

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
المدرسة الوطنية العليا للفلاحة - الحراش - الجزائر  
École Nationale Supérieure Agronomique -El Harrach -Alger

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de  
Magister en Sciences Agronomiques  
Département : Génie Rural  
Spécialité : Hydraulique

## THÈME

Calcul de l'eau virtuelle agricole de la wilaya de M'Sila  
en vue de la détermination de l'efficacité d'utilisation  
de l'eau

Présenté par : M. MOKHTARI Sakher

Devant le Jury composé de :

Président : M. HARTANI T. Professeur, ENSA Alger

Promoteur : M. MOUHOUCHE B. Professeur, ENSA Alger

Examineurs : M. ABDELGUERFI A. Professeur, ENSA Alger

M. CHABACA M. N. Maître de conférences, ENSA Alger

2010-2011

## Remerciements

Ce mémoire a été effectué sous la direction de M. MOUHOUCHE B., Professeur à l'École Nationale Supérieure Agronomique, je le remercie vivement pour avoir accepté de suivre mon travail, pour son encadrement apprécié, ses conseils avisés, et la confiance qu'il m'a accordé pour que ce travail puisse être achevé.

Mes vifs remerciements vont au professeur Monsieur HARTANI T., Professeur à l'École Nationale Supérieure Agronomique, pour avoir accepté de me faire l'honneur de présider le jury.

Je remercie grandement, Monsieur ABDELGUERFI A., Professeur à l'École Nationale Supérieure Agronomique, pour avoir accepté d'examiner ce mémoire.

Je remercie grandement, Monsieur CHABACA M. N., Maître de conférences à l'École Nationale Supérieure Agronomique, pour avoir accepté d'examiner ce mémoire.

Enfin, mes remerciements les plus sincères s'adressent aux nombreuses personnes avec lesquelles j'ai eu l'occasion de travailler et à tous ce qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

## LISTE DES ABREVIATIONS

PIB : produit intérieur brut

MRE : ministère des ressources en eau

PMH : petite et moyenne hydraulique

MADR : ministère d'agriculture et de développement rural

MS : matière sèche

MV : matière verte

Mds : USD milliard de dollars américain

DA: dinar Algérien

SOAS: School of Oriental and African Studies

ONM : office national de la météorologie

RU : réserve utile

RFU : réserve facilement utilisable

DSA : direction des services agricoles,

FAO : organisation mondiale de l'alimentation et l'agriculture,

SAT : surface agricole totale,

Irr : irrigation,

Init : initial,

dév. : développement,

mi-sais : mi-saison,

arri-sais : arrière saison,

Peff : pluie efficace,

Pmoy : pluie moyenne

ET0 : évapotranspiration de référence,

ETm : évapotranspiration maximale,

kc : coefficient cultural,

T : température,

V : vitesse de vent,

Ins : insolation,

HR : humidité relative,

Céréales f. : Céréales fourragères

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1 :</b> Balance commerciale agricole.	7
<b>Figure 2 :</b> Composantes de l'eau virtuelle : l'eau bleue et l'eau verte.	24
<b>Figure 3:</b> Carte de la wilaya de M'Sila	31
<b>Figure 4:</b> Réseau hydrographique de M'Sila	31
<b>Figure 5 :</b> Variabilité temporelle des pluies dans la wilaya de M'Sila.	36
<b>Figure 6 :</b> Courbe de coefficients culturaux et les phases de développements.	40
<b>Figure 7 :</b> Pluies mensuelles de l'année sèche (80%), normale (50%) et humide (20%).	49
<b>Figure 8 :</b> Evolution de précipitation, évapotranspiration de référence et déficits hydriques climatique moyens (en mm) de la wilaya de M'Sila.	50
<b>Figure 9 :</b> Cultures dominantes dans la wilaya de M'Sila.	50
<b>Figure 10 :</b> Besoins en eau des cultures dans la wilaya de M'Sila.	51
<b>Figure 11 :</b> Approvisionnement en eau virtuelle bleue et verte de la wilaya de M'Sila en année humide, normale et sèche.	57
<b>Figure 12 :</b> Besoins en eau virtuelle (Etc) des cultures dans la wilaya de M'Sila.	58

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1</b> : Superficies irriguées en Algérie	6
<b>Tableau 2</b> : Taux de couverture des disponibilités alimentaires par la production agricole.	7
<b>Tableau 3</b> : Disponibilité en eau renouvelable.	8
<b>Tableau 4</b> : Barrages en Algérie.	10
<b>Tableau 5</b> : Empreinte en eau de quelques pays.	23
<b>Tableau 6</b> : Répartition de la SAU dans la wilaya de M'Sila.	32
<b>Tableau 7</b> : Ressources en eau de la wilaya de M'Sila.	33
<b>Tableau 8</b> : Données climatiques entrées dans le Cropwat.	37
<b>Tableau 9</b> : Profondeurs d'enracinement des principales cultures.	37
<b>Tableau 10</b> : Données liées au sol proposées dans le Cropwat.	38
<b>Tableau 11</b> : Groupes des cultures similaires.	41
<b>Tableau 12</b> : Synthèses des données liées aux cultures.	42
<b>Tableau 13</b> : Précipitations moyennes mensuelles.	46
<b>Tableau 14</b> : Pluie efficace de la wilaya de M'Sila.	46
<b>Tableau 15</b> : Evapotranspiration (mm/j) dans la wilaya de M'Sila.	47
<b>Tableau 16</b> : Besoins mensuel en eau d'irrigation pour les principales cultures conduites dans la wilaya (année normale).	55
<b>Tableau 17</b> : Comparaison de l'eau virtuelle bleue et verte de la région de M'Sila.	56
<b>Tableau 18</b> : Besoins en eau virtuelle bleue et verte, en année normale, des céréales et des cultures fourragères.	59
<b>Tableau 19</b> : Besoins en eau virtuelle bleue et verte, en année normale, des arbres fruitiers.	61
<b>Tableau 20</b> : Besoins en eau virtuelle bleue et verte, en année normale, des cultures maraîchères.	61
<b>Tableau 21</b> : Efficience d'utilisation d'eau des cultures fourragères comparé à la moyenne nationale et mondiale.	65
<b>Tableau 22</b> : Efficience d'utilisation d'eau des céréales comparé à la moyenne nationale et mondiale.	65
<b>Tableau 23</b> : Efficience d'utilisation d'eau des arbres fruitiers comparé à la moyenne nationale et mondiale.	66
<b>Tableau 24</b> : Efficience d'utilisation d'eau des cultures maraîchères comparé à la moyenne nationale et mondiale.	67

## **Plan de travail**

I. Introduction générale	1
--------------------------	---

### **Partie I : Bibliographie**

#### Chapitre 1 : Eau et Agriculture en Algérie

1. Introduction	3
2. Agriculture	4
2.1. Irrigation et contrôle de l'eau	4
2.2. Sécurité alimentaire	6
3. Potentialités en eau	8
3.1. Eaux conventionnelles	9
3.1.1. Eaux superficielles	9
3.1.2. Eaux souterraines	11
3.2. Eaux non conventionnelles	11
3.2.1. Eaux usées	11
3.2.2. Eaux saumâtres/salées	11
4. Sècheresse	12
5. Conclusion	14

#### Chapitre 2 : Eau et Agriculture au défi du changement climatique

1. Prospectives sur les impacts du changement climatique	15
2. Stratégies d'adaptation à la rareté de la ressource	17

#### Chapitre 3 : Eau virtuelle

1. Concept de l'eau virtuelle	21
2. Eau virtuelle : définitions	22
3. Intérêts et limites du concept d'eau virtuelle	26

### **Partie II : Matériel et méthodes**

#### Chapitre 1 : Présentation de la wilaya

1. Relief	30
2. Sols	32
2.1. Répartition des terres	32
2.2. Répartition de la SAU	32
3. Ressources hydriques	33

## Chapitre 2 : Logiciel utilisé

1. Logiciel Cropwat	35
2. Evaluation des besoins en eau des plantes cultivées	35
2.1. Données climatiques	35
2.1.1. Choix de la station météorologique	36
2.1.2. Données climatiques entrées dans le Cropwat	36
2.2. Données liées au sol	37
2.2.1. Facteurs de pilotage des irrigations	37
2.2.2. Pilotage des irrigations	38
2.3. Données liées à la culture	38
2.3.1. Type de culture	38
2.3.2. Date de semis ou de plantation	39
2.3.3. Phases de développement	39
2.3.4. Coefficient Cultural (kc)	39
2.3.5. Groupement des cultures	41
2.3.6. Tariessement admissible du sol (P)	43
2.3.7. Coefficient de réponse du rendement à l'eau (kY)	43
3. Calcul de l'évapotranspiration	43

## Partie III : Résultats et discussions

1. Analyse des données climatiques	46
1.1. Précipitations	46
1.2. Pluie efficace	46
1.3. Evapotranspiration de référence	46
1.4. Détermination de l'année sèche, normale et humide	48
1.5. Déficit climatologique hydrique (DCH)	49
2. Besoin en eau des cultures	50
2.1. Cultures dominantes dans la région	50
2.2. Besoins en eau virtuelle de la wilaya de M'Sila	51
2.3. Besoins mensuels en eau d'irrigation pour les principaux groupes de cultures	54
2.4. Eau virtuelle bleue et verte entre année humide, normale et sèche de la wilaya de M'Sila	56
2.5. Eau virtuelle bleue et verte par système de culture dans la wilaya de M'Sila	57
3. Analyse de l'eau virtuelle bleue et verte à l'échelle d'un hectare culture par culture	58
3.1. Besoins en eau (ETc)	58
3.1.1. Cultures fourragères et céréales	59
3.1.2. Arbres fruitiers	60
3.1.3. Cultures maraîchères	61

3.1.3.1. Choux	62
3.1.3.2. Piment et poivron	62
3.1.3.3. Melon et pastèque	62
3.1.3.4. Ail et oignon	63
3.1.3.5. Pomme de terre	63
3.1.3.6. Laitue	63
3.1.3.7. Haricot et fève	63
3.2. Efficacité d'utilisation de l'eau des produits agricoles	64
3.2.1. Cultures fourragères	64
3.2.2. Céréales	65
3.2.3. Arbres fruitiers	66
3.2.4. Cultures maraîchères	67
IV. Conclusion générale	69
Références bibliographiques	72
Annexes	76

## **I. Introduction générale**

Le développement durable et particulièrement la gestion durable de l'eau, comme solution à la pénurie et à la pollution des ressources hydriques, sont devenus, dès le début des années 90, des impératifs communs aux politiques publiques nationales et internationales.

À l'heure actuelle, environ 80 pays font face à des pénuries d'eau chroniques (Lasserre, 2002). Selon la Population Action International, 436 millions de personnes vivaient dans une situation de stress hydrique et de pénurie d'eau en 1997, et on prévoit qu'ils seront cinq fois plus nombreux en 2050. Quant au directeur de l'International Food Policy Research Institute, il estime qu'un pays sur cinq fera face à une grave pénurie d'ici 25 ans (De Villiers, 2000). De nombreux facteurs permettent en effet de croire que le problème de la pénurie ira en s'aggravant : croissance démographique, augmentation du niveau de vie et accroissement de l'irrigation pour cultiver des terres en perte de productivité n'en sont que quelques exemples.

Les échanges de produits dont la production demande beaucoup d'eau peuvent indirectement accentuer ou diminuer la pression sur la ressource d'une région, non pas en augmentant l'offre, comme c'est le cas avec les dérivations et importations, mais plutôt en réduisant la demande dans un secteur donné. Dans les années 1990, le professeur John Anthony Allan a introduit le concept d'eau virtuelle pour rendre compte du phénomène. L'eau virtuelle peut se définir comme l'eau qu'a nécessitée la production d'un bien. Produire une tonne de céréales, par exemple, demande 1 000 m<sup>3</sup> d'eau. Pour un pays en situation de pénurie, il est plus facile de se procurer une tonne de céréales que les 1 000 m<sup>3</sup> d'eau qui ont été nécessaires à leur production.

L'intérêt du concept d'eau virtuelle vient d'abord de sa capacité à reconnaître l'eau comme facteur de production. En quantifiant l'eau nécessaire à la production d'un bien, il devient possible d'établir le rapport entre l'usage de l'eau comme facteur de production et la consommation d'un individu ou d'une nation. Alors qu'un être humain a besoin de boire de 2 à 5 litres d'eau par jour et nécessite de 25 à 100 litres pour ses usages domestiques, il a besoin de 1 000 à 6 000 litres par jour pour se nourrir. La fraction invisible de l'eau, soit celle qu'on retrouve dans les aliments, est donc de 37 à 57 fois plus grande que la fraction visible (Turton, 2000). Or, la fraction invisible est largement ignorée dans la littérature (Turton, 2000). Le concept d'eau virtuelle permet de la mettre en évidence.

La quantification de l'eau virtuelle de différents produits permet donc d'établir un rapport plus direct entre la consommation de certains biens et l'eau qui est intervenue dans leur production. Les échanges en eau virtuelle viendront quant à eux transposer ce rapport à l'échelle de la consommation des pays. Les biens consommés à l'intérieur d'un pays impliquent que de l'eau a été nécessaire pour les produire : cette eau peut venir du pays lui-même, mais aussi d'un autre pays, si le produit a été importé.

C'est dans ce cadre la que s'établie notre étude au niveau de la wilaya de M'Sila, et dont l'objectif consiste à calculer les besoins en eau virtuelles des principaux cultures en essayant de s'approcher le plus de la réalité.

Notre travail se subdivise en trois grandes parties :

Nous présenterons dans une première partie la situation hydro agricole de l'Algérie. Elle sera suivie d'une analyse de la vulnérabilité et les risques qui concernent une probable augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses, auxquelles les systèmes hydriques et agricoles sont particulièrement sensibles et on termine la partie par une simple introduction du concept d'eau virtuelle, ses limites et ses intérêts.

Ensuite la partie 2 : traite quelques notions en relation avec notre sujet à savoir les méthodes de calculs des besoins en eau, les critères de pilotage d'irrigation, et une brève présentation du logiciel « Cropwat », et dans la même partie nous allons présenter les données utilisées concernant le calcul des besoins (données climatiques, les données liées aux cultures et au sol), ainsi que l'étude fréquentielle des pluies.

La partie 3 : concerne les résultats de notre étude sur la quantification de l'eau virtuelle des produits agricole dans la wilaya de M'Sila, où nous allons présenter les résultats de l'étude suivis d'une interprétation et discussion.

Enfin on termine par une conclusion générale.

**Première partie**

**BIBLIOGRAPHIE**

## **Chapitre 1 : Eau et Agriculture en Algérie**

### **1. Introduction**

L'Algérie se situe parmi les pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques, soit en dessous du seuil théorique de rareté fixé par la Banque Mondiale à 1.000 m<sup>3</sup> par habitant et par an d'eau renouvelable.

Si en 1962, la disponibilité en eau théorique par habitant et par an était de 1.500 m<sup>3</sup>, elle n'était plus que de 720 m<sup>3</sup> en 1990, 680 m<sup>3</sup> en 1995, 630 m<sup>3</sup> en 1998, elle est estimée à environ 600 m<sup>3</sup> à l'heure actuelle, et elle ne sera que de 400 m<sup>3</sup> en 2020. Elle serait encore plus réduite ramenée aux ressources en eau mobilisables (Messahel et Benhafid, 2005).

Cette situation est liée à la faiblesse de la ressource, aggravée par la sécheresse et une pollution urbaine, industrielle et agricole et une mauvaise gestion impliquera des conflits sérieux entre les différents utilisateurs.

Dans sa dynamique de développement, l'Algérie n'a pas accordé à l'hydraulique toute l'attention qu'elle mérite, malgré que le secteur de l'eau a connu depuis 1962, une évolution remarquable en matière d'investissement particulièrement depuis 1970, année de création du Secrétariat d'Etat à l'Hydraulique. Cependant la gestion du secteur a subi des restructurations successives qui n'ont pas permis de mettre en place une organisation de gestion efficace avec des objectifs clairs. Il en résulte, dès lors, un retard fort préjudiciable qui affecte, aujourd'hui le développement général du pays.

A ce titre, il n'est pas sans intérêt de signaler la disparition de certains vergers traditionnels, les tensions fréquentes sur l'eau entre les villes et les industries, une diminution très significative de la superficie irriguée (Messahel et Benhafid, 2005). L'une des préoccupations constantes des pouvoirs publics a été de s'efforcer de résoudre l'épineuse équation entre les ressources en eau et la satisfaction des besoins en eau de la population, de l'industrie et de l'irrigation. Mais plusieurs années après, force est de constater que malgré cette prise de conscience, aucune amélioration notable n'a été enregistrée.

En tout état de cause, on se rend compte, qu'une grande politique de l'eau orientée vers la prise en charge effective des grandes questions stratégiques se rapportant, entre autres, à la mobilisation de l'eau, à son traitement, à son assainissement et à sa gestion, revêt une importance vitale pour le pays.

## **2. Agriculture**

Employant 23% de la population active et participant pour 7,60% du PIB en 2006, le secteur agricole joue un rôle important dans l'économie Algérienne.

Durant la dernière décennie, il y a lieu de souligner l'impact positif de la mise en œuvre du Plan National de Développement Agricole et Rural (PNDAR) sur, notamment, l'extension de la Surface Agricole Utile (SAU), le développement des systèmes d'irrigation, la préservation des parcours steppiques, le développement forestier et la création de nombreux emplois permanents au niveau des zones rurales.

La quasi-totalité des exploitations du secteur productif agricole est aujourd'hui à gestion privée, malgré la diversité des formes de propriété. Les productions céréalières en sec et l'élevage extensif de petits ruminants prédominent. Au cours des dernières années, les productions ayant eu la plus forte croissance sont celles aux valeurs ajoutées les plus élevées : fruits, maraîchage. A l'exception de la tomate industrielle et de l'huile d'olive, les cultures industrielles restent marginales. Les céréales continuent à stagner dans l'ensemble et à enregistrer de fortes variations interannuelles de rendement et de production.

### **2.1. Irrigation et contrôle de l'eau**

L'agriculture irriguée occupe environ 11% des surfaces cultivées et globalement 40% de la production agricole nationale lui sont imputables.

Le potentiel en terres irrigables est de l'ordre de 2,3 millions d'ha dont 1,3 millions d'ha présentant des aptitudes à l'irrigation sans travaux de mise en valeur (MADR, 2008).

Les superficies irriguées se subdivisent en grands périmètres irrigués (GPI) et en petite et moyenne hydraulique (PMH). Les GPI ont une superficie équipée de 215 000 ha environ. Ils peuvent être classés en deux catégories : les anciens périmètres, où se pratique l'irrigation traditionnelle gravitaire sur 105 500 ha, et les périmètres récents avec une irrigation moderne sur 95 500 ha. Sur ces 215 000 ha, seule une superficie de 150 000 ha est estimée irrigable ; l'écart de 65 000 ha correspondant en grande partie aux zones abandonnées suite aux programmes d'urbanisation et à l'insuffisance de la ressource suite à la sécheresse prolongée qui a sévit dans la région.

## ***Bibliographie : EAU ET AGRICULTURE EN ALGERIE***

Sur ces 150 000 ha irrigables, 43 000 ha seulement ont été effectivement irrigués en 2007, du fait de la sécheresse et de la réaffectation des eaux d'irrigation à l'alimentation en eau potable des populations notamment à l'ouest du pays. Les GPI utilisent principalement les eaux de surface régularisées par des barrages. Ce décalage entre les superficies équipées et irriguées sera progressivement résorbé avec l'achèvement des programmes de mobilisation et de transferts en cours (barrages, transferts, réutilisation des eaux usées épurées, dessalement) et des opérations de travaux de réaménagement des anciens périmètres d'irrigation (MADR, 2008).

La faiblesse des volumes d'eau vendus, couplée à la limitation du tarif de l'eau d'irrigation et aux faibles taux de recouvrement des factures d'eau a abouti à une situation financière catastrophique pour les Offices de périmètres irrigués (OPI) qui ne pouvaient plus assurer normalement l'exploitation et l'entretien des réseaux d'irrigation. Cette situation a entraîné la dégradation des équipements (MADR, 2008).

