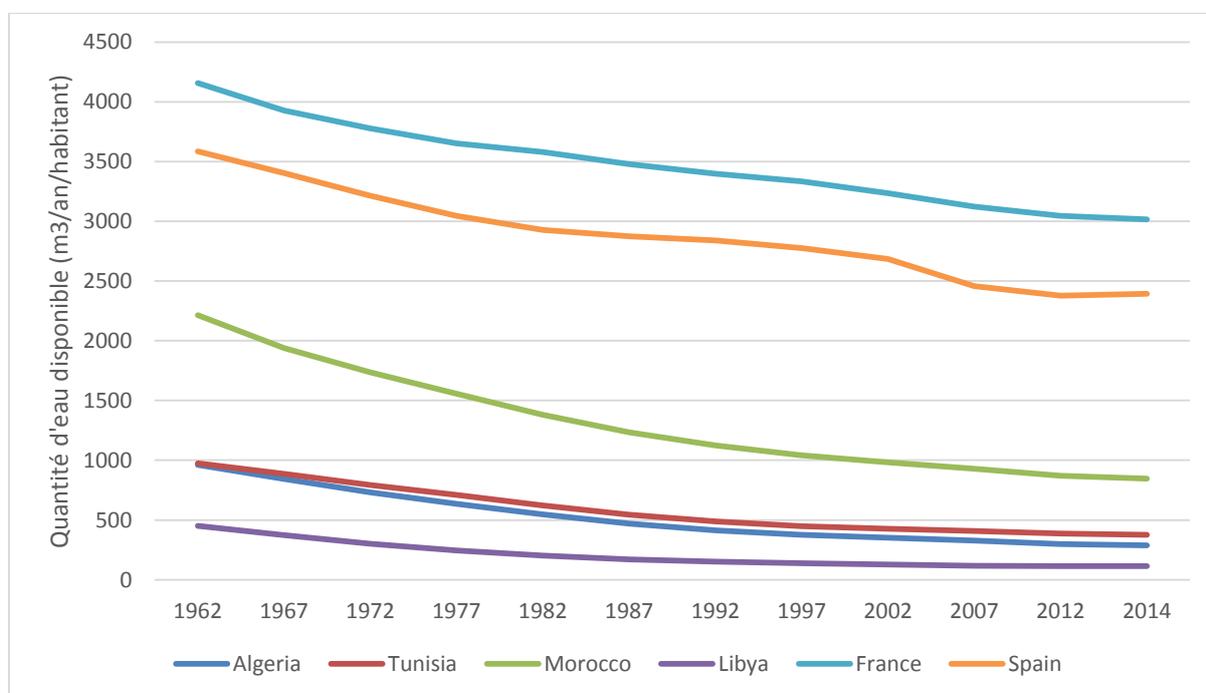


Figure 32 : Niveau d'eau disponible par an et par habitant pour différents pays du sud et du nord de la Méditerranée (Source : Data Worldbank).

### **III.6. Solutions éventuelles au stress hydrique**

Pour pallier au manque d'eau, il existe différentes solutions qui peuvent être mises en œuvre. Ces solutions sont notamment évoquées par la FAO (rapport de 2012) :

#### **III.6.1. Gérer l'approvisionnement**

Afin de sécuriser leur accès à l'eau, de limiter les dommages liés aux inondations et de venir à bout des sécheresses, les hommes ont toujours essayé de maîtriser et de stocker les débits d'eau saisonniers et irréguliers. La gestion de l'approvisionnement peut se faire en augmentant l'accès aux ressources en eau conventionnelles, y compris le stockage dans les barrages, les prélèvements dans les eaux souterraines ou la collecte des eaux de pluie. Elle peut aussi se faire par la réutilisation des eaux usées et des eaux de drainage ou par la mise en valeur de sources d'eau «non conventionnelles», dont le dessalement des eaux saumâtres et l'utilisation des eaux souterraines fossiles.

#### **III.6.2. Dessaler l'eau de mer**

Comment fonctionne le dessalement ? L'eau est d'abord pompée dans l'écosystème marin. Une fois débarrassée des grains de sable et des algues, l'eau est filtrée dans des membranes extrêmement fines sous une très forte pression. L'eau saumure récoltée, extrêmement salée, est traitée, diluée et réintégrée dans la mer, tandis que l'eau pure récupérée est enrichie de sels minéraux et est ainsi rendue potable.