Pour plus de rationalité dans la gestion de l'irrigation, il a été créé en 2005 un établissement public à caractère industriel et commercial dénommé « office national de l'irrigation et du drainage (ONID) et ce, à travers la transformation de l'agence nationale de l'irrigation et du drainage (EPA – AGID) et le rattachement des cinq OPI régionaux sous tutelle du Ministère des ressources en eau. Cet office est chargé de l'exploitation des grands périmètres d'irrigation ainsi que de la maîtrise d'ouvrage des équipements des périmètres.

La superficie irriguée en PMH est de l'ordre de 907 293 ha. (MRE, 2007). Ces aménagements sont constitués par des périmètres de taille très variable avec une alimentation en eau diversifiée dont 78% provient à partir des eaux souterraines.

Le secteur de la PMH est très dynamique et contribue pour une large part à l'approvisionnement en fruits et légumes. Il bénéficie de subventions d'investissement importantes, à hauteur de 80%, octroyées par le Fonds national de développement rural et agricole (FNDRA), (MRE, 2007).

**Tableau 1 : Superficies irriguées en Algérie**

Type de périmètre	Superficie irriguée
<b>Grands périmètres irrigués (GPI)</b>	<b>215 000 ha</b>
✓ les anciens périmètres (irrigation gravitaire)	105 500 ha
✓ les périmètres récents (irrigation moderne)	95 500 ha
<b>Petite et moyenne hydraulique (PMH)</b>	<b>907 293 ha</b>
✓ Irrigation à partir des forages	401 324 ha
✓ Irrigation à partir des puits	277 040 ha
✓ Irrigation à partir des eaux de sources	30 309 ha
✓ Irrigation à partir de petits barrages	4.684 ha
✓ Irrigation à partir de retenues collinaires	8 422 ha
✓ Irrigation à partir des pompages au fil de l'eau	76 337 ha
✓ Autres irrigation (foggaras, plan d'eau...)	77 766 ha
✓ Irrigation par épandage de crue	31.000 ha
✓ Irrigation avec des eaux usées épurées	410 ha

Source : MADR, 2008

## **2.2. Sécurité alimentaire**

Selon le MADR (2008), depuis l'année 2000, les disponibilités en produits agricoles, en particulier les céréales, les fruits, les légumes frais, les viandes rouges, le lait et les œufs, ont connu une amélioration indéniable, que ce soit en termes quantitatifs ou d'accessibilité. Cependant, la satisfaction relativement bonne des besoins alimentaires de la population repose principalement sur une importation massive des produits agricoles et alimentaires. En effet, l'Algérie présente un assez faible taux de couverture des denrées alimentaires de base (tableau ci-dessous) et fait partie des dix principaux pays importateurs de produits alimentaires au niveau mondial. La vulnérabilité alimentaire du pays est donc une donnée établie.

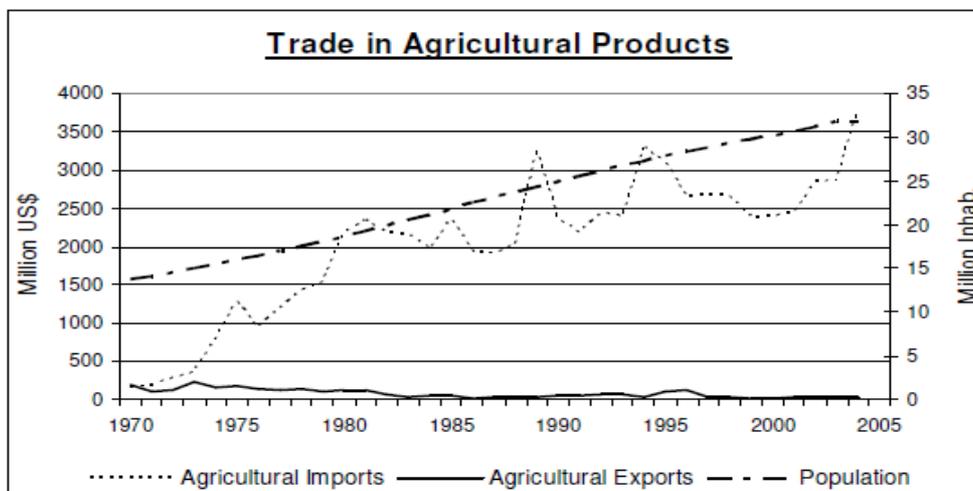
**Tableau 2** : Taux de couverture des disponibilités alimentaires par la production agricole en 2005

<b>Produit</b>	<b>Taux de couverture (%)</b>
Céréales et dérivés	35
Lait et dérivés	42
Légumes secs	30
Viandes	100
Pomme de terre	100
Tomate industrielle	100
Fruits et légumes	100
Sucre, thé et café	0

Source : MADR (2008)

L'Algérie était, en 2005, l'un des dix principaux pays importateurs des produits alimentaires au niveau mondial et le premier en Afrique, d'où une dépendance marquée vis-à-vis du marché international (Beaulieu, 2010). La valeur des importations de denrées alimentaires dépasse le quart du total des importations.

L'essentiel des importations est constitué par trois groupes de produits : en 1997, 40% de la valeur des importations de produits agricoles allaient aux céréales et dérivés, 14,3% au lait et aux produits laitiers et 10,5% aux huiles et graisses.



**Figure 1** : Balance commerciale agricole (MADR, 2008).

## ***Bibliographie : EAU ET AGRICULTURE EN ALGERIE***

En 2004, les exportations agricoles étaient négligeables tandis que les importations frôlaient les 3,5 milliards de dollars afin de satisfaire les besoins d'une population était d'environ 33 millions de personnes et qui continue de grimper. Cette évolution est spectaculaire par rapport au début des années 70 où la balance commerciale agricole était en équilibre par rapport aux produits agricoles (figure 1).

En 2009 l'Algérie avec 75% de ses besoins alimentaires assurés par les importations, est aujourd'hui selon Ubifrance (Agence française pour le développement international des entreprises), le principal importateur de denrées agroalimentaires du continent africain. Cette situation s'explique par un niveau de dépendance extérieure très important : 100% pour le sucre, 95% pour l'huile, 85% pour les légumes secs, 70% pour les céréales, 57% sur le lait, 18% sur les viandes rouges et 11% pour les poissons. Le secteur agroalimentaire occupe une forte proportion dans la structure des importations algériennes (15%), avec un volume de 5,8 Mds USD pour l'année 2009, en baisse de 25% par rapport à l'année 2008, qui avait affiché une hausse spectaculaire de 55% par rapport à 2007. Ces fluctuations témoignent d'une dépendance en matières premières et des cours mondiaux, notamment en ce qui concerne le blé et le lait qui sont parmi les premières positions dans les importations du pays (Beaulieu A. 2010).

### **3. Potentialité en eau**

Le taux de raccordement à l'alimentation en eau potable est de 85%. Le coût réel des services de l'eau rapporté au mètre cube de ce dernier est de 148 DA. Ce prix inclut l'investissement, l'exploitation et la maintenance. Il est très loin du prix moyen appliqué actuellement qui est de 18 DA/m<sup>3</sup> seulement. Le prix de revient d'un mètre cube d'eau est de 20DA, alors qu'il est cédé à 6,30DA pour la 1<sup>ère</sup> tranche (<25 m<sup>3</sup>), 20,48DA pour la 2<sup>ème</sup> tranche (26 à 55 m<sup>3</sup>), 34,65DA pour la 3<sup>ème</sup> tranche (56 à 82 m<sup>3</sup>) et 40,95 DA la 4<sup>ième</sup> tranche (>82 m<sup>3</sup>). Les pertes en eau sont estimées à 50%. (Boukhari et al., 2008)

**Tableau 3 : Disponibilité en eau renouvelable**

<b>Année</b>	1962	1990	1995	1998	2000	2020
<b>m<sup>3</sup>/hab.</b>	1500	720	680	630	500	430

Source : Kettab (2001).

La consommation d'eau distribuée est de 161 l/hab./j; si l'on tient compte des fuites (50%), l'industrie et du tourisme, cette quantité devient 60 l/hab./j (Kettab, 2001).

Pour les 10 années à venir, pour résoudre le problème de la pénurie d'eau, l'investissement est estimé à 13 milliards de dollars, sans parler de la réhabilitation et du renouvellement des différentes infrastructures (300 millions de dollars), soit au total 1,2 milliards de dollars/an.

### ***3.1. Eaux conventionnelles***

#### ***3.1.1. Eaux superficielles***

Le volume d'eau terrestre sous forme solide, liquide et gazeuse est estimé à 1384120000 km<sup>3</sup> dont seul 0,26% est une eau douce directement exploitable. On estime qu'il y a théoriquement, suffisamment d'eau douce pour alimenter quelques 20 milliards d'habitants (Kettab, 2001). Malheureusement elle n'est pas répartie de façon égale et équitable, comme en témoignent les vastes régions arides et semi-arides.

Dans le monde Arabe, en 2001, le volume total des eaux de surface est estimé à 204 milliards de m<sup>3</sup>. Au Maghreb, l'Algérie, jusqu'en 2000, les 44 barrages en exploitation que disposait ne mobilise que 4,5 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> alors que le Maroc avec 33 barrages mobilise 10 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>, tandis que la Tunisie avec ses 28 barrages totalise 2,4 10<sup>9</sup>. Pour l'ensemble des barrages Algériens les sédiments déposés sont évalués à 100 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> en 5 ans soit 20 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/an de volume perdu (Kettab, 2001).

L'Algérie dispose actuellement de soixante six (66) barrages pour une capacité de stockage de près de 7 milliards m<sup>3</sup>. Ce nombre devrait croître (19 nouveaux barrages programmés au titre du Plan quinquennal 2010-2014) pour permettre de régulariser, au final, la moitié de l'apport total des oueds, soit 5 milliards m<sup>3</sup> par an pour une capacité installée avoisinant les 10 milliards (Mebarki, 2009).

**Tableau 4** : Barrages en Algérie

Barrages	Nombre	Cap. Total 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	Vol. régularisé 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /an
En exploitation	44	4400	1901
En construction	13	2726	1375
En étude	50	3000	—
Total	184	10126	3276

Source : Mebarki (2009).

L'Algérie est un pays semi-aride, voire même aride par région (200 à 400 mm dans la partie nord) et les ressources en eau sont faibles, irrégulières, et localisées dans la bande côtière. L'apport total des précipitations serait de l'ordre 100 milliards de m<sup>3</sup> d'eau par an dont 10 milliards de m<sup>3</sup> en écoulements superficiels. Le Sahara, bassin le plus important par la surface, ne renferme que 0,2 milliard de m<sup>3</sup> et seuls 6,45 milliards de m<sup>3</sup> sont mobilisables en tenant compte des sites favorables techniquement (Hydrologie, topographie, géologie) (Kettab, 2001).

En Algérie la population était estimée à 23 millions en 87 ; 28 en 95 ; 32 en 2000 ; 39 en 2010 ; et 46 en 2020 (Kettab, 2001).

A l'horizon 2020, la consommation potable et industrielle serait de l'ordre de 5 milliards de m<sup>3</sup> alors que la mobilisation actuelle est à peine de 6 milliards de m<sup>3</sup>, donc les besoins agricoles seront dans ce cas potentiellement en déficit (Remini, 2010).

En conclusion il faudrait mobiliser en 2020, plus de 11 milliards de m<sup>3</sup> d'eau (Kettab, 2001), alors que nos capacités théoriques sont de 7 à 8 milliards (Remini, 2010), un réel défi à relever?, mais surtout une stratégie et une politique à définir.

Le problème de la ressource en eau est lié principalement à l'érosion des sols ; au stockage ; dépôt de sédiments et à la qualité des eaux ; les moyens de lutte : reboisement de bassins versants ; surélévation des digues ; construction de barrages de décantation et dragages des barrages sont actuellement insuffisants.

### **3.1.2. Eaux souterraines**

Les ressources en eau souterraine renouvelables contenues dans les nappes du nord du pays sont estimées à près de 2 milliards de m<sup>3</sup>/an. Ces nappes sont alimentées essentiellement par les précipitations dont la répartition demeure irrégulière, à la fois, dans le temps et dans l'espace. Le sud du pays se caractérise par l'existence de ressources en eaux souterraines très importantes provenant des nappes du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal. Ces deux grands systèmes aquifères profonds constituent des réserves importantes, malheureusement non renouvelables et caractérisées par des contraintes physiques et géologiques. C'est donc un patrimoine fragile qui nécessite une gestion rationnelle pour sa durabilité. Les études effectuées montrent que sur un potentiel de 40 000 milliards de m<sup>3</sup>, seulement 5 milliards peuvent être exploités annuellement et ce, sans impact sur la durabilité de ces nappes.

## **3.2. Eaux non conventionnelles**

### **3.2.1. Eaux usées**

Actuellement, le volume annuel d'eaux usées rejetées est estimé à 730 millions m<sup>3</sup>. La capacité installée d'épuration des eaux usées est de 350 millions de m<sup>3</sup>/an. Ce chiffre passera en 2011, à 600 millions de m<sup>3</sup>/an, soit une capacité d'épuration de l'ordre de 82% (MRE, 2007).

Le volume total prélevé en 2007 est estimé à 7 575 millions de m<sup>3</sup>, dont 4 825 millions destinés à l'irrigation (65%), 2 700 millions aux usages domestiques et à l'industrie (35%) (MRE, 2007).

### **3.2.2. Eaux saumâtres/salées**

L'Algérie, pays méditerranéen, a 1200 km de côtes, ce qui laisse présager d'énormes possibilités. Le dessalement de l'eau de mer est pratiqué dans 23 stations pour une capacité de 347 000 m<sup>3</sup>/jour dont deux grandes stations (Hamma : 200 000 m<sup>3</sup>/jour et Arzew : 90 000 m<sup>3</sup>/jour), soit 127 millions de m<sup>3</sup>/an. Le programme de dessalement d'eau de mer en cours comprend pour sa part, la réalisation de 11 autres stations de capacités variables (de 100 000 m<sup>3</sup>/jour à 500 000 m<sup>3</sup>/jour) qui produiront à terme, 1,97 millions de m<sup>3</sup>/jour, portant ainsi la production journalière à 2 317 millions de m<sup>3</sup> (MRE, 2007).

#### **4. Sècheresse**

La sécheresse intense et persistante, observée en Algérie durant les 30 dernières années et caractérisée par un déficit pluviométrique évalué à 30%, elle a eu un impact négatif sur les régimes d'écoulement des cours d'eau, le niveau de remplissage des réservoirs des barrages, et l'alimentation des nappes souterraines, entraînant des conséquences graves sur l'ensemble des activités socio-économiques du pays.

En tenant compte de cette sécheresse, les estimations du potentiel hydrique sont revues à la baisse à 17 milliards de m<sup>3</sup>/an avec 10 milliards de m<sup>3</sup> des ressources superficielles dans la région Nord, soit une diminution de 11% par rapport au potentiel en eau estimé initialement à 19,2 milliards de m<sup>3</sup> (MRE, 2008).

Par ailleurs, l'Algérie est un pays à dominance semi aride à aride où l'agriculture pluviale pérenne ne concerne qu'un territoire de 1,5 millions d'ha, soit 18% de la surface agricole utile (SAU) et 3% de la surface agricole totale (SAT). Cette contrainte climatique vient s'ajouter à la faiblesse du ratio du capital de production, puisque la disponibilité par rapport à la SAU est de 0,18 ha/hab (MADR, 2006).

Ces données révèlent toute l'urgence du risque que connaissent et connaîtront particulièrement les petites et moyennes exploitations agricoles. Ce risque concerne plus de 90% des exploitations agricoles. Ils sont, aussi, fondamentalement indicateurs de la vulnérabilité et la fragilité du système de production dans la perspective d'assurer une sécurité alimentaire relativement indépendante limitant de fait le recours à l'utilisation du concept de « l'eau virtuelle ».

Les études réalisées en Algérie indiquent à l'horizon 2020 une tendance différenciée selon les régions bioclimatiques. Cependant, l'évolution générale reste marquée par une augmentation de la température de +1°C ainsi qu'une réduction de la pluviométrie de 5 à 10%. (MADR, 2006).

Les études menées sur l'agriculture et son devenir ont montré les risques majeurs accentuant la vulnérabilité des exploitations agricoles. Il s'agit notamment de :

***Bibliographie : EAU ET AGRICULTURE EN ALGERIE***

- ressources en sol fragilisées par les phénomènes de salinisation, en raison de l'augmentation de l'évaporation du sol,
- aggravation du risque relatif à la sécurité alimentaire avec des réductions moyennes des rendements de céréales (de 7 à 14%) et des légumes (de 10 à 30%) à l'horizon 2030,
- réduction de la durée de la période de croissance des cultures,
- activité agricole en zones côtières réduites en relation avec la salification prévue des nappes (biseau salin),
- réduction de la production agricole liée à une plus grande demande en eau de ce secteur associée à la diminution prévue de cette ressource et à la compétition accrue sur la ressource,

## **5. Conclusion**

La demande en eau douce, croît chaque année de 4 à 5%, tandis que les ressources naturelles restent invariables pour ne pas dire qu'elles diminuent (problème de pollution de plus en plus grand). Cette équation montre que bientôt la demande sera supérieure aux ressources. Faut-il se concentrer sur le dessalement de l'eau de mer ou la redistribution des eaux disponibles à l'échelle d'une région, d'un pays novices ou experts disent que le dessalement revient très cher.

L'augmentation du coût de l'énergie, pourrait stimuler les efforts de créativité et d'innovation de nouveaux procédés moins coûteux, pour le dessalement des eaux de mers, telles que les énergies renouvelables (solaire, éolienne, ...). Ces perspectives, peu rassurantes et peu reluisantes pour l'Algérie, nous interpellent et nous laissent espérer une politique des eaux plus efficace, et des recherches plus approfondies.

Le traitement des eaux usées et leur utilisation (au moins à 50%), le dessalement des eaux de mer, la diminution sensible des fuites d'eau et du gaspillage, la construction de barrages, .. sont des axes directeurs à explorer en profondeur. La sensibilisation de l'être humain sur les risques écologiques de la pollution devient une nécessité absolue.

Le problème de l'eau sera sûrement dans les cinquante années à venir plus important que le problème de l'énergie. L'eau pourrait être source de conflits entre différents pays et la prochaine guerre mondiale sera-t-elle celle de l'eau ?

## **Chapitre 2 : EAU ET AGRICULTURE AU DEFI DU CHANGEMENT CLIMATIQUE**

### **1. Prospectives sur les impacts du changement climatique**

L'agriculture en Afrique du Nord comporte des paysages diversifiés mais qui ont pour caractéristiques communes d'être, à des degrés divers, limités par les ressources hydriques, et de présenter une grande vulnérabilité à la variabilité climatique. Le modèle MAGICC (Hulme et al, 2000), centré sur la région, estime un réchauffement de l'ordre de 1°C entre 2000 et 2020 et une perturbation des régimes pluviométriques, avec une tendance à la baisse de l'ordre de 5 à 10 %. D'ici 2050, les températures pourraient augmenter de 3°C et les précipitations diminuer de 10 à 30 %. Des changements dans les moyennes, mêmes faibles, impliquent une augmentation de la fréquence des extrêmes climatiques (Katz et Brown, 1992).

Le risque principal concerne alors une probable augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses, auxquelles les systèmes hydriques et agricoles sont particulièrement sensibles. Les conditions climatiques défavorables de ces dernières décennies pourraient ainsi devenir progressivement la norme au sud de la Méditerranée, entraînant des risques considérables pour l'agriculture.

En Afrique du Nord, la gestion de l'eau est un problème récurrent et qui conditionne l'avenir de la région. La forte sensibilité des bassins hydrologiques à de faibles écarts climatiques implique que les volumes d'eau mobilisables seront fortement touchés par la diminution du ruissellement (Agoumi et al, 1999 ; PNUD-FEM, 2002).

Pour les bassins versants nord africain, les modèles hydrologiques anticipent une réduction des écoulements de surface de 10 à 15 % pour un réchauffement de 1°C et une baisse de la pluviométrie comprise entre 0 et 5 % (Senouci, 2002). En Algérie, les projections des déficits des apports en eaux superficielles s'élèvent à 15 et 30 % pour des scénarios de réchauffement de 0,5 et 1°C et de réduction des précipitations de 10 et 15 % (Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement. Algérie, 2001). Au regard des estimations des besoins sectoriels, le changement climatique pourrait placer les pays d'Afrique du Nord dans une situation inconfortable puisque les volumes mobilisables seraient à la limite des besoins, voire déficitaires en Algérie d'ici 2020.

Si l'augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère pourrait augmenter la productivité de certaines cultures, cet effet sera contrecarré par l'accentuation d'une dynamique déjà engagée d'accroissement des déficits hydriques subis par l'agriculture. Les modèles agro climatiques prévoient que la combinaison de ressources en eau et en sols plus limitées entraînera une baisse des rendements des principales cultures en Afrique du Nord (Rozenzweig et Tubiello, 1997).

Le modèle Cropwat (FAO, 2001) appliqué aux céréales anticipe des rendements en baisse de 10 % en année normale à près de 50 % en année sèche à l'horizon 2020. Avec une fréquence des sécheresses d'une année sur trois, la production accuserait une baisse de 30 %. Pour l'Algérie, le modèle anticipe des réductions moyennes de rendement de 10 %. Le changement climatique touchera aussi fortement les légumes dont la productivité diminuerait de 15 à 30 % d'ici 2030 (Bindi et Moriondo, 2005).

La remontée vers le nord des climats méditerranéens pourrait également avoir un impacte sur les cultures d'exportation par ses effets sur les potentiels des pays européens. Les cultures typiquement méditerranéennes comme les olives ou les agrumes pourraient progressivement s'installer dans de vastes régions d'Europe du Sud et le maraîchage s'intensifier, grevant ainsi le développement de l'agriculture d'exportation d'Afrique du Nord (Le Houérou, 1992).

Du point de vue alimentaire, les résultats des projections agricoles montrent un déficit croissant entre les besoins en céréales estimés par les programmes de sécurité alimentaire et les potentiels agricoles des pays de la région. Le changement climatique va donc accélérer une tendance déjà évidente d'augmentation structurelle de la dépendance aux importations pour satisfaire les besoins alimentaires en Afrique du Nord (Hervieu, 2006).

Les rendements céréaliers sont vulnérables à des variations moyennes du climat. Mais les risques, en particulier à court et moyen terme, dépendent surtout des effets du changement climatique sur les événements climatiques extrêmes (Pielke, 2005). L'accentuation attendue des sécheresses est donc centrale, d'autant que la sensibilité de la production céréalière à la variabilité des précipitations est déjà manifeste au Maghreb. L'intensification notable des fluctuations de la production enregistrée depuis la fin des années 1980 en réponse à la baisse

tendancielle des précipitations et à l'augmentation des sécheresses peut servir d'analogie pour fournir une image claire des risques futurs du changement climatique.

La question n'est pas tant de savoir dans quelle mesure ces tendances sont le résultat du changement climatique, que d'anticiper l'ampleur de la vulnérabilité hydrique et agricole de la région si ces conditions se généralisent comme les modèles le prévoient.

Surtout, la vulnérabilité de la production céréalière aux variations du climat et des disponibilités hydriques se traduit par des épisodes de contraction et d'expansion de l'activité, aux effets macroéconomiques élevés et déstabilisateurs.

Les impacts des fluctuations agricoles sur le PIB, l'emploi et les chocs qu'elles génèrent en termes de recours aux importations céréalières, sont particulièrement dommageables au développement économique de la région (Yang et Zehnder, 2003). La vulnérabilité macroéconomique à la variabilité du climat est donc un aspect majeur dans l'anticipation des risques agricoles liés au changement climatique si l'occurrence et l'intensité des sécheresses s'accroissent.

## **2. Stratégies d'adaptation à la rareté de la ressource**

Le changement climatique va exacerber des risques existants de désertification, de pression sur les ressources hydriques et d'une production agricole en difficulté au sud de la Méditerranée. Si la réduction mondiale des émissions de gaz à effet de serre peut limiter l'ampleur du changement climatique à long terme, le développement de stratégies d'adaptation est une voie incontournable pour réduire les dommages attendus dans le court terme (Pielke, 1998).

Pour les secteurs hydriques et agricoles d'Afrique du Nord, particulièrement vulnérables à de faibles variations climatiques, l'adaptation à la rareté croissante de la ressource est un enjeu à ne pas négliger, d'autant que différentes options réduiraient les dommages agricoles du changement climatique tout en limitant les impacts déjà coûteux des sécheresses.

La plupart des mesures d'adaptation qui réduiraient les impacts sur les rendements mettent en jeu les ressources hydriques, secteur transversal des possibilités de l'activité

économique et véritable clé de voûte des performances de l'agriculture. En effet, si certaines options concernent directement les pratiques culturales, comme la refonte progressive des calendriers agricoles traditionnels, la réduction de la vulnérabilité passe avant tout par l'augmentation de l'irrigation et l'arbitrage entre l'intensification de l'offre dans les zones déjà irriguées et l'extension du réseau pour fournir une irrigation de complément durant les périodes sèches.

Il s'agit donc d'accélérer la mobilisation de nouvelles ressources pour l'agriculture, d'abord conventionnelles par la construction de barrages, mais surtout de développer les capacités en eaux non conventionnelles, notamment par le dessalement de l'eau de mer pour l'approvisionnement des villes côtières et la redistribution de l'eau des barrages vers les cultures, et également par l'amélioration de la réutilisation des eaux usées pour satisfaire les besoins agricoles et industriels. Au-delà de ces options d'offre, l'utilisation efficace et raisonnée de l'eau sera probablement le principal gisement qu'il sera possible de dégager pour les besoins des cultures (Benblidia et al, 1997). L'utilisation de techniques optimales d'irrigation économiserait notamment 10 à 20 % de la dotation hydrique de l'agriculture. Dans l'industrie, le recyclage réduirait fortement la demande, et l'amélioration des réseaux d'adduction permettrait des économies importantes sur les besoins des ménages. Dans ce contexte, la tarification des usages inciterait les acteurs à maîtriser leur consommation et à utiliser des techniques économes.

Le principal vecteur de dégradation des rendements agricoles concernant l'approfondissement des déficits hydriques, l'adaptation passe essentiellement par l'accroissement des ressources en eau mises à la disposition de l'agriculture, que ce soit par la mobilisation de nouvelles ressources, ou par des économies dans les différents secteurs consommateurs. Cette stratégie d'adaptation à la rareté met cependant en question les difficultés et les risques d'une intensification des usages agricoles de l'eau. Dans le contexte de la croissance démographique et des perspectives de développement économique dans lequel s'inscrit le changement climatique, tous les secteurs verront leurs besoins s'accroître. On peut donc se demander dans quelle mesure la redistribution intersectorielle de l'eau sera suffisante pour satisfaire les besoins des cultures, pour quelle efficacité, et pour combien de temps ?

## ***Bibliographie : EAU ET AGRICULTURE AU DEFI DU CHANGEMENT CLIMATIQUE***

Les efforts en faveur de l'agriculture impliquent une concentration sectorielle des usages hydriques. Si ce secteur ne génère que 8 % du PIB en moyenne (MADR, 2006) et ne permet de satisfaire qu'une part très faible des besoins céréaliers algériens, elle absorbe déjà 65 % des eaux mobilisées. En dépit de l'ampleur des investissements dans l'irrigation et du poids des usages agricoles de l'eau, la couverture reste faible et n'atteint que 7 %.

L'efficacité d'efforts croissants pour améliorer l'accès à l'eau de l'agriculture et la durabilité de cette stratégie pose question en Afrique du Nord puisque cette option ne permettra pas d'enrayer la dépendance structurelle aux importations céréalières et pourrait être rapidement limitée par l'évolution des ressources hydriques mobilisables. D'un point de vue économique, le poids des usages agricoles de l'eau est également un enjeu sensible dans la mesure où il peut constituer un handicap au développement de l'industrie et du tourisme.

Les conflits intersectoriels déjà intenses sur les ressources et les prévisions d'évolution des disponibilités et des besoins montrent que les possibilités d'étendre l'irrigation seront très limitées dans la région (Margat et Vallée, 1999). L'intensification des sécheresses et des déficits hydriques place les usages agricoles de l'eau sous une pression croissante et on s'attend à ce que l'augmentation de la compétition entre les usages alternatifs conduise à des transferts des dotations agricoles vers les secteurs industriels, municipaux et touristiques (Yang et Zehnder, 2002). La production céréalière, déjà parfois sacrifiée pour satisfaire l'alimentation en eau potable des zones urbaines lors des grandes sécheresses, restera donc essentiellement pluviale au Maghreb.

Une autre stratégie consisterait à prendre acte de l'inadaptabilité croissante de l'agriculture à l'environnement bioclimatique et du coût pour les autres secteurs, d'une fuite en avant que constituerait une tentative d'intensification des usages agricoles de l'eau pour pallier l'accélération des difficultés. Dans ce contexte, l'adaptation à la rareté croissante pourrait viser à favoriser des activités moins dépendantes des ressources hydriques et à importer les produits intensifs en eau comme les céréales, pour réduire la vulnérabilité de l'économie aux variations du climat et maximiser l'efficacité des usages de la ressource. Dans la région Moyen Orient et Afrique du Nord (MOAN), le commerce international de produits agricoles se profile comme une stratégie d'allègement de la contrainte hydrique, alternative aux tentatives d'intensification de l'irrigation.

L'importation de produits intensifs en eau permet d'importer de « l'eau virtuelle », définie par Allan (1996) comme les volumes nécessaires à la production des biens importés et ainsi incorporés dans les échanges internationaux. Dans son analyse, ce concept décrit les opportunités du recours au commerce international pour satisfaire les besoins alimentaires des pays limités par les disponibilités hydriques. La définition de stratégies d'importation d'eau virtuelle permettrait aussi de préserver la ressource pour des usages plus productifs, que ce soit à l'intérieur du secteur agricole, en déplaçant les usages de l'eau de la production céréalière vers des cultures d'exportation à haute valeur ajoutée, ou en favorisant plus généralement l'industrie et le tourisme au détriment de l'agriculture.

L'efficacité de l'utilisation des ressources hydriques peut traditionnellement être améliorée au niveau microéconomique, où la tarification et la promotion de technologies économes ont un rôle clé à jouer, et au niveau du bassin hydrographique dans les choix d'allocation sectorielle de la ressource. Le commerce international de l'eau virtuelle pourrait devenir un outil pertinent pour améliorer l'efficacité dans les usages de l'eau au niveau international et remodeler les termes de l'allocation sectorielle de la ressource au niveau domestique (Hoekstra et Hung, 2005). L'opportunité de ce troisième niveau de gestion des ressources hydriques dans les pays où elle est rare reste cependant encore peu étudiée. Ce concept, qui combine des ingrédients agronomiques à travers les besoins hydriques des cultures, et économiques avec l'intégration implicite des coûts d'opportunité de la ressource, pourrait néanmoins gagner de l'importance avec la prise en considération des risques croissants du changement climatique.

Le commerce d'eau virtuelle apparaît donc comme une source alternative d'eau, dont l'utilisation stratégique pourrait devenir un outil attractif pour améliorer la sécurité hydrique et l'efficacité dans l'utilisation de l'eau dans les pays d'Afrique du Nord face au changement climatique. En dépit du poids de l'irrigation, cet outil est déjà largement utilisé pour pallier les déficits structurels et la variabilité de la production céréalière dans la région. Au-delà de l'utilisation *ad hoc* de cet instrument, c'est la question de l'opportunité d'une utilisation proactive de cette stratégie qui est donc en jeu ici.

### **Chapitre 3 : L'EAU VIRTUELLE**

#### **1. Concept de l'eau virtuelle**

L'eau virtuelle est un concept que l'on doit à J.A. Allan dont les travaux, dans le cadre de la SOAS, développés au Moyen-Orient, en Afrique du Nord et du Sud, visent à analyser le management de la demande en eau avec des approches relevant des sciences politiques et de l'économie institutionnelle, pour lesquels il réalise des missions d'expertise auprès des gouvernements. J.A. Allan s'est interrogé sur les raisons de l'absence de véritables *guerres de l'eau* au Moyen Orient et sur les politiques d'autosuffisance alimentaire affichées par les pays de ces régions. L'autosuffisance alimentaire suppose qu'un pays ait entre autres les ressources en eau suffisantes pour répondre à ses besoins en eau nationaux domestiques, industriels, environnementaux et agricoles.

Dans ces régions, de fortes pressions anthropiques sur les ressources ont conduit à des efforts considérables pour augmenter les capacités de mobilisation de celles-ci. Les tensions auxquelles les pays de cette région font face ont pu être endiguées en grande partie grâce à leurs relations avec le reste du monde, permettant un accès indirect, flexible et relativement peu coûteux, à la disponibilité globale en eau via le commerce international de produits agricoles. Ainsi, il ne s'agit plus, pour ces pays, d'atteindre ou de conserver une autosuffisance alimentaire, mais plutôt d'assurer leur *sécurité alimentaire*.

Selon la FAO, la sécurité alimentaire est obtenue lorsque tous les membres d'une société disposent, de façon constante, des conditions physiques et économiques permettant d'avoir accès à une nourriture suffisante, saine et nutritive correspondant à leurs besoins et à leurs préférences alimentaires et leur permettant de mener une vie active et saine. Le concept de sécurité alimentaire diffère donc de celui d'autosuffisance alimentaire, car il ne pose pas de contrainte sur la localisation de la production agricole ou alors seulement indirectement si elle affecte les conditions d'accès à l'offre. Il se focalise en effet sur les conditions permettant de sécuriser la disponibilité en quantité et en qualité, la stabilité pour tous et tout le temps, l'accès physique, économique et social, les conditions hygiéniques et sanitaires de l'offre.

## ***Bibliographie : L'EAU VIRTUELLE***

Pour matérialiser ces phénomènes, J.A. Allan a eu recours dès 1993 à la métaphore de l'eau virtuelle (Allan, 1993). Avant cette date, le terme employé était « eau incorporée » (*embedded water*) mais, qui n'avait pas véritablement mobilisé l'attention de la « communauté internationale de l'eau ».

Ainsi, à travers les échanges de biens agricoles ont lieu, virtuellement, des transferts d'eau des pays exportateurs vers les pays importateurs, puisque la production des produits échangés a nécessité dans le pays exportateur, la consommation d'une certaine quantité d'eau.

Suite au développement du concept dans un espace géographique limité, l'eau virtuelle a suscité l'intérêt de centres internationaux comme l'IHE de Delft (Institut de l'ingénierie hydraulique), l'IWMI (Institut international pour la gestion de l'eau) et d'organismes internationaux comme la FAO et le Conseil mondial de l'eau. Des efforts de recherche importants ont été consentis pour comptabiliser l'eau virtuelle et ses flux dans le monde. Ces travaux se sont non seulement attachés à quantifier ces transferts d'eau « silencieux », mais aussi à en évaluer les impacts sur la gestion des ressources en eau locales et globales.

### **2. L'eau virtuelle : définitions**

Dans le cadre de ces travaux, plusieurs définitions et modes de comptabilisation de l'eau virtuelle ont été proposés. Ils traduisent des visions distinctes du concept et de ses implications et ils ont des dimensions prescriptives d'ordre différent.

Une des premières définitions correspond à la quantité d'eau consommée au cours de sa production. C'est elle qui est encore largement majoritaire. L'eau virtuelle peut alors permettre de calculer l'utilisation réelle des eaux d'un pays ou son « empreinte sur l'eau ». L'empreinte sur l'eau est égale au total de la consommation domestique du pays, complété par ses importations d'eau virtuelle et diminuée de ses exportations d'eau virtuelle. Elle peut constituer un indicateur de la demande qu'un pays exerce sur les ressources en eau de la planète.

**Tableau 5** : Empreinte en eau de quelques pays

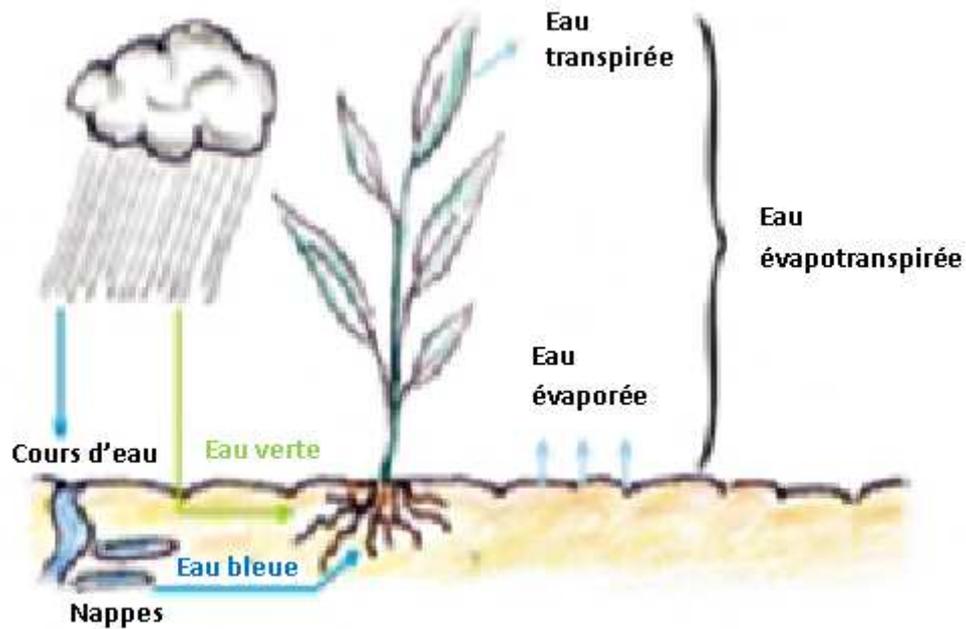
<b>Pays</b>	<b>En m<sup>3</sup> par personne par année</b>
États-Unis	2 483
Canada	2 049
France	1 875
Russie	1 858
Brésil	1 381
<i>Moyenne mondiale</i>	<i>1 243</i>
Inde	980
Haïti	848
Chine	702

Source : Chapagain et Hoekstra, 2004

Dans le cas des produits agricoles, l'eau virtuelle est l'eau évapotranspirée par les cultures. On peut alors distinguer deux composantes de l'eau virtuelle : l'eau provenant des précipitations et présente naturellement dans le sol, appelée « eau verte », et l'eau d'irrigation ou « eau bleue ».

La part relative de l'une et de l'autre dans la consommation globale d'eau par les cultures peut varier considérablement. La mobilisation de l'eau bleue et de l'eau verte ne demande pas les mêmes conditions, ni les mêmes moyens et n'a pas nécessairement les mêmes impacts sur le milieu.

La disponibilité de l'eau verte dépend de conditions climatiques, elle peut aussi être conditionnée par l'aménagement du territoire et l'occupation du sol à l'échelle du bassin versant considéré. L'eau bleue disponible dépend aussi de la pluviométrie mais pas aussi directement, en particulier parce qu'elle inclut l'eau souterraine dont les sources d'alimentation. La mobilisation et la gestion de l'eau bleue dans l'espace et dans le temps vise à s'affranchir de la pluviométrie et elle génère des coûts (financiers et économiques) plus élevés que l'eau verte.



**Figure 2** : Composantes de l'eau virtuelle : l'eau bleue et l'eau verte

A partir de cette définition, plusieurs types de questions méthodologiques se sont posés. Les premières sont relatives aux modalités d'estimation des quantités d'eau consommées en fonction de l'échelle d'étude et des données disponibles. Les secondes, certainement les plus cruciales renvoient à différentes visions associées au concept : réflexion stratégique sur la sécurité alimentaire, vision libérale cherchant à optimiser l'utilisation de ressources finies, vision environnementale en termes de relâchement des pressions sur des ressources, etc.

Daniel Renault a proposé différentes méthodes envisageables pour le calcul de l'eau virtuelle contenue dans les produits agricoles, en insistant sur le fait que sa valeur dépend des conditions spatio-temporelles particulières (Renault, 2003).

On peut considérer que l'eau virtuelle contenue dans un produit est celle qui a été réellement consommée sur le lieu de production : c'est la sphère de la production. Elle peut permettre d'étudier par exemple les impacts des échanges d'eau virtuelle sur les ressources des pays exportateurs de produits agricoles.

## *Bibliographie : L'EAU VIRTUELLE*

Si l'on s'intéresse plutôt à la sphère de la consommation et aux conséquences des flux d'eau virtuelle sur les ressources et la sécurité alimentaire dans les pays importateurs, il est plus pertinent d'assimiler l'eau virtuelle à l'eau qui serait nécessaire pour produire un bien dans le pays importateur.