Cette solution contribue à lutter contre le stress hydrique, sujet sur lequel le constat est sévère : en 2030, 3,9 milliards de personnes devraient vivre dans un pays de fort stress hydrique. Une situation d'autant plus alarmante que les pays devant affronter cette situation sont souvent ceux dont la population croît le plus.

Une des solutions les plus prometteuses se trouve donc dans les océans, représentant 97,5% des réserves d'eau de la planète. 200 millions d'habitants sont aujourd'hui alimentés en eau dessalée dans le monde. A long terme, cette solution pourrait sécuriser l'approvisionnement en eau de 40% de la population mondiale vivant à moins de 100 km de la mer.

Source (<http://www.ready-for-the-resource-revolution.com>)

### III.6.3. Augmenter le stockage de l'eau

La seconde partie du vingtième siècle a vu l'augmentation rapide de l'aménagement des réservoirs d'eaux de surface, grâce auxquels des résultats remarquables ont pu être observés en matière de mobilisation des eaux. Les grands barrages multi-usages ont répondu aux besoins croissants en eau de l'agriculture, de la production d'énergie et des villes. Ils ont également contribué à protéger les populations des risques d'inondations. Bien qu'il existe encore de nouvelles possibilités d'aménagement de barrages dans certaines régions, la plupart des sites appropriés sont déjà exploités et l'aménagement de nouveaux barrages devient de plus en plus coûteux.

### III.6.4. Mettre en valeur les eaux souterraines

La gestion de la recharge des aquifères constitue une option potentiellement importante mais elle dépend de l'amélioration de la compréhension du stockage des eaux souterraines et de leur taux de réalimentation. Dans certains systèmes hydrogéologiques, il est difficile d'améliorer l'efficacité des processus naturels de recharge et dans d'autres la proportion économiquement réalisable de l'amélioration de la recharge par rapport à la réalimentation naturelle est très limitée, bien que certaines techniques contribuent à résoudre les problèmes locaux et à améliorer la qualité des eaux souterraines. La priorité essentielle de gestion restera toutefois de protéger les principales zones de recharge. Dans ce contexte, l'incitation à favoriser la recharge des aquifères dans les grands périmètres d'irrigation a été considérée comme une solution de recharge à l'amélioration des services d'approvisionnement en eau proposés aux utilisateurs (Shah, 2009). Quoiqu'il en soit, la réalimentation des eaux souterraines doit être conçue dans un cadre clairement défini de budgétisation des coûts de l'eau afin de garantir l'efficacité des options choisies.

### III.6.5. Recycler et réutiliser l'eau

Les investissements dans l'approvisionnement en eau, l'assainissement et la gestion de l'eau ont tendance à être planifiés, conçus et gérés séparément et sur des durées différentes. La création de systèmes respectueux de l'environnement qui tiennent compte de l'ensemble du cycle de l'eau pour tous les divers utilisateurs nécessite une approche cohérente pour surmonter les cloisonnements sectoriels et la fracture entre zones rurales et urbaines. La gestion des eaux usées est essentielle pour plusieurs raisons.

- D'abord, les eaux usées sont souvent évacuées dans des endroits qui interdisent leur réutilisation, ou directement à la mer, ce qui exclut toute possibilité de réemploi utile.
- Ensuite, les eaux usées sont souvent riches en éléments fertilisants qui, avec les eaux résiduelles, peuvent être utilisés grâce à l'irrigation et donc réutilisées pour l'agriculture.
- Après un traitement primaire ou secondaire réalisé grâce aux technologies écologiques à faible coût, le recyclage des eaux peut constituer une solution rentable et bénéfique à toutes les parties.

### III. 6.6. Lutter contre la pollution

La pollution réduit l'eau qui peut être utilisée et augmente le coût du traitement de l'eau. L'intensification de l'agriculture va aggraver la pollution de sources ponctuelles et diffuses. Il existe des technologies qui limitent la pollution des eaux en agriculture, en particulier grâce à la gestion intégrée de la lutte contre les ravageurs et de la nutrition des végétaux. L'expérience des pays à revenu élevé montre qu'un éventail de mesures d'incitation telles qu'une réglementation plus stricte, une application plus rigoureuse et des subventions bien ciblées peut contribuer à réduire la pollution des eaux. Dans certains cas, la méthode du paiement pour services environnementaux a permis de réduire considérablement la pollution agricole et favorisé des économies dans le coût du traitement de l'eau en aval des terres agricoles.