La valeur accordée à l'eau virtuelle dépend aussi de la façon dont les flux sont liés à la gestion et à la répartition des ressources en eau des pays importateurs. La question est de savoir dans quelle mesure le relâchement de la pression des ressources dans les pays importateurs est associé à des re-répartitions de l'eau vers d'autres usages plus valorisants ou vers la fourniture de services environnementaux. Il s'agit donc de considérer les gains des transferts d'eau virtuelle induits par les échanges agricoles à la lumière des alternatives existantes à ces transferts. La question des gains réels permis par les transferts d'eau virtuelle demande de distinguer l'eau bleue de l'eau verte, car leurs potentialités de re-répartition vers d'autres usages, productifs ou non, diffèrent.

Dans le cas de produits importés par un pays qui ne pourrait pas raisonnablement, ou tout au moins à court et moyen terme, produire lui-même pour des raisons climatiques par exemple (cas du café en Algérie), on peut décider de considérer des productions alternatives qui fourniraient l'équivalent nutritionnel du produit importé (en calories, protéines, lipides). Ce principe d'équivalence nutritionnelle a aussi été utilisé pour calculer le contenu en eau virtuelle de produits tels que le poisson, afin de quantifier l'effet du régime alimentaire sur l'empreinte sur l'eau.

Enfin, le concept d'eau virtuelle renvoie à celui de la productivité hydrique, qui peut selon que l'on se place dans une perspective d'analyse économique, agronomique, nutritionnelle prendre des unités différentes :  $m^3/kg$  produit,  $m^3/\$$  généré,  $m^3/K$  calories et qui renvoie à des objectifs différents qui ne sont pas toujours compatibles.

Il apparaît donc que l'eau virtuelle est un concept « souple », et le choix d'une méthode de calcul de sa valeur dépend avant tout de l'échelle d'étude choisie, de la vision stratégique adoptée, et des phénomènes que l'on veut mettre en exergue.

### **3. Intérêts et limites du concept d'eau virtuelle**

L'intérêt porté au concept d'eau virtuelle a permis d'ouvrir le débat sur les interactions entre commerce agricole international, gestion des ressources en eau (au niveau local et global) et sécurité alimentaire.

La vision libérale de ce concept met en avant les gains potentiels des transferts d'eau virtuelle en termes d'efficience de la mobilisation, de la répartition et de l'utilisation des ressources en eau. On peut en effet se demander si la valeur de l'eau utilisée pour produire certaines denrées alimentaires de première nécessité (tels que le blé ou le riz), dans des pays affectés par des pénuries d'eau, ne finit pas par être supérieure à la valeur des produits. En important ces biens, dont les prix sur les marchés mondiaux sont bas, les pays affectés par des pénuries d'eau peuvent réduire les tensions exercées sur leurs propres ressources en eau et/ou permettre de les mobiliser pour des usages qui la valorisent mieux. La théorie sous-jacente est celle des avantages comparatifs. Les économies d'eau qui peuvent résulter des échanges d'eau virtuelle se font non seulement au sein des pays importateurs, mais aussi au niveau mondial, étant données les différences de productivité entre pays exportateurs et pays importateurs. Oki (2004) estime ainsi les économies d'eau résultant des échanges d'eau virtuelle au niveau global à environ 400 km<sup>3</sup> d'eau en 2000, dont 180 km<sup>3</sup> d'eau « bleue », ce qui représente respectivement environ 3,9% et 1,7% des ressources mondiales d'eau aisément accessibles estimées à 10 300 km<sup>3</sup> (Fernandez, 2007).

Quelle valeur prescriptive à cette vision ? Elle se base sur une photographie de la nature des échanges d'eau virtuelle observés aujourd'hui dont les causes ne sont pas, dans bien des cas, liées à des problèmes de pénurie physique d'eau (*capital naturel*) mais plutôt à des *capitaux* d'ordre économique, institutionnel et social, qui évoluent et ne sont pas figés dans le temps.

L'application de la notion d'avantage comparatif est limitée par l'hypothèse d'immobilité des facteurs de production. La nature des échanges pourrait être davantage perçue comme un symptôme de problèmes non-directement lié à l'eau, qui influent sur l'utilisation de cette ressource. La promotion de cette vision peut présenter des effets pervers car un taux d'importations élevé conduit à des situations de forte dépendance à l'égard des termes économiques et politiques des échanges mondiaux et peut avoir des impacts négatifs sur l'économie du secteur agricole (Merret, 2003).

### ***Bibliographie : L'EAU VIRTUELLE***

Elle est actuellement rejetée par certains pays qui voient en sa promotion un outil de domination économique de la part de pays aujourd'hui grands exportateurs de céréales, qui iront à l'encontre de leurs objectifs en matière de politique agricole. C'est ce qui rend actuellement la mobilisation du concept sensible et difficile dans certaines arènes politiques. D'autre part, cette vision, appliquée à une compréhension de la situation actuelle et observée, n'est valide que si elle est le fruit de choix conscients (Conseil mondial de l'eau, 2004) et si l'eau est un facteur explicatif pertinent des échanges de produits agricoles à l'échelle mondiale. Il s'agit aussi de savoir dans quelle mesure il est possible d'isoler la contribution d'un facteur au résultat de l'activité de production et des échanges commerciaux. Des études ont été menées pour analyser le rôle de différents facteurs (terre, eau, travail,...) dans l'explication des échanges. Les résultats obtenus pour l'eau ont été assez mitigés, en fonction de la région étudiée (Earle, 2001) pour l'Afrique du Sud, (Hakimian, 2003) pour l'Afrique du Nord et le Moyen-Orient. Cependant, il est à noter que des analyses portant sur les ressources en eau renouvelables des pays, leurs importations alimentaires et la sécurité alimentaire ont montré qu'il existe un seuil de 1500 m<sup>3</sup>/habitant/an (indice de Falkenmark) en dessous duquel les importations d'un pays sont fortement corrélées négativement à ses ressources en eau disponibles (Yang *et al.*, 2003).

La vision environnementale associée à la notion d'empreinte sur l'eau d'un pays, d'un individu met en lumière l'impact sur les ressources en eau de certaines logiques productives et certains modes de consommation, qui s'exerce à l'échelle mondiale, via les échanges de produits agricoles. Les importations permettent de relâcher les pressions sur les ressources des pays, mais les transferts d'eau virtuelle ont aussi des impacts importants sur les ressources des pays exportateurs. Même lorsque ces pays disposent de ressources globalement abondantes, ces transferts se traduisent par des tensions entre usagers ou des dégradations environnementales.

Enfin la vision stratégique pour la sécurité alimentaire s'applique particulièrement au contexte méditerranéen, pour les pays dont les ressources en eau sont limitantes. Comment les quantités d'eau disponibles interagissent avec les politiques agricoles et les objectifs relatifs à la balance commerciale et à la sécurité alimentaire ? Par exemple, la Tunisie, en exportant de l'huile d'olive, génère des devises qui facilitent les importations de céréales, dont la valeur ajoutée ramenée au mètre cube consommé est plus faible. Les transferts d'eau virtuelle

peuvent alors être en quelque sorte considérés comme des externalités positives du commerce agricole (De Fraiture et al, 2004).

Le concept d'eau virtuelle met en lumière certains des impacts des politiques agricoles sur les ressources en eau. Dans quelle mesure la valorisation économique de l'eau intervient-elle pour re-répartir l'eau entre les productions agricoles, mais aussi entre les différents usages de l'eau ? Cela dépend en particulier du type d'accords commerciaux établis entre les pays qui permettent d'assurer un approvisionnement sécurisé en particulier pour un certain nombre de produits à la base de l'alimentation comme les céréales. Cela dépend aussi largement de la capacité des pays à ré-orienter leurs activités productives. Enfin, on peut se demander si la possibilité d'accéder aux ressources en eau mondiales via le commerce des produits agricoles pour les pays en situation de pénurie contribue à repenser les politiques de développement hydro agricole ou, au contraire, ralentit un certain nombre de transitions, en permettant à l'eau virtuelle de circuler, au-delà des débats politiques (Allan, 2001).

Le concept d'eau virtuelle met en évidence l'existence de liens entre les besoins et les préférences alimentaires au sein d'un bassin versant d'une part, les politiques agricoles dans les régions produisant des surplus d'autre part, sur l'utilisation de l'eau dans le bassin versant considéré et dans d'autres bassins versants (Renault, 2002).

Les problèmes de gestion et de répartition des ressources en eau se posent donc à l'échelle du bassin versant mais pas seulement. Un certain nombre de déterminants de l'utilisation de l'eau au sein d'un bassin versant sont extérieurs à ce bassin et sont de nature « hydro-économique » (Allan, 2003).

Cependant, comme on l'a vu, la mobilisation du concept d'eau virtuelle se heurte à des limites multiples, liées au contexte dans lequel il intervient et à sa vocation analytique ou prescriptive. Il est particulièrement important de souligner que les échanges d'eau virtuelle constatés ne sont pas, dans la grande majorité des cas, le résultat de choix conscients dans une optique d'optimisation de l'utilisation des ressources en eau. Ils sont plutôt le résultat d'échanges commerciaux influencés par des politiques définies à partir de multiples considérations.

### ***Bibliographie : L'EAU VIRTUELLE***

Le concept d'eau virtuelle et ses apports sont par conséquent à envisager principalement de façon analytique, à la lumière de situations particulières (environnementales, économiques, sociales, politiques, culturelles).

## **Deuxième partie**

### **MATERIEL ET METHODES**

## **Chapitre 1 : Présentation de la wilaya**

### **1. Relief**

La wilaya de M'Sila, dans ses limites actuelles, occupe une position privilégiée dans la partie centrale de l'Algérie du nord. Elle fait partie de la région des hauts plateaux du centre et s'étend sur une superficie de 1 817 500 ha.

Créée à l'issue de découpage administratif en 1974, la wilaya de M'Sila, compte actuellement 47 communes et 15 daïras.

Limites administratives :

- Au Nord par les wilayas de Sétif, Bordj Bou-Argeridj et Bouira ;
- A l'Est par la wilaya de Batna ;
- Au Sud-est par la wilaya de Biskra ;
- A l'Ouest par la wilaya de Médéa ;
- Au Sud par la wilaya de Djelfa

Le territoire de la wilaya se caractérise par trois zones naturelles :

- **Zone de steppe** : qui couvre la plus grande partie du territoire soit 60%
- **Zone de montagne** : représente 7% réservée à l'agriculture de montagne et quelques massifs forestiers
- **Zone de plaine du Hodna** : représente 33% où se concentre toute l'activité agricole de la wilaya.

Son climat est du type continental à tendance aride contrasté avec une saison sèche et chaude alternant avec une saison hivernale plus ou moins pluvieuse.

Signalons encore que le régime pluviométrique est irrégulier et que les mois les plus arrosés sont novembre, décembre et janvier.

Ses conditions particulières et sa position géographique classent la wilaya dans la zone semi aride.

La pluviométrie moyenne annuelle est comprise entre 200 et 250 mm.

*Matériel et méthodes : PRESENTATION DE LA WILAYA*



**Figure 3 :** Carte de la wilaya de M'Sila (Conservation des forêts 1993)



**Figure 4:** Réseau hydrographique de M'Sila (LADGHEM, 2009).

**2. Sols**

**2.1. Répartition des terres**

Selon la DSA de M'Sila 2010, la répartition des terres au niveau de la wilaya de M'Sila est représentée comme suit :

Superficie de la wilaya	1 817 500 ha
Superficie agricole totale	1 307 156 ha
Superficie agricole utilisée	277 211 ha
<i>Dont irriguée</i>	36 300 ha
Superficie des parcours	1 029 945 ha

**2.2. Répartition de la SAU**

Selon la même source, les cultures au niveau de la wilaya de M'Sila se répartissent comme suit :

**Tableau 6 : Répartition de la SAU dans la wilaya de M'Sila**

<i>Superficies des cultures herbacées</i>	
<b><i>Céréales</i></b>	
Emblavé	90 000 ha
Moissonné	70 000 ha dont :
Blé dur	17 000 ha
Blé tendre	3 000 ha
Orge	50 000 ha
<b><i>Fourrages</i></b>	23 000 ha
<b><i>2.2. Superficies de l'Arboriculture fruitière</i></b>	
Figuier	500 ha
Abricotiers	8 000 ha
Grenadiers	820 ha
Pêchers	600 ha
Poiriers	1 060 ha
Pommier	1 070 ha
Prunier	700 ha
Olivier	4 500 ha
<b><i>2.3. Superficies du Maraichage</i></b>	
Pomme de terre	800 ha
Carotte	3 400 ha

**Matériel et méthodes : PRESENTATION DE LA WILAYA**

Tomate	500 ha
Oignon	1 400 ha
Haricot vert	100 ha
Melon / Pastèque	300 ha
Piment	900 ha
Poivron	100 ha
Concombre	100 ha
Courgette	600 ha
Aubergine	100 ha
Choux vert	100 ha
Choux fleur	200 ha
Navet	500 ha
Ail	500 ha
Fève verte	500 ha
Autres légumes (salade)	900 ha

**Source :** DSA de M'Sila (2010).

### 3. Ressources hydriques

Le territoire de la wilaya de M'Sila est un immense bassin versant qui reçoit le flux pluvial grâce aux différents oueds qui sont alimentés à partir des bassins versants de la wilaya et ceux des wilayas limitrophes particulièrement du nord (Bouira et B.B.A). Ces oueds se jettent principalement au chott El Hodna.

**Tableau 7 :** Ressources en eau de la wilaya de M'Sila

<b>Ressources hydriques</b>	<b>Potentiel en eau (Hm<sup>3</sup>/an)</b>	<b>Observation</b>
Eaux de surfaces	320	Plus de 80% de ce volume est estimé dans le nord de la wilaya
Eaux souterraines		
Nappe Hodna	133	Nappes captive de bonne qualité
Nappe Ain Rich	08	
Total wilaya	461	

Source : DSA de M'Sila (2005)

## *Matériel et méthodes : PRESENTATION DE LA WILAYA*

Le tableau 7 montre que les ressources en eaux superficielles sont plus importantes que les eaux souterraines, elles servent, évidemment, à alimenter ces dernières et aussi les retenues d'eaux de tout genre qui font défaut au niveau de la wilaya, puisque on arrive à mobiliser environ 24 Hm<sup>3</sup> selon les services de l'hydraulique (2005). Le reste s'évapore au niveau du chott ou sert à irriguer les céréales à l'aide des digues de dérivation, qui entrent dans la nouvelle politique des services agricoles de la wilaya.

Selon Rezzag (2002) l'affectation des 149 Hm<sup>3</sup> d'eaux mobilisées est faite comme suit :

- Alimentation en eau potable : 68 Hm<sup>3</sup> soit 45,6% des ressources mobilisées
- Alimentation en eau industrielle : 1 Hm<sup>3</sup> soit 0,6% des ressources mobilisées
- Alimentation en eau d'irrigation : 80 Hm<sup>3</sup> soit 53,7% des ressources mobilisées dont 56 Hm<sup>3</sup> des eaux souterraines.

### *Origine de l'eau d'irrigation*

Forages	28 000 ha
Puits	2 600 ha
Barrages	4 800 ha
Autres	900 ha

\*réseaux d'irrigation : Goutte à goutte 7 380 ha soit 20%

Aspersion 1 230 ha soit 3,4%

Gravitaire 27 720 ha soit 76%

## **Chapitre 2 : Logiciel Utilisé**

### **1. Logiciel Cropwat**

CROPWAT est un outil pratique conçu pour aider les agro-météorologues, les agronomes et les ingénieurs en irrigation à effectuer des calculs types pour les études concernant l'évapotranspiration et les besoins en eau des cultures, et plus particulièrement la conception et la gestion des dispositifs d'irrigation. CROPWAT permet également de formuler des recommandations pour améliorer les méthodes d'irrigation, d'établir des calendriers pour l'irrigation en fonction de diverses conditions d'approvisionnement en eau et d'évaluer la production vivrière dans le cadre de l'agriculture pluviale ou d'un déficit d'irrigation.

CROPWAT 8.0 pour Windows est un programme informatique qui permet de calculer les besoins en eau des cultures et les besoins en irrigation à partir de données climatiques et culturales, nouvelles ou déjà existantes. De plus, le programme permet l'établissement de calendriers d'irrigation pour différentes conditions de gestion et le calcul de l'approvisionnement en eau de périmètres pour divers assolements.

### **2. Evaluation des besoins en eau des plantes cultivées**

Dans un premier temps, la détermination des besoins en eau d'une culture nécessite la connaissance de divers paramètres concernant aussi bien la plante elle-même que les données climatiques ou pédologiques de la région.

- les données climatiques donneront les indications nécessaires concernant les besoins en eau de la culture ;
- les paramètres pédologiques permettront d'estimer la réserve en eau utile du sol ;
- les données culturales préciseront la réserve en eau facilement utilisable par la plante.

A l'aide des différents résultats obtenus, il sera relativement aisé de déterminer par la suite les quantités d'eau d'irrigation nécessaires au bon développement de la plante. Celles-ci seront calculées au moyen du logiciel Cropwat.

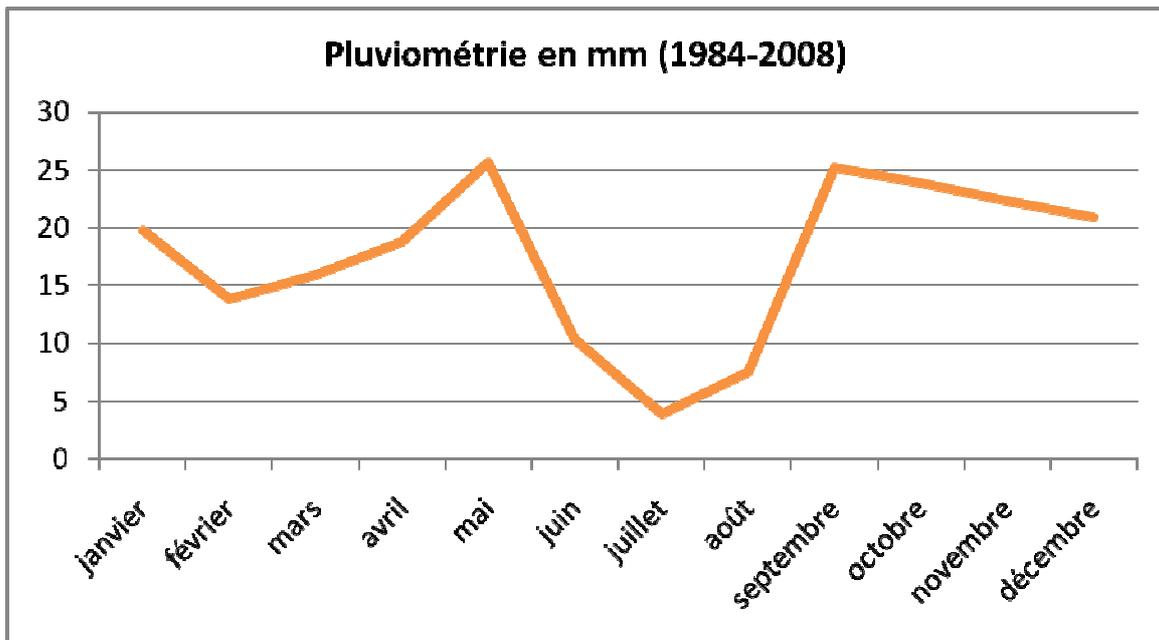
#### **2.1. Données climatiques**

Le logiciel Cropwat exige cinq données climatiques d'une station météorologique normalisée, pour que cette dernière soit représentative elle doit être la plus proche de la zone

agricole, les stations comme celle des aéroports ou dans les zones urbaines sont à éliminer (Doorenbos et Kassam, 1987). En cas où la station la plus représentative ne donne pas les 5 données climatiques il est conseillé de les estimer, la FAO propose les méthodes d'estimation de l'humidité relative, rayonnement, et la vitesse de vent dans son Bulletin-56 (1998).

### **2.1.1. Choix de la station météorologique**

La wilaya de M'Sila est dotée de deux stations météorologiques, la première à Bou Saada et la deuxième à M'Sila, notre choix s'est orienté vers la station agro météorologique de M'Sila qui est la plus proche du chef lieu de la wilaya et couvre la totalité de la zone agricole. C'est une station normalisée qui donne les 5 données (précipitation, température, humidité relative, vitesse du vent et durée d'insolation). Les relevés sont récents et s'étalent sur une période d'observation acceptable (série de plus de 25 ans).



**Figure 5 :** Variabilité temporelle des pluies dans la wilaya de M'Sila  
(ONM de M'Sila, 2009)

### **2.1.2. Données climatiques entrées dans le Cropwat**

Les coordonnées géographiques de la station de M'Sila sont :

- latitude : 35° N,
- longitude : 4° E,
- altitude : 441 m.

## Matériels et méthodes : LOGICIEL UTILISE

L'ensemble de données climatiques entrées dans le logiciel Cropwat sont synthétisés dans le tableau 8.

**Tableau 8 : Données climatiques entrées dans le Cropwat**

Mois		Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
T. Min	°C	-2.2	-1.4	0.7	3.0	8.3	14.2	19.5	19.4	12.1	7.7	1.0	-1.5
T. Max	°C	18.9	21.7	26.9	30.5	36.6	41.7	43.7	42.6	38.5	32.0	25.4	19.7
Humidité	%	76	66	60	57	52	43	39	42	55	60	70	75
Vent	km/jour	330	346	386	459	412	400	389	355	321	317	333	344
Insolation	Heures	6.1	8.0	8.3	8.9	10.0	10.6	11.1	10.0	8.8	8.0	6.5	5.6

### 2.2. Données liées au sol

#### 2.2.1. Facteurs de pilotage des irrigations

Les données de sol sont nécessaires dans le pilotage des irrigations pour la détermination de la réserve utile (RU) qui est liée à deux facteurs :

a) la texture

Les valeurs de RU selon les différentes textures de sol considérées généralement sont d'après la FAO (1987) :

- sol grossier : 60 mm/m,
- sol sableux : 100 mm/m,
- sol limoneux : 140 mm/m,
- sol argileux : 180 mm/m.

b) les profondeurs d'enracinement à prendre en compte pour les calculs d'irrigation sont données dans le tableau 9.

Pour le cas de la wilaya de M'Sila et à cause de la grande hétérogénéité des sols, on a opté pour un sol moyen qui a comme caractéristique les valeurs présentées dans le tableau 10.

**Tableau 9 : Profondeurs d'enracinement des principales cultures**

Cultures	Profondeur d'enracinement en m
Cultures maraîchères	0,3 à 0,6
Céréales	0,3 à 1,4
Arbre fruitier	2

Source : Ollier et Poirée, 1983

**Tableau 10** : Données liées au sol proposées dans le Cropwat

<b>Texture</b>	<b>Moyenne</b>
Eau utilisable	140 mm/m
Taux maximum d'infiltration de pluie	40 mm/jour
Profondeur racinaire max d'enracinement	0,6 ou 1,2 m
Tarissement initial de l'humidité de sol (% de d'eau utilisable)	0%
Humidité de sol initial disponible	140 mm/m

### **2.2.2. Pilotage des irrigations**

#### **a) Critères de pilotage des irrigations**

Irriguer lorsque 100% de la RFU est épuisée,

Remettre la RFU à 100% après chaque irrigation,

Commencer l'irrigation le jour même de la mise en place de la culture en cas de besoin.

#### **b) Efficience du réseau**

L'efficience du réseau est fixée par défaut à 70% ce qui semble être convenable et ce pour un pays comme l'Algérie, où le système gravitaire dans la wilaya de M'Sila reste la technique la plus utilisée pour l'irrigation avec 76% et le goutte à goutte avec 20% réservé essentiellement pour les arbres fruitiers.

## **2.3. Données liées à la culture**

### **2.3.1. Type de culture**

Pour recenser les cultures pratiquées généralement dans la wilaya de M'Sila, nous avons eu recours aux rapports de la DSA de M'Sila (2010).

### **2.3.2. Date de semis ou de plantation**

Nous avons adopté les dates de semis (plantation) figurants dans le tableau 12.

#### *· Date de reverdissement*

Concernant les arbres fruitiers (cultures pérennes), selon Tuzet et Perrier (1998) in Traité d'irrigation (2007) leurs dates de plantation doivent être remplacées par la date du «reverdissement», c'est-à-dire la date d'apparition de nouvelles feuilles. (Voire tableau 12)

### **2.3.3. Phases de développement**

Les quatre phases de développement considérées sont :

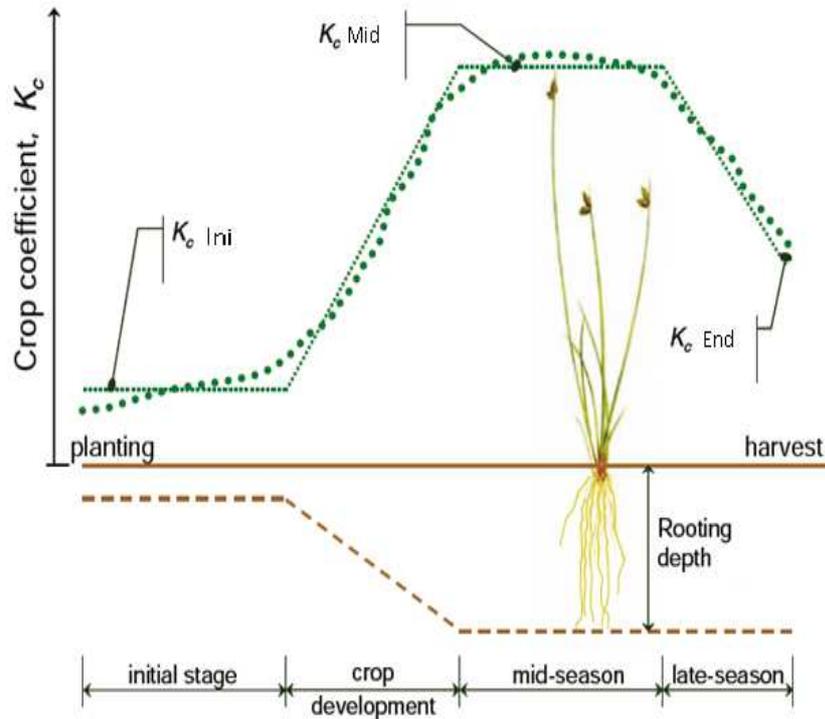
- la phase initiale,
- la phase de développement,
- la phase de mi-saison,
- la phase d'arrière saison.

Il est difficile de déterminer avec précision la durée de chaque phase. Le seul moyen d'avoir les informations locales est le contact direct avec les agriculteurs et les agents de vulgarisation.

Par manque de données sur les arbres fruitiers, la durée de chaque phase a été estimée en se basant sur un cycle général de 220 jours pour les arbres à pépin et 190 pour les arbres à noyau proposé par le Bulletin FAO-56 dont les durées des phases sont : 30/50/110/30 jour et 30/40/80/40 jour respectivement. En considérant les dates de reverdissement régionales nous avons pu caler la durée des phases de chaque culture.

### **2.3.4. Coefficient Cultural (kc)**

La courbe de kc sur l'ensemble de la période de croissance a été présentée initialement par Doorenbos et Pruitt (1975). Elle permet de distinguer les 3 valeurs de kc (initial, mi-saison, et d'arrière saison). Les valeurs les plus élevées du kc sont observées au printemps et en automne, lorsque le sol est encore humide. Les valeurs les plus basses sont notées en été (Allen et al, 1998 in traité d'irrigation, 2007).



**Figure 6 :** Courbe de coefficients culturaux et les phases de développements  
(Marinus, 2009)

Selon Tuzet et Perrier (1998) in traité d'irrigation, le  $k_c$  varie essentiellement avec les caractéristiques propres de la culture et seulement un peu avec le climat. Cela permet le transfert des valeurs standard de  $k_c$  (comme celles proposées dans les Bulletins FAO-24 et 56) d'un endroit à l'autre entre les zones climatiques. Mais pour avoir plus de précision dans la détermination de l'ETc, il est toujours préférable d'utiliser les valeurs de  $k_c$  déterminés expérimentalement dans la région elle-même, lorsqu'elles existent.

Les valeurs de  $k_c$  du Bulletin FAO-56 (1998) ont été actualisées par Allen et al sur la base des  $k_c$  proposés par Doorenbos et Pruitt dans le Bulletin FAO-24 (1975).

Cropwat exige l'entrée de trois valeurs de  $k_c$  (initiale, mi-saison, récolte), nous avons utilisé les  $k_c$  des Bulletins de FAO-56, qui sont des  $k_c$  standards et valides pour l'utilisation de la formule de Penman - Monteith.

Le choix du  $k_c$  a été fait en considérant que le climat est méditerranéen, et que le sol est non couvert.

### 2.3.5. Groupement des cultures

La disponibilité limitée des données d'entrée des cultures qui ne figure pas dans les documents et pour plus de maniabilité, fait qu'il est nécessaire de mettre les cultures similaires en groupes de cultures ayant des valeurs semblables pour la plupart des paramètres cultureaux (tableau 11). Relevons par exemple quelques imperfections sur les dates de semis de la luzerne et du trèfle qui ne correspondent pas aux pratiques agricoles mais dont la prise en compte dans les calculs permet une meilleure évaluation des besoins.

**Tableau 11 : Groupes des cultures similaires**

<b>Systèmes de cultures</b>	<b>Cultures</b>	<b>Groupes de cultures</b>
Cultures fourragères	Divers	Céréales fourragères
	Orge, avoine et seigle en vert	
	Trèfle et luzerne	Trèfle et luzerne
Céréales	Blé dur	Blé
	Blé tendre	
	Orge	Orge
Arbres fruitiers	Abricotiers	Arbres fruitier à noyaux
	Pêchers	
	Pruniers	
	Poiriers	Arbres fruitier à pépins
	Pommiers	
	Grenadiers	Autres arbres
	Figuier	
	Olivier	
Cultures maraîchères	Tomates	Tomates
	Piments	Piment poivron
	Poivrons	
	Pomme de terre	Pomme de terre
	Carottes	Carottes
	Oignons	Ail et oignon
	Ails	
	Melons pastèques	Melons pastèques
	Concombre	Concombre et Courgette
	Courgette	
	Aubergines	Aubergines
	Choux vert	Choux
	Choux fleurs	
	Navets	Navets
	Haricot vert	Fève et haricot
	Fèves vertes	
	Laitue	Laitue

**Matériels et méthodes : LOGICIEL UTILISE**

L'ensemble des données liées aux cultures entrées dans le logiciel Cropwat est résumé dans le tableau 12.

**Tableau 12 : Synthèses des données liées aux cultures**

Cultures	Durée de phases de développement (jour)					Coefficient Cultural Kc			Date de semis ou plantation
	ini.	dev.	mi-sai	arri-sai	durée du cycle	Kc ini	Kc mid	Kc end	
Céréales fourragères	40	60	60	40	200	0.3	1.15	0.25	01-nov
Trèfle et luzerne	150	30	150	35	365	0.4	0.95	0.90	01-mars
Blé	30	140	40	30	240	0.3	1.15	0.25	01-nov
Orge	40	60	60	40	200	0.3	1.15	0.25	01-nov
Arbres fruitiers à noyaux	30	40	80	40	190	0.50	0.80	0.60	01-mars
Arbres fruitiers à pépins	30	50	110	30	220	0.50	0.80	0.60	01-avr
Autres arbres	30	40	80	40	190	0.55	0.80	0.60	01-mars
Olivier	10	20	150	90	270	0.60	0.60	0.55	23-févr
Pomme de terre	25	30	45	30	130	0.5	1.15	0.75	01-mars
Carotte	20	30	30	20	100	0.7	1.05	0.95	01-mars
Tomate	30	40	45	30	145	0.6	1.15	0.80	01-janv
Ail et oignon	15	25	70	40	150	0.7	1.05	0.85	01-févr
Piment poivron	30	40	40	20	130	0.6	1.05	0.90	01-mars
Melon pastèque	25	35	40	30	130	0.4	1.05	0.75	01-avr
Concombre et courgette	25	35	25	15	100	0.6	0.90	0.70	01-mai
Aubergine	30	45	40	25	140	0.4	1.15	0.8	01-mai
Choux	40	60	50	15	165	0.7	1.05	0.95	01-sept
Navet	25	35	50	50	160	0.5	1.05	0.95	01-févr
Fève et haricot	20	30	30	10	90	0.4	1.05	0.90	20-déc
Laitue	20	30	15	10	75	0.7	1.05	0.95	01-avr

*Sources : FAO-56; Allen et al. (1998); Kadiri (2006); Marinus, (2009).*

En plus de ces données, les valeurs du tarissement admissible du sol (P) et le coefficient de réponse du rendement (kY) de chaque culture sont considérés dans le Cropwat pour distinguer la tolérance des cultures au manque d'eau et indiquer les chutes du rendement probables.

### **2.3.6. Tarissement admissible du sol (P)**

Doorenbos et Kassam (1987) définirent le (P) comme étant le niveau critique de l'humidité du sol à partir duquel le stress dû au manque d'eau se fait sentir, affectant l'évapotranspiration et la production de la plante. Les valeurs sont exprimées en fraction de l'humidité totale disponible du sol ;

### **2.3.7. Coefficient de réponse du rendement à l'eau (kY)**

Le coefficient de réponse du rendement à l'eau met en rapport la baisse du rendement relatif  $(1 - Y_a/Y_m)$  et le déficit de l'évapotranspiration relative  $(1 - ET_a/ET_m)$ .

## **3. Calcul de l'évapotranspiration**

Le déficit hydrique, qui peut également s'exprimer sous le terme de besoins en eau d'irrigation, se définit comme la différence entre l'évapotranspiration maximale (ETM) de la culture considérée et les précipitations efficaces (P eff.).

**L'évapotranspiration maximale** s'obtient en multipliant l'évapotranspiration de référence par le coefficient cultural.

$$ETM = Eto * Kc \quad (1)$$

*Eto* représente l'évapotranspiration de référence définie par Penman (1956) comme étant la quantité d'eau transpirée par unité de temps par une végétation courte et verdoyante, recouvrant complètement le sol, de hauteur uniforme et qui ne manque jamais d'eau. Elle se calcule à partir de la formule de Penman-Monteith et des données climatiques de la région.

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34u_2)} \quad (2)$$

où :

### *Matériels et méthodes : LOGICIEL UTILISE*

<b>Eto</b>	évapotranspiration de référence [mm jour <sup>-1</sup> ],
<b>Rn</b>	rayonnement net à la surface de la culture [MJ m <sup>-2</sup> jour <sup>-1</sup> ],
<b>G</b>	densité de flux de chaleur dans le sol [MJ m <sup>-2</sup> jour <sup>-1</sup> ],
<b>T</b>	température journalière moyenne de l'air à une hauteur de 2 m [°C]
<b>u2</b>	vitesse du vent à une hauteur de 2 m [m s <sup>-1</sup> ],
<b>es</b>	pression de vapeur saturante [kPa],
<b>ea</b>	pression de vapeur réelle [kPa],
<b>es-ea</b>	déficit de pression de vapeur saturante [kPa],
<b>Δ</b>	pente de la courbe de pression de vapeur saturante [kPa °C <sup>-1</sup> ],
<b>γ</b>	constante psychrométrique [kPa °C <sup>-1</sup> ].

**Kc** correspond au coefficient cultural, fonction du type de culture et de sa phase de développement

Les données climatiques (moyennes mensuelles) à fournir pour déterminer l'Evapotranspiration sont reprises ci-dessous :

- Tm : températures moyenne, exprimées en °C.
- HRm : humidité de l'air moyenne, exprimées en %.
- Vm : vitesse du vent moyenne, exprimées en m/s.
- Pa : pression de l'air, exprimée en kPa.
- P : précipitations exprimées en mm.
- N : nombre de jours de précipitation par mois
- Insol. : durée d'insolation, exprimée en heure.
- Eto : évapotranspiration de référence calculée par la méthode de Penmann-Montheih, exprimée en mm/jour.

La pluie efficace, Peff, représente la fraction des précipitations qui est effectivement utilisée par la culture après déduction des pertes par ruissellement de surface et par percolation profonde. Le choix de la méthode appropriée pour le calcul des précipitations efficaces demande une réflexion sérieuse. Différentes méthodes ont ainsi été développées, chacune prenant en compte le climat de la région où doivent s'effectuer les mesures. Le logiciel Cropwat en propose 4.

- La première formule propose un pourcentage fixe :

$$P_{eff} = A * P_{moy} \quad (3)$$

### *Matériels et méthodes : LOGICIEL UTILISE*

dans laquelle A est une fraction donnée par l'utilisateur. En général, A est compris entre 0.7 et 0.9.

- La deuxième formule a été développée à partir de données provenant de zones arides et semi-arides :

$$P_{eff} = 0.6 * P_{moy} - 10 \text{ pour } P_{moy} < 70 \text{ mm/mois} \quad (4)$$

$$P_{eff} = 0.8 * P_{moy} - 25 \text{ pour } P_{moy} > 70 \text{ mm/mois} \quad (5)$$

- La troisième est une formule empirique développée localement. Les coefficients utilisés sont déterminés à partir d'une analyse des données climatiques locales :

$$P_{eff} = A * P_{moy} + B \text{ pour } P_{moy} < x \text{ mm/mois} \quad (6)$$

$$P_{eff} = C * P_{moy} + D \text{ pour } P_{moy} > x \text{ mm/mois} \quad (7)$$

- La quatrième formule a été mise au point par le département américain de l'agriculture (USDA) :

$$P_{eff} = P_{moy} * (1 - 0.2 * P_{moy} / 125) \text{ pour } P_{moy} < 250 \text{ mm/mois} \quad (8)$$

$$P_{eff} = 125 + 0.1 * P_{moy} \text{ pour } P_{moy} > 250 \text{ mm/mois} \quad (9)$$

Les besoins en eau seront calculés pour chaque culture au moyen du logiciel Cropwat en y introduisant les paramètres climatiques et culturaux. Les besoins en eau s'expriment en m<sup>3</sup>/ha.

## **Troisième partie**

### **Résultats et discussions**

## 1. Analyse des données climatiques

### 1.1. Précipitations

Le choix a été porté sur une précipitation de vingt cinq ans de mesures (1984 – 2008) et les résultats sont représentés dans le tableau 13.

**Tableau 13** : Précipitations moyennes mensuelles en mm  
(Station météorologique de M’Sila)

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	TOTAL
<b>Moy.</b>	19,76	13,8	15,92	18,8	25,68	10,4	3,88	7,48	25,2	23,96	22,32	20,92	208,12

Source : ONM de M’Sila, 2009

### 1.2. Pluie efficace

Pour les productions agricoles, les précipitations efficaces se réfèrent à la fraction des précipitations qui peut être effectivement utilisée par les plantes. La totalité des précipitations n'est pas disponible pour les cultures puisqu'en effet une partie est perdue par ruissellement et/ou par percolation en profondeur.