### III. 6.7. Gérer la demande

La gestion de la demande vise globalement à garantir qu'un certain volume d'eau soit distribué le plus conformément possible au schéma d'utilisation optimale. Cet objectif est atteint, sur le plan économique, lorsque l'unité marginale d'eau a la même valeur pour chaque utilisateur (Winpenny, 1994). L'objectif d'égalisation des valeurs marginales de l'eau dans toutes les utilisations est un idéal théorique mais lorsque l'eau devient rare et que les coûts d'approvisionnement augmentent, il importe que les décideurs encouragent l'ensemble de la société à utiliser l'eau disponible de la façon la plus «productive» possible, de quelque manière que ce soit. Cela peut être réalisé par des mesures incitatives encourageant les utilisateurs individuels à utiliser l'eau de manière plus efficace ou en favorisant une redistribution de l'eau des utilisations moins profitables à celles qui le sont plus.

## Conclusion générale

Ce travail nous a permis de nous familiariser avec la notion de stress hydrique et nous a fait prendre conscience de la grave pénurie d'eau qui menace la région de Guelma et plus généralement l'Algérie.

La situation qui prévaut à Guelma a été exposée du mieux possible sous différents aspects, ce qui nous a permis de faire les observations suivantes :

- Les données climatiques ont été étudiées pendant une durée de 70 ans (pour la pluviométrie) ou de 30 ans (pour les températures). Le climat est de type méditerranéen, avec une saison sèche marquée pendant environ 5 mois au cours de l'année. La température moyenne est d'environ 18°C et la pluviométrie moyenne proche de 570 mm, mais la variabilité interannuelle est grande. Selon les années en effet, ce climat peut avoir une tendance tempérée (années à pluviométrie satisfaisante), ou semi-aride. L'évolution récente semble indiquer une augmentation progressive des températures moyennes, mais en revanche, l'évolution de la pluviométrie ne paraît pas significative.
- Le deuxième axe d'étude nous a permis d'analyser l'usage de l'eau pour l'agriculture. Nous avons constaté que c'est le domaine qui consomme le plus d'eau. Nous avons également observé un accroissement continu des surfaces dédiées à l'irrigation, mais les données précises concernant la wilaya de Guelma sont malheureusement manquantes.
- Nous avons ensuite détaillé l'évolution de la démographie, et constaté un accroissement continu de la population, tant au niveau national qu'au niveau local. La répartition de la population entre les villes et les campagnes connaît aussi un profond changement, avec une désertification rurale qui s'accélère, et conduit donc à un surpeuplement urbain et par conséquent peut entraîner de graves problèmes de gestion de la ressources en eau et du réseau d'AEP.
- Enfin, nous avons terminé en exposant les sources d'approvisionnement en eau potable, et constaté que le principal apport était le fait du barrage de Bouhamdane, qui est actuellement à un niveau de remplissage très bas, ce qui fait craindre des difficultés d'approvisionnement accrues.

La dernière partie du mémoire, consacrée à une comparaison de la situation algérienne avec celle d'autres pays, nous a permis de constater que la situation est similaire dans de nombreuses régions du monde :

- Le climat évolue (accroissement des températures globales, modification du cycle de l'eau),
- La pression liée à l'agriculture s'intensifie, la proportion des terres irriguées ne cesse d'augmenter jusqu'à atteindre parfois un épuisement possible des ressources,
- La population augmente de façon importante dans de nombreuses régions, et notamment en Afrique,
- L'accès à l'eau potable est encore très inégal, et problématique pour de nombreuses populations.

Malgré tout, des solutions existent et peuvent permettre d'améliorer la situation, c'est ce qui est exposé dans la dernière partie de ce travail (par exemple : mieux gérer l'approvisionnement, augmenter les capacités de stockage de l'eau, recycler l'eau, augmenter les capacités de dessalement de l'eau de mer...). Ainsi, dans la wilaya de Guelma, pour prévenir l'occurrence d'un stress hydrique, il faudrait par exemple améliorer la gestion des ressources destinées à l'irrigation et aux eaux potables, ainsi que l'entretien des réseaux d'AEP (pour limiter les pertes et assurer une bonne qualité de l'eau).