Pour le calcul de la pluie efficace, nous avons adopté la formule développée par le département américain de l’agriculture (USDA) montrée ci dessous:

$$Pe = (125 - 0.2 P_{moy}) * (P_{moy}/125) \text{ pour } P_{moy} < 250 \text{ mm/mois} \quad (8)$$

Les résultats d’après le logiciel Cropwat sont indiqués dans le tableau 14

**Tableau 14** : Pluie efficace de la wilaya de M’Sila

	Jan.	Fév.	mars	avril	mai	juin	Juil.	août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Total
<b>Pluie</b>	19.8	13.8	15.9	18.8	25.7	10.4	3.9	7.5	25.2	24.0	22.3	20.9	<b>208.2</b>
<b>Pluie eff.</b>	19.2	13.5	15.5	18.2	24.6	10.2	3.9	7.4	24.2	23.1	21.5	20.2	<b>201.5</b>

### 1.3. Evapotranspiration de référence

L’application de la formule de Penman-Monteith à la région de M’Sila a permis d’obtenir les valeurs d’ET<sub>0</sub> suivantes :

## Résultats et discussions

**Tableau 15** : Evapotranspiration (mm/j) dans la wilaya de M'Sila

Pays	Algérie			Station	M'Sila		
Altitude	441 m.	Latitude	35° N		Longitude	4° E	
Mois	T. Min	T. Max	Humidité	Vent	Insolation	Ray.	ET <sub>0</sub>
	°C	°C	%	km/jour	heures	MJ/m <sup>2</sup> /jour	mm/jour
Janvier	-2.2	18.9	76	330	6.1	10.2	2.26
Février	-1.4	21.7	66	346	8.0	14.4	3.35
Mars	0.7	26.9	60	386	8.3	17.8	5.06
Avril	3.0	30.5	57	459	8.9	21.3	6.76
Mai	8.3	36.6	52	412	10.0	24.4	8.45
Juin	14.2	41.7	43	400	10.6	25.8	10.23
Juillet	19.5	43.7	39	389	11.1	26.2	10.89
Août	19.4	42.6	42	355	10.0	23.3	9.71
Septembre	12.1	38.5	55	321	8.8	19.3	7.27
Octobre	7.7	32.0	60	317	8.0	15.2	5.21
Novembre	1.0	25.4	70	333	6.5	11.0	3.46
Décembre	-1.5	19.7	75	344	5.6	9.1	2.37
<b>Moyenne</b>	<b>6.7</b>	<b>31.5</b>	<b>58</b>	<b>366</b>	<b>8.5</b>	<b>18.2</b>	<b>6.25</b>

L'étude de l'évolution de l'évapotranspiration de référence durant l'année, a montré que les valeurs de l'évapotranspiration de référence moyennes mensuelles obtenues sont très variables. Selon le tableau ; en effet, nous constatons une diminution de l'ET<sub>0</sub> liée à la saison automnale, et au début de la saison hivernale elle arrive à son minimum en janvier avec 2,26 mm/j, puis elle augmente avec la saison printanière pour atteindre le maximum en été au mois de juillet avec 10,89 mm/j (tableau 15).

Au mois de juin, juillet et août, on remarque que ET<sub>0</sub> dépasse ou avoisine les 10 mm/j. ce qui est considérablement supérieur à l'évapotranspiration de référence enregistré au niveau de la station de Dar El Bida à Alger qui est de 5,63 mm/j. au mois de juillet (Kadiri, 2006).

## *Résultats et discussions*

L'augmentation des valeurs de l' $ET_0$  qui atteint les 10 mm/j. en été pourrait s'expliquer par les valeurs relativement importantes de la température max et la vitesse du vent qui atteint respectivement les 43,7 °C et 400 Km/jour.

### **1.4. Détermination de l'année sèche, normale et humide**

La connaissance de la variabilité interannuelle des besoins en eau d'irrigation nécessite une étude fréquentielle des pluies, à partir des relevés pluviométriques réalisés sur un nombre d'années assez longues (au moins 20 ans). Cette analyse permettra de déterminer la hauteur de pluie dont on est sûr de dépasser avec une probabilité donnée. Pour les projets d'irrigation on adopte généralement les probabilités de dépassement de trois années sur 4 soit (75 %) ou 4 années sur 5 soit (80%).

Pour notre étude, nous avons utilisé les pluies moyennes annuelles pour estimer les hauteurs des pluies selon les probabilités de non-dépassement de 20%, 50%, 80% respectivement de l'année humide, normale et sèche.

D'après l'équation de la droite de régression on calcule les valeurs correspondantes aux probabilités 20%,50% et 80% qui sont :

$$F(20\%) = 346,0 \text{ mm,}$$

$$F(50\%) = 178,7 \text{ mm,}$$

$$F(80\%) = 55,9 \text{ mm.}$$

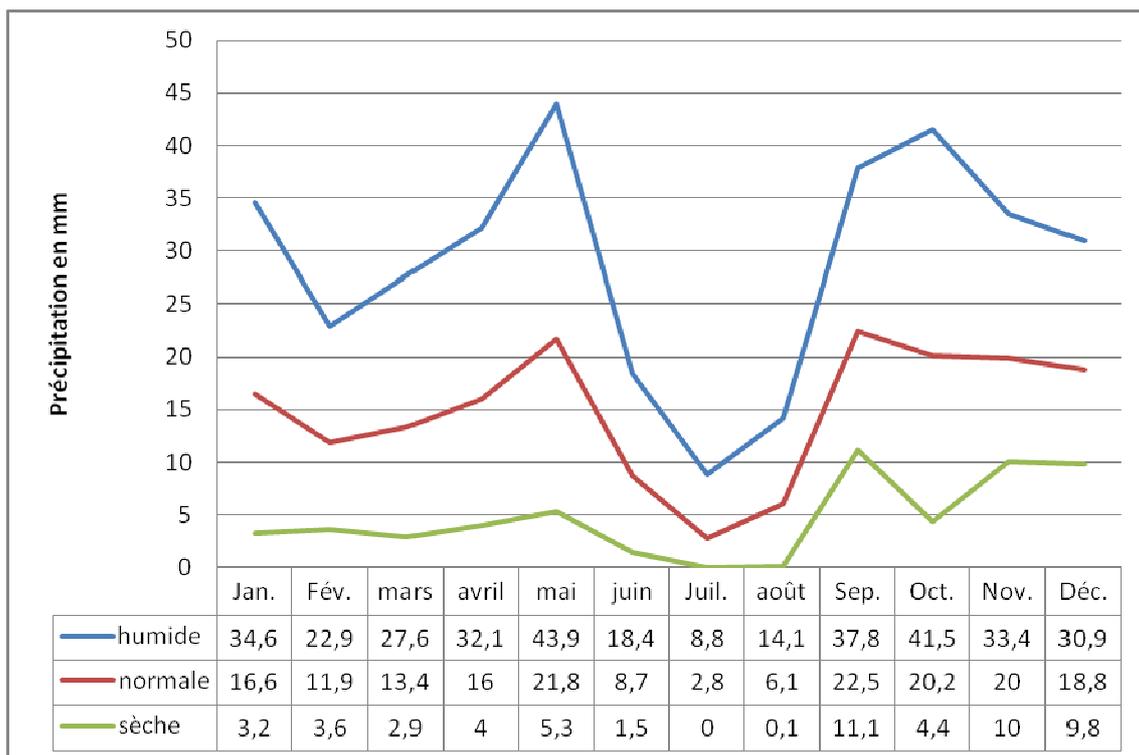


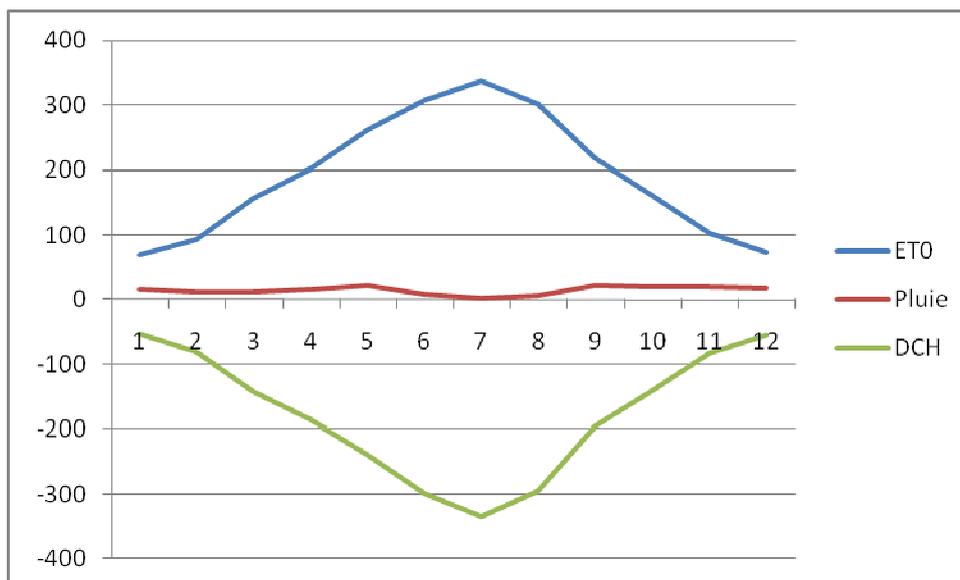
Figure 7 : Pluies mensuelles de l'année sèche (80%), normale (50%) et humide (20%)

### 1.5. Déficit Climatologique Hydrique (DCH)

Le déficit hydrique climatique représente la différence entre les précipitations et l' $ET_0$  pour la zone d'étude. L'étude de la figure 8, montre que l'évolution du déficit est proportionnelle à celle de l' $ET_0$  ; il augmente progressivement du mois de janvier où il est au minimum (-53,46 mm) ; au mois de juillet où il atteint son maximum avec -334,94 mm.

La connaissance du DCH permet d'évaluer la quantité d'eau qui manque à la plante au cours de la saison de croissance et donc permet d'estimer les besoins théoriques en eau de la culture.

## Résultats et discussions

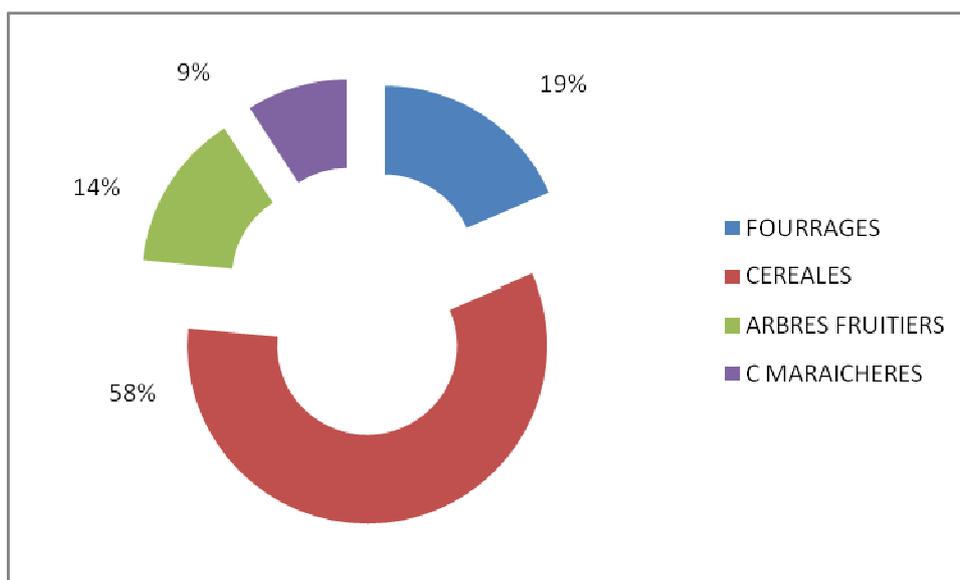


**Figure 8** : Evolution de précipitation, évapotranspiration de référence et déficits hydriques climatiques moyens (en mm) de la wilaya de M'Sila, période (1988-2008)

## 2. Besoin en eau des cultures

### 2.1. Cultures dominantes dans la région

La zone d'étude est caractérisée par la dominance de la céréaliculture avec une occupation de 58%, où l'orge et le blé occupent, respectivement 41% et 17% de la surface totale cultivée (figure 9).



**Figure 9** : Cultures dominantes dans la wilaya de M'Sila (DSA de M'Sila)

## Résultats et discussions

Les cultures fourragères occupent 19% de la surface cultivée soit 22250 ha. Ce qui peut être expliqué par la nature de la zone d'étude qui est à vocation essentiellement agro pastorale. Sur les 22250 ha de culture fourragère, l'orge, l'avoine et le seigle occupent 10200 ha, et la luzerne, et le trèfle occupent 250 ha. Les 11800 ha qui restent sont occupés par diverses autres cultures (DSA, 2010).

Les 17250 ha de l'arboriculture, soit 14% de la surface totale cultivée, est formée principalement de 8000 ha d'abricotier (la culture la plus abondante dans la région après les céréales), 1060 de poirier, 1070 de pommier et 4500 ha d'olivier.

Les cultures maraîchères occupent 9% de la surface agricole totale cultivée, soit une surface de 3400 ha pour les carottes, 1900 ha pour l'ail et l'oignon, et le piment 900 ha.

### 2.2. Besoins en eau d'irrigation de la wilaya de M'Sila

Les doses d'irrigation seront calculées afin de conduire les cultures au niveau de toute la wilaya en évaporation maximale (ETM), ce qui permet d'avancer l'égalité entre ETR et ETM.

Afin de mieux maîtriser les besoins en eau de chaque culture, nous avons calculé son besoin comme si c'était une monoculture (la culture occupe 100% de superficie). Une fois les besoins en eau unitaires de chaque culture soient calculés, il suffit de multiplier par la superficie réelle respective de chaque culture pour obtenir leurs besoins dans la wilaya.

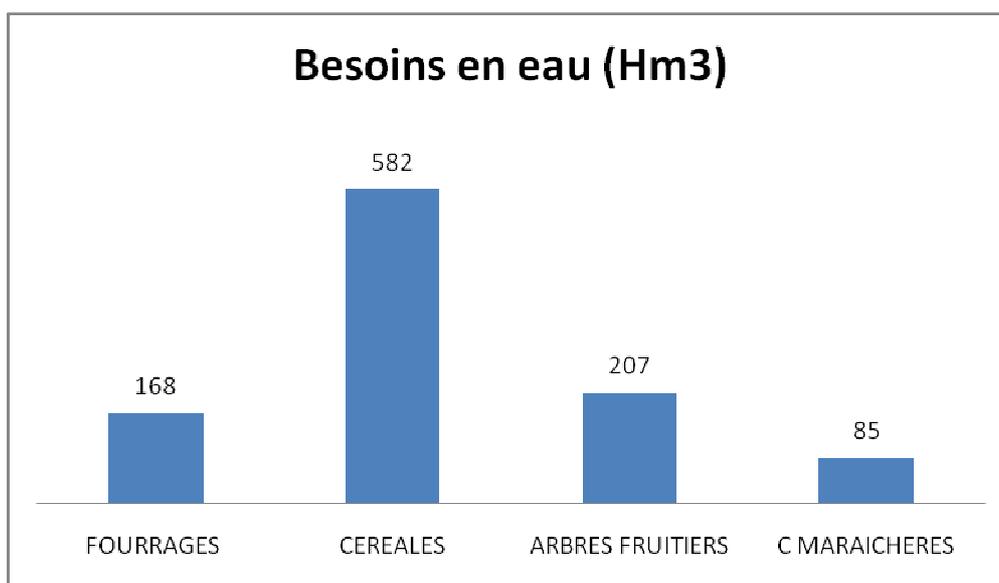


Figure 10 : Besoins en eau des cultures dans la wilaya de M'Sila

## *Résultats et discussions*

Les 120500 ha de surfaces cultivées de la wilaya de M'Sila conduites dans de bonnes conditions hydriques consomment pas moins de 1042 Hm<sup>3</sup>, soit plus de un milliard de m<sup>3</sup> d'eau virtuelle pour toute la wilaya.

Cette demande en eau virtuelle jugée trop importante pour la wilaya (1042 Hm<sup>3</sup>) est nettement supérieure aux disponibilités en eau estimées à 461 Hm<sup>3</sup> (226%) soit plus de 2 fois les potentialités connues et très nettement supérieure par rapport aux 80 Hm<sup>3</sup> alloués à l'irrigation (1302%), soit plus de 13 fois plus que la quantité d'eau destinée à l'irrigation.

Le groupe de cultures le plus consommateur est celui des céréales avec une part de 56% des besoins en eau où la culture de blé avec 20000 ha, a besoin de 20% des besoins totaux, et 36% des besoins du groupe, soit 207 Hm<sup>3</sup>, et l'orge avec une superficie de 50000 ha a besoin de 374 Hm<sup>3</sup>, soit 36% des besoins totaux de la wilaya et 64% des besoins des céréalicultures.

Le deuxième groupe dans la demande en eau est l'arboriculture. Avec une occupation de 14,3% de la superficie cultivée totale, l'arboriculture représente 20% des besoins totaux en eau d'irrigation, soit 207 Hm<sup>3</sup>. Les cultures les plus consommatrices sont les arbres à noyaux avec des besoins de 108 Hm<sup>3</sup>, soit 10% des besoins totaux et 52% des besoins du groupe.

Les cultures fourragères ont des besoins en eau de l'ordre de 168 Hm<sup>3</sup>, qui représente 16% des besoins totaux. Le groupe de cultures d'orge, avoine et seigle, avec une occupation de 46% (de surface du groupe), ont besoin de plus de 76 Hm<sup>3</sup>, soit 45% des besoins du groupe. Les cultures de luzerne et de trèfle ont besoin de 4 Hm<sup>3</sup>, soit 2% des besoins contre 0,01% de surface occupée par le groupe.

Pour les cultures maraîchères c'est le secteur le moins consommateur d'eau dans la wilaya de M'Sila, ceci s'explique par de faible surface occupée. Avec 9% de superficie le secteur a une demande de 80 Hm<sup>3</sup>, soit 8% des besoins totaux. Les cultures les plus consommatrices d'eau sont, la carotte avec 22 Hm<sup>3</sup> de besoin, soit 27% de la demande du groupe, l'ail et l'oignon avec 19 Hm<sup>3</sup>, soit 24%, et la culture de pomme de terre avec une demande en eau d'irrigation de 8 Hm<sup>3</sup>, soit 10%.

### *Résultats et discussions*

Globalement, on peut expliquer la demande importante en eau totale des cultures d'une part par la demande climatique très élevée où l' $ET_0$  dépasse ou avoisine les 10 mm par jour dans les mois de pointe (juin, juillet et août), et d'autre part par l'introduction de la céréaliculture dans les calculs des besoins en eaux de la wilaya, parce que se sont des cultures exigeantes en eau vue la grande superficie occupée (66% de la superficie cultivée), et qui sont en réalité, dans des pays comme l'Algérie, considérés comme des cultures pluviales. Dans ce cas, si on élimine les besoins en eau des céréales, les besoins totaux de la wilaya de M'Sila seront de l'ordre de 303 Hm<sup>3</sup>, soit 66% des potentialités connues et 378% de la quantité d'eau destinée à l'irrigation.

### **2.3. Besoins mensuels en eau d'irrigation pour les principaux groupes de cultures**

Durant l'année, on constate que le mois de mai correspond à la période où la plupart des cultures sont installées ; elles sont de 17 sur 19 types de cultures.

Le mois de Mai est le mois qui regroupe pratiquement toutes les cultures, sauf les cultures d'haricot et de choux. Mais, ce n'est pas le mois le plus exigeant en eau pour la wilaya de M'Sila, parce qu'une part de la demande est reçue par les précipitations, où l'on enregistre en moyenne près de 21,8 mm, et c'est le deuxième mois pluvieux après le mois de septembre (22,5 mm de moyenne en année normale).

Pour l'occupation de sol, les mois d'avril et mai constituent les mois où l'occupation est au maximum, 99%. Durant les mois d'août, septembre, et en octobre l'occupation serait au minimum, soit 15%, 15% et 6% respectivement.

On constate qu'il existe deux mois de fort déficit pluviométrique de l'ordre de 151, 181 mm/mois pour les mois de mars et avril. Le mois d'avril reste le mois le plus déficitaire en en eau à cause d'une occupation de 98,75% du sol par les cultures.

Le mois le moins déficitaire en eau d'irrigation est le mois d'octobre avec une demande de 4,3 mm/mois. Dans ce mois, seul quatre cultures sont installées, où l'occupation du sol arrive jusqu'à 6%, les besoins en eau d'irrigation des cultures installées ne sont pas importants vu les faibles surfaces occupées : 250 ha pour la luzerne, 300 ha pour les choux ; et la rentrée en dormance pour l'olivier et les arbres à pépin.

Il est à noter que les mois de pointe, juin, juillet et août, ne sont pas les mois les plus exigeants en eau d'irrigation, malgré le faible volume des précipitations. Durant cette période, le taux d'occupation des sols n'est que 39%, 17% et 15% pour les mois de juin, juillet et août respectivement.