Pour conclure, à mon avis, ce sujet de travail a été très intéressant, mais il persiste de nombreuses insuffisances, causées notamment par le manque de temps ou le manque de données. Il était donc difficile d'obtenir ce résultat.

Une poursuite de mes études en 3<sup>ème</sup> cycle me permettrait de continuer à explorer ce domaine de recherche.

## Annexes

Table 1 : Coefficient pluviométrique :

P moyennes	CP		Année	différentiel CP
571.992857	1.14441989	EXE	1948	0.14441989
571.992857	1.37256959	EXE	1949	0.37256959
571.992857	0.94057119	<b>DEF</b>	1950	-0.05942881
571.992857	0.73375042	<b>DEF</b>	1951	-0.26624958
571.992857	1.32466689	EXE	1952	0.32466689
571.992857	1.47082256	EXE	1953	0.47082256
571.992857	1.26907179	EXE	1954	0.26907179
571.992857	1.05508311	EXE	1955	0.05508311
571.992857	1.27151937	EXE	1956	0.27151937
571.992857	1.09092271	EXE	1957	0.09092271
571.992857	1.27239351	EXE	1958	0.27239351
571.992857	1.24424631	EXE	1959	0.24424631
571.992857	1.0716917	EXE	1960	0.0716917
571.992857	0.55070618	<b>DEF</b>	1961	-0.44929382
571.992857	1.13795127	EXE	1962	0.13795127
571.992857	1.12553853	EXE	1963	0.12553853
571.992857	0.980257	<b>DEF</b>	1964	-0.019743
571.992857	0.99861387	<b>DEF</b>	1965	-0.00138613
571.992857	0.54948239	<b>DEF</b>	1966	-0.45051761
571.992857	0.42867668	<b>DEF</b>	1967	-0.57132332
571.992857	0.86487094	<b>DEF</b>	1968	-0.13512906
571.992857	0.40227775	<b>DEF</b>	1969	-0.59772225
571.992857	0.92710948	<b>DEF</b>	1970	-0.07289052
571.992857	0.66049776	<b>DEF</b>	1971	-0.33950224
571.992857	1.27239351	EXE	1972	0.27239351
571.992857	1.17921053	EXE	1973	0.17921053
571.992857	0.3891657	<b>DEF</b>	1974	-0.6108343
571.992857	0.58444786	<b>DEF</b>	1975	-0.41555214
571.992857	0.96242461	<b>DEF</b>	1976	-0.03757539
571.992857	1.05368449	EXE	1977	0.05368449
571.992857	0.85980095	<b>DEF</b>	1978	-0.14019905
571.992857	0.89057056	<b>DEF</b>	1979	-0.10942944
571.992857	0.72361043	<b>DEF</b>	1980	-0.27638957
571.992857	0.94301877	<b>DEF</b>	1981	-0.05698123
571.992857	1.11225165	EXE	1982	0.11225165
571.992857	0.73095318	<b>DEF</b>	1983	-0.26904682
571.992857	1.2230922	EXE	1984	0.2230922
571.992857	1.17379088	EXE	1985	0.17379088

571.992857	0.63322469	<b>DEF</b>	1986	-0.36677531
571.992857	1.39040198	EXE	1987	0.39040198
571.992857	0.79563931	<b>DEF</b>	1988	-0.20436069
571.992857	0.80210792	<b>DEF</b>	1989	-0.19789208
571.992857	1.10823062	EXE	1990	0.10823062
571.992857	1.00490765	EXE	1991	0.00490765
571.992857	1.59809688	EXE	1992	0.59809688
571.992857	0.79966034	<b>DEF</b>	1993	-0.20033966
571.992857	0.8007093	<b>DEF</b>	1994	-0.1992907
571.992857	1.01260006	EXE	1995	0.01260006
571.992857	1.28463143	EXE	1996	0.28463143
571.992857	1.08462893	EXE	1997	0.08462893
571.992857	1.20910601	EXE	1998	0.20910601
571.992857	1.04232071	EXE	1999	0.04232071
571.992857	0.70857528	<b>DEF</b>	2000	-0.29142472
571.992857	0.84459097	<b>DEF</b>	2001	-0.15540903
571.992857	0.88078023	<b>DEF</b>	2002	-0.11921977
571.992857	1.64075475	EXE	2003	0.64075475
571.992857	1.40613644	EXE	2004	0.40613644
571.992857	1.21487531	EXE	2005	0.21487531
571.992857	0.83619925	<b>DEF</b>	2006	-0.16380075
571.992857	1.26417663	EXE	2007	0.26417663
571.992857	0.91889259	<b>DEF</b>	2008	-0.08110741
571.992857	1.55823624	EXE	2009	0.55823624
571.992857	1.07361481	EXE	2010	0.07361481
571.992857	1.28777832	EXE	2011	0.28777832
571.992857	1.04843967	EXE	2012	0.04843967
571.992857	0.70735149	<b>DEF</b>	2013	-0.29264851
571.992857	0.8639968	<b>DEF</b>	2014	-0.1360032
571.992857	1.07081757	EXE	2015	0.07081757
571.992857	0.70909976	<b>DEF</b>	2016	-0.29090024
571.992857	0.41329187	<b>DEF</b>	2017	-0.58670813

Table 2 : Indice d'aridité :

Années	Tem/Moy °C	Précipitation ( mm)	en	Indice d'aridité annuel	remarque
1988	18.15	<b>394.4</b>		14.01	Semi-Aride
1989	18.28	<b>559.6</b>		19.78	Semi-Aride
1990	18.42	<b>503.8</b>		17.72	Semi-Aride
1991	16.86	<b>624.5</b>		23.25	Semi-Humide
1992	16.91	<b>590</b>		21.92	Semi-Humide
1993	17.52	<b>575.4</b>		20.9	Semi-Humide
1994	18.8	<b>387.1</b>		13.44	Semi-Aride
1995	17.88	<b>502.3</b>		18	Semi-Aride
1996	17.6	<b>707.5</b>		25.63	Semi-Humide
1997	18.57	<b>273.1</b>		9.55	Aride
1998	17.76	<b>694.3</b>		25.01	Semi-Humide
1999	18.85	<b>596.5</b>		19.74	Semi-Aride
2000	18.37	<b>404.7</b>		14.26	Semi-Aride
2001	18.58	<b>596.5</b>		20.87	Semi-Humide
2002	18.49	<b>404.7</b>		14.2	Semi-Aride
2003	18.95	<b>483.1</b>		16.68	Semi-Aride
2004	17.93	<b>503.8</b>		18.03	Semi-Aride
2005	17.84	<b>938.5</b>		33.71	Humide
2006	18.86	<b>804.3</b>		27.86	Semi-Humide
2007	18.12	<b>723.1</b>		25.71	Semi-Humide
2008	18.3	<b>525.6</b>		18.57	Semi-Aride
2009	18.08	<b>891.1</b>		31.73	Humide
2010	18.33	<b>614.1</b>		21.67	Semi-Humide
2011	14.9	<b>736.6</b>		29.57	Semi-Humide
2012	17.8	<b>599.7</b>		21.57	Semi-Humide
2013	17.6	<b>404.6</b>		14.65	Semi-Aride
2014	18.7	<b>494.20</b>		17.21	Semi-Aride
2015	19.0	<b>612.50</b>		21.12	Semi-Humide
2016	18.8	<b>405.60</b>		14.08	Semi-Aride
2017	19.7	<b>236.40</b>		7.95	Aride