*Résultats et discussions*

**Tableau 16 :** Besoins mensuel en eau d'irrigation pour les principales cultures conduites dans la wilaya (année normale)

	Jan.	Fév.	Mar	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	
<b>Déficit Précipitations (mm)</b>													<b>Som.</b>
1. Orge	50,5	109,9	191,2	204,1	59,8	0	0	0	0	0	12,6	12,9	<b>641</b>
2. Luzerne	59,9	85,1	49,8	65,4	84,2	113,5	132,9	232,4	210	151,4	92,8	60,4	<b>1337,8</b>
3. Arbre à noyaux	0	0	65,6	111,6	187,2	235,7	265,5	204,9	26,7	0	0	0	<b>1097,2</b>
4. Ail et oignon	0	59,5	148	197,1	252,6	272,7	0	0	0	0	0	0	<b>929,9</b>
5. Aubergine	0	0	0	0	84,4	198,9	366,9	332,5	106,5	0	0	0	<b>1089,2</b>
6. autre arbre	0	0	73,4	117,4	187,6	235,7	265,5	204,9	26,7	0	0	0	<b>1111,2</b>
7. Blé	26,3	61,2	136,1	210,9	280,5	175,5	0	0	0	0	12,6	11,2	<b>914,3</b>
8. Carotte	0	0	101,4	184,6	251,5	71	0	0	0	0	0	0	<b>608,5</b>
9. Choux	67,8	35,7	0	0	0	0	0	0	132	102,3	84,3	67,8	<b>489,9</b>
10. Courgette	0	0	0	0	138,4	231,5	295,4	59,5	0	0	0	0	<b>724,8</b>
11. Haricot vert	27,4	86,4	82,3	0	0	0	0	0	0	0	0	5	<b>201,1</b>
12. Laitue	0	0	0	130,9	237,3	134,3	0	0	0	0	0	0	<b>502,5</b>
13. Melon	0	0	0	67,4	188,9	312	322,5	62,6	0	0	0	0	<b>953,4</b>
14. Navet	0	36	114,5	197,1	254,1	296,3	102,3	0	0	0	0	0	<b>1000,3</b>
15. Olivier	0	10,2	81,3	105,9	136,8	174,6	198,6	172,6	107	72,6	26,9	0	<b>1086,5</b>
16. Poivron	0	0	81,3	144,8	251,9	305,9	78,7	0	0	0	0	0	<b>862,6</b>
17. P. de terre	0	0	68,1	179,2	281,4	307,3	67,5	0	0	0	0	0	<b>903,5</b>
18. Arbres à pépin	0	0	0	85,7	136,5	225,6	265,8	232,6	153,9	100,3	11,7	0	<b>1212,1</b>
19. Tomate	27,2	66,4	164,5	216,1	177,4	0	0	0	0	0	0	0	<b>651,6</b>
<b>Bes. Irr. Net. du périmètre</b>													
en mm/jour	1.2	2.8	4.9	6.0	4.0	2.5	1.3	0.9	0.3	0.1	0.4	0.3	
en mm/mois	36.0	78.7	150.4	181.4	122.8	74.1	39.5	27.3	9.2	4.3	11.7	10.8	
en l/s/ha	0.13	0.33	0.56	0.70	0.46	0.29	0.15	0.10	0.04	0.02	0.05	0.04	
<b>Nombre de cultures installées</b>													
	6	9	13	15	17	15	11	8	7	4	6	5	
<b>Occupation du sol (%)</b>													
	78	83	96	99	99	39	17	15	15	6	82	77	

#### **2.4. Eau virtuelle bleue et verte entre année humide, normale et sèche de la wilaya de M'Sila**

Par définition l'eau provenant des précipitations et présente naturellement dans le sol est appelée "eau verte". L'eau d'irrigation dérivée des eaux superficielles ou souterraines est "l'eau bleue". La part relative de l'une et de l'autre dans la consommation globale d'eau par les cultures peut varier considérablement. La mobilisation de l'eau bleue vise à s'affranchir de l'insuffisance et de la variabilité des précipitations et elle génère des coûts plus élevés que l'utilisation de l'eau verte.

Le tableau 17 illustre les quantités d'eau virtuelle bleue et verte pour les trois probabilités de non dépassement : année normale (50%), quinquennale humide (20%) et quinquennale sèche (80%) ; à la station météorologique de M'Sila pour la période d'observation de 25 ans (1984-2008).

On constate que l'apport d'eau de pluie (Eau virtuelle verte) varie entre année humide et année sèche de 231,4 Hm<sup>3</sup> à 39,8 Hm<sup>3</sup>, soit une différence de 191,6 Hm<sup>3</sup>, ce qui représente 18% de la quantité d'eau virtuelle total (1042 Hm<sup>3</sup>).

Cette différence de précipitation fait augmenter la quantité d'eau virtuelle bleue (besoins en eau d'irrigation) de 810,1 Hm<sup>3</sup> en année humide, soit près de 1001,9 Hm<sup>3</sup> en année sèche. En année sèche, l'eau virtuelle bleue ou les besoins en irrigation constituent 96% des besoins en eau virtuelle total.

**Tableau 17** : Comparaison de l'eau virtuelle bleue et verte de la région de M'Sila

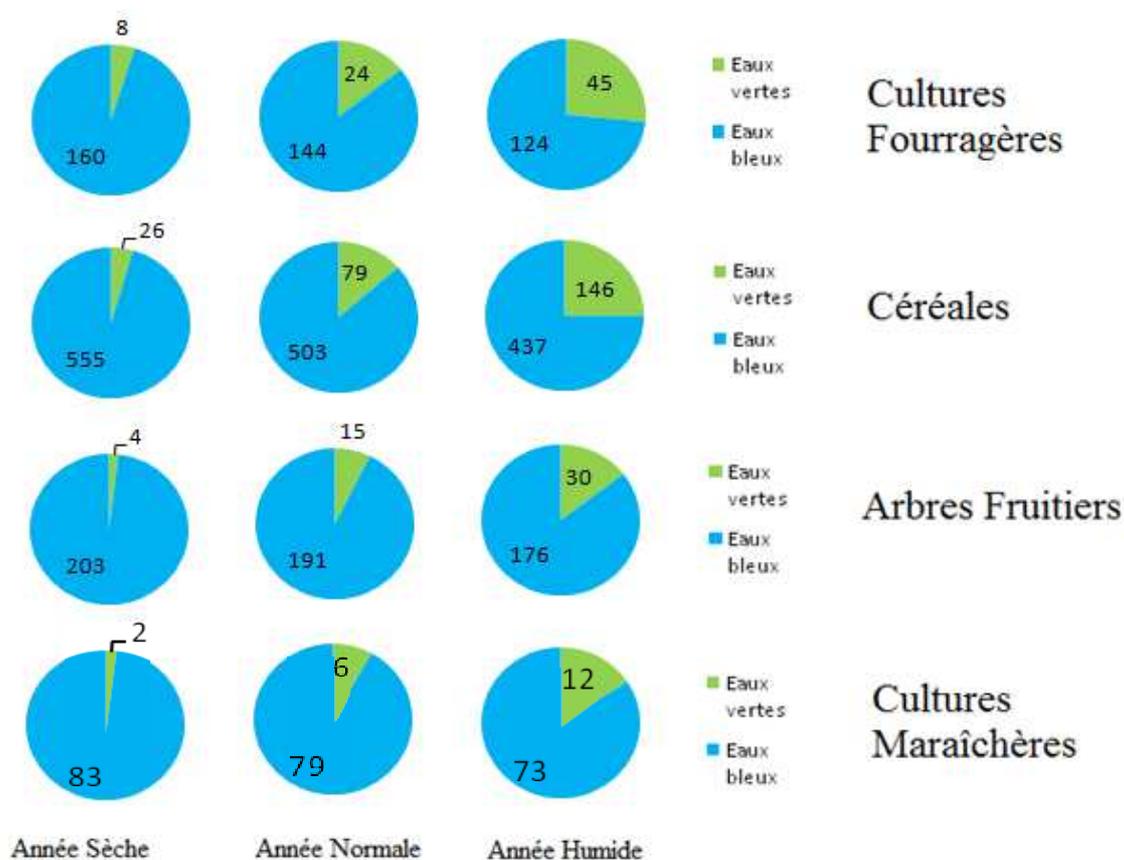
Type d'année	Eau virtuelle verte (Hm <sup>3</sup> )	Eau virtuelle bleue (Hm <sup>3</sup> )
Année humide	231,4	810,1
Année normale	124,5	916,7
Année sèche	39,8	1001,9

### 2.5. L'eau virtuelle bleue et verte par système de culture dans la wilaya de M'Sila

D'après les figures ci-dessous, on constate que les cultures céréalières et fourragères présentent la meilleure valorisation d'eau de pluie tombée sur tout le territoire de la wilaya de M'Sila.

En année normale l'eau verte (eau de pluie) assure 14% des besoins en eau des cultures fourragères et 13% des besoins des céréales soient, 24 Hm<sup>3</sup> et 79 Hm<sup>3</sup> respectivement. En année sèche l'eau verte ne représente que 5% seulement, pour les deux systèmes de cultures. Alors que, en année humide, cette eau de pluie représente près de 26% des besoins en eau soit, 146 Hm<sup>3</sup> pour les céréales et 45 Hm<sup>3</sup> pour les cultures fourragères.

Pour les arbres fruitiers et les cultures maraîchères, l'eau verte ne constitue que 7% des besoins en année normale, 2% en année sèche et 15% à 16% en année humide, soit une forte dépendance en eau d'irrigation de ces deux systèmes de culture.



**Figure 11** : Appvisionnement en eau virtuelle bleue et verte de la wilaya de M'Sila en année humide, normale et sèche (Hm<sup>3</sup>).

### 3. Analyse de l'eau virtuelle bleue et verte à l'échelle d'un hectare culture par culture

#### 3.1. Besoins en eau (ETc)

Les besoins en eau réels maximums, et les besoins d'irrigation par cultures que nous avons calculés de l'année normale (période d'occurrence de 5 ans) sont synthétisés dans les tableaux 18, 19 et 20 alors que les tableaux (Annexe 2), donnent les besoins en année sèche et en année humide.

Pour analyser les besoins en eau des cultures fourragères, céréales, arbres fruitiers et cultures maraîchères, nous allons les traiter indépendamment. Il faut signaler que ces besoins dépendent considérablement selon la pratique de l'itinéraire technique : par exemple la date de semis (ou de plantation).

D'après la figure 12, la culture la plus exigeante en eau est la luzerne, avec des valeurs qui dépassent 1500 mm. Pour les arbres fruitiers à noyaux et à pépins les besoins sont 1167 mm et 1310 mm respectivement. Les cultures les moins consommatrices en eau sont le haricot et la fève avec des valeurs de 243 mm.

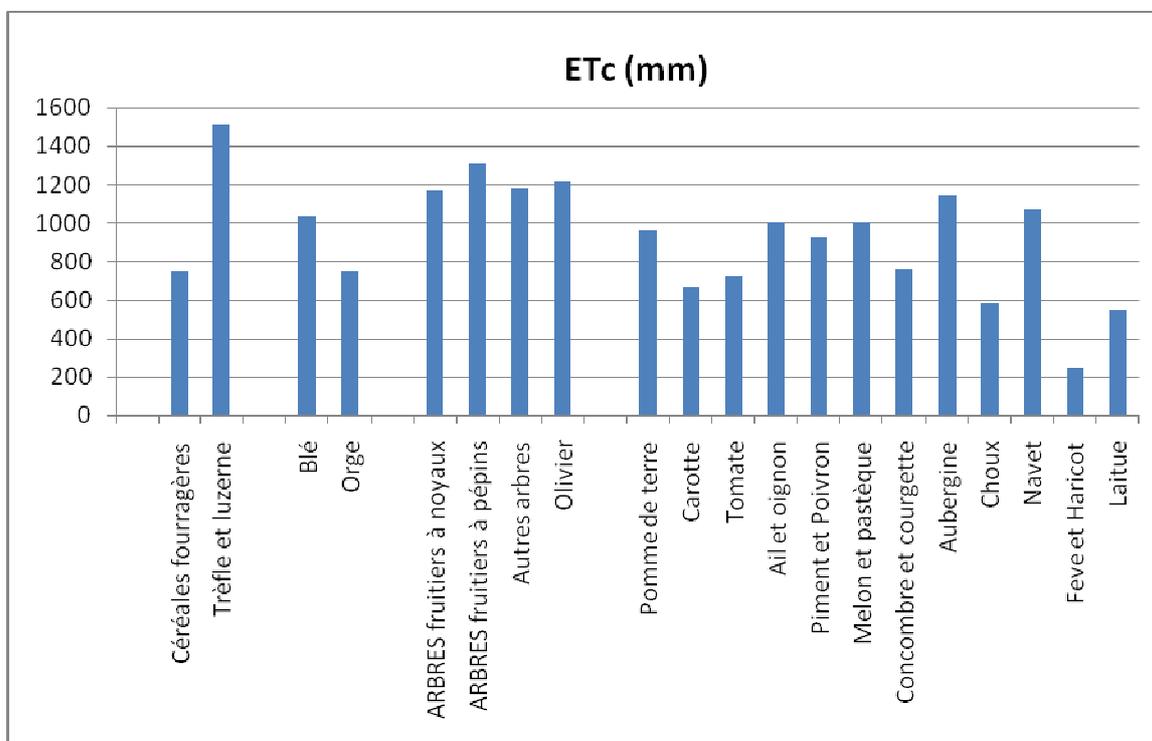


Figure 12 : Besoins en eau virtuelle (ETc) des cultures dans la wilaya de M'Sila

## Résultats et discussions

### 3.1.1. Cultures fourragères et céréales

Selon la FAO, les besoins d'eau du blé qui correspondent à de bons rendements sont de 450 à 650 mm selon le climat et la longueur du cycle végétatif. Dans la wilaya de M'Sila les besoins sont de 1038 mm, soit un surplus de l'ordre de 388 mm.

En ce qui concerne l'orge, les besoins sont de l'ordre de 748 mm. On constate que la culture de blé a des besoins supérieurs à la culture d'orge avec une différence de 287 mm. Cela peut s'expliquer par le décalage de date de semi et les différences au niveau des caractéristiques culturales (Kc, durée du cycle, ...).

Pour la luzerne la FAO estime aussi que les besoins d'eau se situent entre 800 et 1600 mm, selon le climat et la longueur de la période de croissance. Pour réduire les demandes pendant les mois d'été chauds, on pratique parfois une période de dormance durant ces mois.

La demande en eau de la luzerne et du trèfle, dans la wilaya de M'Sila, est la plus élevée. Tout en long du cycle qui s'étend sur 365 jours, la luzerne a besoin de pas moins de 1512 mm, elle dépasse les besoins des arbres fruitiers, et celles de toutes les cultures maraîchères cultivées au niveau de la wilaya.

**Tableau 18** : Besoins en eau virtuelle bleue et verte, en année normale, des céréales et des cultures fourragères

Cultures	Année normale		
	Etc (mm)	Eau verte (mm)	Eau bleue (mm)
Trèfle et luzerne	1512,2	173,9	1338,3
Orge et Céréales f.	748,4	108,1	639,5
Blé	1038	123,3	914,3

### **3.1.2. Arbres fruitiers**

Les besoins en eau des arbres fruitiers, pour une forte production, varient avec le climat, avec le couvert du sol, selon que la culture est sarclée ou non désherbée, avec l'espèce et le porte-greffe.

Dans la wilaya de M'Sila, le secteur de l'arboriculture est le plus exigeant en eau, où les arbres à noyaux et à pépin ont des besoins de l'ordre de 1167 mm et 1310 mm respectivement. En réalité pour l'irrigation des arbres fruitiers les bureaux d'études dans la région fixe un  $Kc_{opt}$  égale à 0,6 le long du cycle, cela permet d'enregistrer des valeurs moins faibles, pour bien gérer les besoins en eau et avoir de bons rendements.

Les arbres à pépin : Les besoins en eau totaux (ETc) indiqués par Oukabli (2005) se situent entre 600 et 1000 mm. Dans la wilaya de M'Sila les besoins totaux sont de 1310 mm par an.

Des compléments d'irrigation s'avèrent nécessaires de la fin du printemps jusqu'à la fin de l'été avec un besoin en eau d'irrigation moyen de 1212 mm en année normale, de 1119 mm en année humide, et de 1283 mm en année sèche.

Les arbres à noyaux : Les besoins en eau des arbres à noyaux se situent entre 350 et 800 mm. Dans la wilaya de M'Sila, les besoins d'irrigation des espèces à noyau (prunier, pêcher, abricotier,..) varient en moyenne de 1024 mm en année humide, 1097 mm en année normale jusqu'à 1152 mm en année sèche.

L'olivier : selon le bulletin N°33 de la FAO, l'olivier est le plus souvent cultivé sans irrigation dans les régions où tombent de 400 à 600 mm de précipitation annuelle, mais on le trouve même dans des régions qui reçoivent environ 200 mm de pluie. Pour obtenir de bons rendements, il faut de 600 à 800 mm. Dans la wilaya de M'Sila les besoins de l'olivier sont estimés à 1212 mm.

## Résultats et discussions

**Tableau 19** : Besoins en eau virtuelle bleue et verte, en année normale, des arbres fruitiers

Cultures	Année normale		
	Etc (mm)	Eau verte (mm)	Eau bleue (mm)
Arbres fruitiers à noyaux	1167,6	71,1	1097,1
Arbres fruitiers à pépins	1310,7	99,3	1212
Autres arbres	1181,6	71,1	1111,1
Oliviers	1212	123,9	1086,5

### 3.1.3. Cultures maraîchères

Les besoins d'irrigation des principales cultures maraîchères pratiquées dans la wilaya de M'Sila correspondant aux dates de semis (ou de plantation) que nous avons considérées sont présentés dans le tableau 20, elle permet de distinguer les cultures maraîchères les plus exigeantes en eau. Les aubergines sont les cultures qui consomment le plus d'eau (1142 mm), suivies des melons et pastèques avec une consommation d'eau de 1002,8 mm, vient avec l'ail et l'oignon avec des besoins de 1000 mm.

**Tableau 20** : Besoins en eau virtuelle bleue et verte, en année normale, des cultures maraîchères

Cultures	Année normale		
	Etc (mm)	Eau verte (mm)	Eau bleue (mm)
Pomme de terre	963,2	59,5	903,5
Carottes	662,4	53,1	608,5
Tomates	726,2	74,3	651,6
Ail et oignon	1000,1	70,2	929,9
Piment poivron	922,4	59,5	862,6
Melons pastèques	1002,8	49,1	953,4
Concombre et courgette	758,4	33,4	724,8
Aubergines	1141,7	50,2	1089,1
Choux	582,2	99,7	483,2
Navets	1071,8	71,5	1000,3
Fèves et haricot	243,4	42,5	201,1
Laitue	544,5	41,7	502,5

## *Résultats et discussions*

Les besoins d'irrigation des cultures de printemps, la pomme de terre, la laitue et la carotte sont respectivement de 963 mm, 544 mm et 662 mm. Alors que les cultures d'hiver (fève, haricot,...) qui sont les moins exigeantes se classent en dernier avec 243 mm.

### **3.1.3.1. Choux**

Selon le bulletin de la FAO les besoins d'eau du chou varient entre 380 et 500 mm selon le climat et la longueur de la campagne végétatif. La transpiration de la culture augmente au court du cycle végétatif et atteint un maximum vers la fin de la campagne. Dans la wilaya de M'Sila les besoins du chou en eau d'irrigation atteint 4832 m<sup>3</sup>/ha en année normale, 4063 m<sup>3</sup>/ha en année humide et 5432 m<sup>3</sup>/ha en année sèche.

### **3.1.3.2. Piment poivron**

Selon Doorenbos et Kassam (1987) Les besoins d'eau totaux (ETc) du poivron sont de 600 à 900 mm et atteignent 1250 mm, dans le cas de cycles végétatifs prolongés avec plusieurs cueillettes, tandis que dans la wilaya de M'Sila ces besoins sont de 922,4 mm ce qui fait que le taux de couverture de ces besoins par les pluies n'est que de 6% le reste doit être apporté par l'irrigation estimé à 862,6 mm (année normale), et 965 mm en année humide et peut aller jusqu'à 1055 mm en année sèche.

Pour obtenir des rendements élevés de poivron, il faut un apport d'eau suffisant et des sols relativement humides pendant tout le cycle végétatif, mais surtout juste avant la floraison et au début de celle-ci. Le tarissement de l'eau du sol pendant cette période ne devrait pas dépasser 25% en risque d'une diminution de nombre de fruit.

### **3.1.3.3. Melon et pastèque**

Une culture de pastèque peut consommer (ETc) généralement 400 à 600 mm (Doorenbos et Kassam, 1987). Dans la wilaya de M'Sila ses besoins restent élevés, ils sont de 1002 mm, et qui doivent être couverts à 95 % par l'irrigation (en année normale).