## Liste bibliographique

### Ouvrages scientifiques :

- BARTA R., BRONER I., SCHNEEKLOTH J. et WASKOM R., 2004 : Colorado High Plains Irrigation Practices Guide. Water Saving Options for Irrigators in Eastern Colorado, Special Report n°14, Colorado Water Resources Research Institute, 76 p.
- BECHIRI N., 2011 : *Evolution du chimisme des eaux de surface et Souterraines dans le bassin versant de la Seybouse (Nord-Est Algérien)*, Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar-Annaba, 129p.
- BRAHMIA N., 2016 : *Evaluation et gestion intégrée des ressources en eau dans le bassin versant de la moyenne Seybouse*. Thèse de doctorat, Université de Annaba, 135 p.
- COLAIZZI P.D., SCHNEIDER A.D., HOWELL T.A. et EVETT S.R., 2003 : *Comparison of SDI, LEPA, and Spray Efficiency for Grain Sorghum*. ASAE Annual International Meeting. July 27-30, 2003, Las Vegas, Nevada. American Society of Agricultural Engineers.
- De MARTONNE E., 1926 : *L'indice d'aridité*, Bulletin de l'Association de Géographes Français, 9, p.3-5.
- FALKENMARK M., 1984 : *New ecological approach to the water cycle : ticket to the future*. AMBIO, 13(3), p.152–160.
- FALKENMARK M., WIDSTRAND C., 1992: *Population and Water Resources: A Delicate Balance*, Population Bulletin, 47(3), p.1-36.
- FAO, 2012 : *Faire face à la pénurie d'eau. Un cadre d'action pour l'agriculture et la sécurité alimentaire*. Rapport sur l'eau, 38, 97 p.
- KHADRI S., 2009 : *Qualité des eaux de la vallée de la Seybouse dans sa partie aval : Impacts des néo-facteurs de pollution*. Mémoire de Magister, Université de Annaba, 134 p.
- LAHONDRE J.-C. 1987 : *Les séries Ultra-telliennes d'Algérie nord - orientale et les formations environnantes dans leur cadre structural*. Thèse de Doctorat en sciences, Université Paul Sabatier, Toulouse, 242 p.
- LUTZ W., SANDERSON W. et SCHERBOV S., 2008 : *The Coming Acceleration of Global Population Ageing*. Nature 451 (20), p. 716-19.

- MOUCHARA N., 2009 : *Impacts des lâchées de barrage de Hammam Debagh sur la qualité des eaux de la vallée de la Seybouse dans sa partie amont (nord –est Algérien)*, Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar-Annaba, 141p.
- NEDJRAOUI D., BEDRANI S., 2008 : *La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte*. Vertigo - La revue électronique en sciences de l'environnement, Volume 8, Numéro 1, <http://vertigo.revues.org/5375>.
- ONU-Eau, 2006 : *L'eau, une responsabilité partagée*. 2ème Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau, 52p.
- ONU, 2009 : *Water in a changing world*. The United Nations World Water Development Report 3, 429 p.
- ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE Rome, 2012 : *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture*, 202p
- SCHWAB G.O., FANGMEIER D.D., ELLIOT W.J. et FREVERT R.K., 1993 : *Soil and Water Conservation Engineering*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- SHAH T. 2009 : *Taming the anarchy: groundwater governance in South Asia*. Resources for the Future. 310 p.
- UNESCO 1999 Programme et budget approuvés pour 2000-2001, Paris.
- Unesco, 2006 : *Jusqu'à la dernière goutte*. Le Courrier de l'Unesco, Mars 2006, 18 p.
- VILA J.M., 1974 : *Carte géologique de l'Algérie au 1/50 000 : feuille n°54, Guelma, avec notice explicative détaillée*. Alger, Serv. Carte Géol. Algérie.
- VILA J.M., 1980 : *La chaîne alpine d'Algérie nord-orientale et des confins Algéro-tunisiens*. Thèse de doctorat d'état en science. Université Pierre et Marie Curie, France. 665p.
- WALKER W. R., 1989 : *Guidelines for Designing and Evaluating Surface Irrigation Systems*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 45. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. <http://www.fao.org/docrep/t0231e/t0231e00.htm#Contents>
- WINPENNY J.T., 1994 : *Managing water as an economic resource*. Routledge, London, UK.
- ZERROUKI, H., 2007 : *Diagnostic pour une éventuelle réhabilitation des eaux de la Seybouse - la basse plaine – Annaba*. Mémoire de Magister, Université de Annaba, 109 p.

## Sites internet :

(Consultés entre le mois d'avril et le mois de juin 2018)

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Stress\\_hydrique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Stress_hydrique)

<http://www.algerieprofonde.net>.

Google maps.

<http://www.andi.dz>

<http://jymassenet-foret.fr/cours/ecologie/CHAPITREclimato2012ppt.pdf>

<https://data.worldbank.org>

<http://www.minagri.dz/>

<http://www.fao.org>

<http://www.dcwguelma.dz>

<http://www.ons.dz/>

<https://donnees.banquemondiale.org>

<https://www.prb.org/2016-world-population-data-sheet/>

<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/2002.html>

<https://www.liberte-algerie.com>

<https://www.lemonde.fr>

<https://global-climat.com>

<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/global-surface-temperatures-best-berkeley-earth-surface-temperatures>

<https://www.planetoscope.com>

<http://planbleu.org>

<http://www.ready-for-the-resource-revolution.com>