Un hectare de pastèque consomme en moyenne 9534 m<sup>3</sup> en année normale, 9013 m<sup>3</sup> en année humide, et 9919 m<sup>3</sup> en année sèche.

La culture de pastèque exige d'être irriguée sur le long de son cycle. Un déficit hydrique pendant la période d'installation retarde la croissance et donne des plants moins

vigoureux. Le début et la fin de la période végétative, la période de floraison, et de formation de fruit sont celles qui craignent le plus le manque d'eau, alors que pendant la période de mûrissement un apport d'eau limité améliore la qualité de fruit.

#### **3.1.3.4. Ail et oignon**

En général, la culture demande une bonne répartition des apports d'eau, les variétés précoces exigent un volume d'eau total de l'ordre de 400 mm/cycle productif ; les variétés tardives ont besoin d'environ 600 mm/cycle (Skiredj 2002). Dans la wilaya de M'Sila, l'ail et l'oignon ont besoin de près de 1000 mm, soit des besoins en irrigation de 929 mm en année normale, 862 mm en année humide et 982 mm en année sèche.

#### **3.1.3.5. Pomme de terre**

Selon la FAO, les besoins d'eau de la culture (ETc) correspondant à des rendements élevés produit en 120 à 150 jours sont de 500 à 700 mm selon le climat.

La pomme de terre dans la wilaya de M'Sila a besoin de 963 mm, soit une demande en eau d'irrigation de 9035 m<sup>3</sup> en année normale, 8441 m<sup>3</sup> en année humide et 9494 m<sup>3</sup> en année sèche, où la pluie couvre respectivement 6%, 12% et 2% des besoins.

#### **3.1.3.6. Laitue**

Selon Ahmed Skiredj 2002, estime que le besoin en eau de la culture est de 350-400 mm par cycle cultural, où plus de 80% des apports d'eau sont fournis durant le dernier mois de culture. Quelques jours avant la récolte, il faut réduire les apports d'eau afin d'améliorer la qualité des pommes et éviter d'avoir des pommes molles.

Dans la wilaya de M'Sila le besoin est de 544,5 mm, et la couverture de ces besoins par les pluies est de 8% en année normale, 15% en année humide et n'est que 2% en année sèche.

#### **3.1.3.7. Haricot et fève**

Selon la FAO, les besoins d'eau correspondant à la production maximum d'une culture de 60 à 120 jours, varient entre 300 et 500 mm selon le climat. Ils sont très variable pendant la période de mûrissement selon que la gousse récoltée humide ou sèche. Quand on cultive le haricot pour son produit frais, le cycle végétatif est relativement court et pendant la

période de mûrissement, qui est d'environ 10 jours, l'évapotranspiration est plutôt faible en raison du dessèchement des feuilles. Quand le haricot est cultivé pour ses grains, la période de mûrissement est plus longue et la diminution de l'évapotranspiration de la culture est relativement plus forte.

Dans la wilaya de M'Sila, La culture de fève et haricot ont des besoins en eau de 243,4 mm par an, ce sont les cultures les moins consommatrices en eau. Ces deux cultures qui s'installent entre décembre et février ont des besoins en eau d'irrigation de l'ordre de 2011 m<sup>3</sup>/ha en année normale, 1634 m<sup>3</sup>/ha en année humide et 2321 m<sup>3</sup>/ha en année sèche, soit une couverture en eau de pluie de 17,5% en année normale, 33,6% en année humide, 5% en année sèche.

### **3.2. Efficience d'utilisation de l'eau des produits agricoles**

L'efficience d'utilisation de l'eau par tonne de cultures primaires diffère sensiblement entre les cultures et entre les régions de production. Les cultures à haut rendement ou une fraction importante de la biomasse des cultures qui sont récoltées ont généralement une meilleure efficience d'utilisation d'eau que les cultures avec un rendement faible ou petite fraction de la biomasse des cultures récoltées (Hoekstra, 2010).

#### **3.2.1. Cultures fourragères**

D'après le tableau 20, dans la wilaya de M'Sila, pour produire 1kg de matière sèche de luzerne il faut 1260 litres d'eau, ce qui est loin de la moyenne en Algérie estimée par Chapagain (2004) à 987 l/kg de MS et de la moyenne mondiale estimée par Meconnen (2010) à près de 402 l/kg de MS.

Pour les cultures d'orge, avoine et seigle, l'efficience d'utilisation d'eau est bien loin de la moyenne internationale estimée à 253 m<sup>3</sup>/tonne de MV. Donc il semble que ces cultures adaptent moins avec les conditions de la wilaya, sauf pour les fourrages en secs qui présente une adaptation meilleure.

## Résultats et discussions

**Tableau 21** : Efficience d'utilisation d'eau des cultures fourragères comparées à la moyenne nationale et mondiale.

Cultures	Efficience d'utilisation d'eau (m <sup>3</sup> / tonne)		
	M'Sila	Moy. Algérie <sup>1</sup>	Moy. Mondiale <sup>2</sup>
Fourrage en sec "MS"	1247	-	1388
Orge, Avoine et seigle "MV"	540,5	-	253
Trèfle et luzerne "MV"	420	329	134

### 3.2.2. Céréales

Au niveau mondiale, l'efficience moyenne d'utilisation d'eau pour les cultures céréalières est 1644 m<sup>3</sup>/ton (Hoekstra, 2010), pour le blé cette efficience est relativement faible (1827 m<sup>3</sup>/tonne), tandis que pour l'orge, elle est relativement meilleur (1423 m<sup>3</sup>/tonne). Dans la wilaya de M'Sila l'efficience moyenne de blé dur est de 1356 m<sup>3</sup>/tonne, et celle du blé tendre est proche de la moyenne des céréales avec 1522 m<sup>3</sup>/tonne. Dans la wilaya, avec 1349 m<sup>3</sup>/tonne, l'orge présente une efficience relativement meilleure par rapport à la moyenne mondiale et reste proche de cette moyenne, mais faible par rapport à la moyenne nationale des céréales.

**Tableau 22** : Efficience d'utilisation d'eau des céréales comparées à la moyenne nationale et mondiale.

Cultures	Efficience d'utilisation d'eau (m <sup>3</sup> / tonne)		
	M'Sila	Moy. Algérie <sup>1</sup>	Moy. Mondiale <sup>2</sup>
Blé dur	1356	1944	1827
Blé tendre	1522	1944	1827
Orge	1349	1156	1423

<sup>1</sup> Source: Chapagain, A.K. and Hoekstra, A.Y. 2004

<sup>2</sup> Source : Meconnen, 2010

### 3.2.3. Arbres fruitiers

Pour les arbres à noyaux, dans la wilaya de M'Sila l'efficacité d'utilisation d'eau varie entre 1722 m<sup>3</sup>/tonne pour l'abricotier, 1888 m<sup>3</sup>/tonne pour le pêché et 2451 m<sup>3</sup>/tonne pour le prunier. La moyenne mondiale reste meilleure par rapport à la moyenne locale. Pour le prunier la quantité d'eau nécessaire pour produire 1kg est de 2,4 m<sup>3</sup>.

Pour les arbres à pépins l'efficacité d'utilisation d'eau est nettement inférieure à la moyenne mondiale et nationale avec 2254 m<sup>3</sup>/tonne pour le poirier et 2377 m<sup>3</sup>/tonne pour le pommier.

Notre étude montre que les arbres fruitiers ont des besoins en eau trop élevés cela peut être expliqué par le fait que se sont des cultures annuelles et la demande climatique de la région, dans les mois de pointe, est élevée, soit presque le double de la demande climatique à Mitidja (10 mm/j à M'Sila et 5 mm/j à Mitidja), où nous avons enregistré des besoins en eau de l'ordre de 880 mm pour le poirier et 751 mm pour l'abricotier (Ammar Boudjellal et Bammoun, 2006) et qui correspond à 1466 m<sup>3</sup>/tonne pour le premier et 1251 m<sup>3</sup>/tonne pour la deuxième, pour des rendements moyen de l'ordre de 60 q/ha (Ammar Boudjellal et Bammoun, 2006).

**Tableau 23** : Efficacité d'utilisation d'eau des arbres fruitiers comparée à la moyenne nationale et mondiale.

Culture	Efficacité d'utilisation d'eau (m <sup>3</sup> /tonne)		
	M'Sila	Moy. Algérie <sup>1</sup>	Moy. Mondiale <sup>2</sup>
Abricots	1722	1267	1287
Pêches	1888	1391	910
Prunes	2451	1775	1758
Poires	2254	1417	922
Pommes	2377	1485	822

<sup>1</sup> Source: Chapagain, A.K. and Hoekstra, A.Y. 2004

<sup>2</sup> Source : Meconnen, 2010

## Résultats et discussions

### 3.2.4. Cultures maraîchères

Dans la wilaya de M'Sila, l'efficacité d'utilisation d'eau des cultures maraîchères varie considérablement de 398 m<sup>3</sup>/tonne pour la laitue à 1158 m<sup>3</sup>/tonne pour l'ail.

**Tableau 24** : Efficacité d'utilisation d'eau des cultures maraîchères comparées à la moyenne nationale et mondiale.

Culture	Efficacité d'utilisation d'eau (m <sup>3</sup> / tonne)		
	M'Sila	Moy. Algérie <sup>1</sup>	Moy. Mondiale <sup>2</sup>
Pomme de terre	469	529	287
Carottes	398	740	195
Tomates	460	362	214
Oignons	671	214	272
Ails	-	-	589
Piments	1158	342	379
Poivrons	1060	342	379
Melons pastèques	797	-	235
Concombre	543	365	353
Courgette	584	-	-
Aubergines	1087	704	362
Choux vert	651	228	280
Choux fleurs	535	228	280
Navets	848	740	195
Haricot vert	505	800	562
Fèves vertes	425	800	562
Laitue	674	133	237

<sup>1</sup> Source: Chapagain, A.K. and Hoekstra, A.Y. 2004

<sup>2</sup> Source : Meconnen, 2010

### *Résultats et discussions*

Pratiquement l'efficacité de toutes les cultures est inférieure à la moyenne mondiale. Seules les cultures d'Haricot vert et Fèves vertes qui présentent une efficacité d'utilisation d'eau au dessus de la moyenne mondiale.

Pour notre région d'étude, en moyenne l'efficacité d'utilisation d'eau par tonne de culture est située entre 398 et 469 m<sup>3</sup>/tonne pour les cultures de pomme de terre, carotte, fève verte et tomate, entre 505 et 848 m<sup>3</sup>/tonne pour les cultures de haricot vert concombre, courgette, oignons, choux, melons pastèques et navets. L'efficacité d'utilisation d'eau de l'aubergine est de 1087 m<sup>3</sup>/tonne, poivron 1060 m<sup>3</sup>/tonne et piment 1156 m<sup>3</sup>/tonne.

#### **IV. Conclusion générale**

L'eau virtuelle est un concept pertinent pour analyser les enjeux majeurs qui lient, en Algérie, les stratégies d'adaptation à la rareté croissante de l'eau aux réflexions sur les opportunités et les risques de la globalisation. La quantification des volumes d'eau virtuelle montre le caractère déjà incontournable et amplifié par les effets attendus du changement climatique, de ce mode d'approvisionnement pour pallier les déficits hydriques. L'utilisation stratégique de cet instrument pour remodeler l'allocation sectorielle de l'eau pourrait être une mesure holistique d'adaptation à la rareté, alternative aux tentatives d'intensification de l'irrigation des cultures.

Cette étude de quantification présente un état des lieux des quantités d'eau virtuelle dans la wilaya de M'Sila, pour un certain nombre de produits sélectionnés, dont on connaît le type de culture et la superficie occupée.

Dans notre travail et dans le but de pouvoir confronter la relation entre les besoins et les ressources, il est intéressant d'évaluer l'offre et la disponibilité en eau de la wilaya de M'Sila, ce qui représente une première étape. En deuxième étape nous avons essayé d'approcher la demande par la détermination des besoins en eau.

Les 120500 ha de surfaces cultivées au niveau de la wilaya de M'Sila conduites dans de bonnes conditions hydriques consomment pas moins de 863,9 mm par an, soit 1042 Hm<sup>3</sup> d'eau virtuelle pour toute la wilaya.

Cette demande en eau virtuelle jugée importante pour la wilaya (1042 Hm<sup>3</sup>) est nettement supérieure à la disponibilité en eau estimée à 461 Hm<sup>3</sup> et très nettement supérieure que les 80 Hm<sup>3</sup> alloués à l'irrigation, où la demande en eau représente 226%, soit 2 fois plus que les potentialités connues et 1301% soit 13 fois plus que la quantité d'eau destinée à l'irrigation

On a constaté que l'apport d'eau de pluie varie entre année humide et année sèche de 231,4 Hm<sup>3</sup> à 39,8 Hm<sup>3</sup> soit une différence de 192,9 Hm<sup>3</sup>, ce qui représente 20% des besoins en eau virtuelle total (1042 Hm<sup>3</sup>). Cette différence de précipitation fait augmenter les besoins en eau virtuelle bleue de 810,1 Hm<sup>3</sup> en année humide à près de 1001,9 Hm<sup>3</sup> en année sèche.

Donc en année sèche l'eau virtuelle bleue ou les besoins en eau d'irrigation constituent 96% des besoins en eau virtuelle totale.

La variabilité de la demande en eau virtuelle des produits entre année normale, sèche et humide s'explique par de multiples facteurs, principalement climatiques (Précipitations).

Il convient également de souligner l'intérêt de distinguer dans les échanges d'eau virtuelle, l'eau verte et l'eau bleue dont les implications financières et économiques diffèrent, bien qu'elles soient physiquement dépendantes l'une de l'autre. La mobilisation du concept d'eau virtuelle renvoie ainsi au débat sur la répartition entre agriculture pluviale et agriculture irriguée.

Pour cela, il s'agira pour nous d'essayer toujours de diminuer au maximum la dépendance en eau bleue par une meilleure gestion de nos cultures pluviales, par un respect rigoureux des différentes opérations de l'itinéraire techniques de chaque culture qui permet de tirer profit des précipitations (eau verte) sans grands investissements et de réserver le peu d'eau bleue dont nous disposons aux cultures irriguées intégralement ou en complément en essayant de valoriser au mieux le mètre cube d'irrigation.

En ce qui concerne la plante, par la connaissance de la répartition des besoins en eau de la culture et l'efficacité d'irrigation, il est possible de déterminer pour la région l'importance du choix d'une date de semis. Ce choix permet à la plante, de bénéficier le plus possible des pluies efficaces et de minimiser au maximum, la quantité d'eau à fournir au sol par irrigation. Une bonne production et un meilleur rendement est donc en relation étroite avec les ressources hydriques et la quantité d'eau disponible dans la région.

En conclusion, le concept d'eau virtuelle fournit des éléments de compréhension des interactions entre politiques sectorielles et gestion effective de l'eau. Il permet de mettre en lumière des phénomènes et de donner des ordres de grandeurs. Enfin, il met en évidence des liens entre les besoins et les préférences alimentaires d'un côté et les politiques agricoles dans les régions produisant des surplus. L'échelle de ces éléments n'est pas, le plus souvent, celle du bassin versant tout en influant largement sur la façon dont l'eau y est utilisée. L'eau virtuelle permet de réouvrir le débat sur le rôle de cette échelle, unité territoriale de ressource

superficielle, en tant qu'unité plus pertinente pour analyser et traiter de toutes les questions de gestion et de répartition de l'eau.

## **Références bibliographiques**

1. Agoumi A., Senoussi S., Yacoubi M., Fakhredine A., Sayouti E.H., Mokssit A., Chikri N. 1999. Changements climatiques et ressources en eau, *Hydroécologie appliquée*, 12(11), pp. 163-182.
2. Allan J.A., 1996. The political economy of water: reasons for optimism but long term caution, In : *Water, Peace and the Middle East : Negotiating resources in the Jordan basin*, Allan J.A. (ed.), Tauris Academic Studies, London
3. Allan J. A., 1993. Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible. In *Priorities for water resources allocation and management*. ODA:13-26. London, United Kingdom.
4. Allan J. A., 2001. *The Middle East water question : Hydropolitics and the global economy*. I.B. Tauris, London.
5. Allan J. A., 2003. *IWRM/IWRAM : a new sanctioned discourse? Occasional Paper 50. SOAS Water Issues. Study Group School of Oriental and African Studies, University of London (UK)*.
6. Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M., 1998. *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements*, FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome.
7. Ammar Boudjellal A. et Bammoun R., 2006. Détermination des besoins en eau des cultures à l'aide de logiciel Cropwat 4.3 dans la wilaya de Tipaza. *Mém. ding. INA, EL HARRACH (Alger)*.
8. Beaulieu A., 2010. *Ubifrance et les Missions Economiques, fiche pays : l'Algérie*. ME-Ubifrance, Algérie. 10 p
9. Benblidia M., Margat J., Vallée D., 1997. *L'eau en région méditerranéenne, Plan Bleu*, Sophia Antipolis
10. Bindi M., Moriondo M., 2005, Impact of a 2°C global temperature rise on the Mediterranean region: Agriculture analysis assessment, In : C. Giannakopoulos, M. Bindi, M. Moriondo, P. Le Sager, & T. Tin, *Climate change impacts in the Mediterranean resulting from a 2°C global temperature rise*, WWF Report, pp. 54-66,
11. Boukhari S., Djebbar Y., Abida H., 2008. Prix des services de l'eau en Algérie, un outil de gestion durable, 4<sup>ème</sup> conférence internationale sur Les Ressources en Eau dans le Bassin Méditerranéen, l'hôtel Aurassi-Alger 22-23 Mars 2008.
12. Chapagain A.K., Hoekstra, A.Y., 2004. *Water footprints of nations, Value of Water Research Report Series No.16*, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands
13. Conseil Mondial de l'Eau, 2004. *Conference synthesis: virtual water trade, conscious choices*.
14. De Fraiture C., Cai X., Amarasinghe U., Rosegrant M., Molden D. 2004. *Does International Cereal Trade Save Water ? The impact of virtual water trade on global water use*. IWMI, Research report 4, 2004

15. De Villiers M., 2000. L'eau, Montréal, Leméac, 437 p.
16. Doorenbos J., Kassam A.H., 1987. Réponse des rendements à l'eau, Bulletin FAO d'irrigation et de drainage 33, Rome.
17. Doorenbos J., Pruitt W. O., 1975. Les besoins en eau des cultures, Bulletin FAO d'irrigation et de drainage 24, Rome.
18. DSA de M'Sila, 2010. Monographie de la wilaya de M'Sila.
19. DSA de M'Sila, 2010. Rapport du statistiques agricoles de la wilaya de M'Sila.
20. Earle A., 2001. The role of water in food security in Southern Africa. Occasional Paper 33. SOAS Water Issues, Study Group. School of Oriental and African Studies, University of London (UK).
21. Fernandez S., 2007. Eau virtuelle et sécurité alimentaire, ch10 du Traité d'irrigation 2ème édition, Lavoisier.
22. Hakimian H., 2003. Water Scarcity and Food Imports: An Empirical Investigation of the "Virtual Water" Hypothesis in the MENA Region. Occasional paper. SOAS Water Issues. Study Group, School of Oriental and African Studies, University of London (UK).
23. Hervieu B., 2006. L'agriculture est un secteur stratégique en Méditerranée, Les Notes d'Analyse du CIHEAM, 18, 8 pp.
24. Hoekstra A.Y., Hung P.Q., 2005. Globalisation of water resources : international water flows in relation to crop trade, Global Environmental Change, 15, pp. 45-56.  
<http://www.up.ac.za/academic/libarts/polsci/awiru>
25. Hulme M. Wigley T.M.L, Barrow E.M., Raper S.C.B., Centella A., Smith S., Chipanshi A.C., 2000. Using a Climate Scenario Generator for Vulnerability and Adaptation Assessments: MAGICC and SCENGEN Version 2.4 Workbook, Climatic, Research Unit, UEA, Norwich
26. Kadiri M. A., 2006. Détermination des besoins en eau d'irrigation en vue d'élaboration d'un calendrier (des irrigations) à l'aide du logiciel Cropwat : cas de la wilaya de M'Sila. Mém. ding. INA, EL HARRACH (Alger).
27. Katz R.W., Brown B.J., 1992. Extreme events in a changing climate, Climatic Change, 21, pp. 289-302
28. Kettab A., 2001. Les ressources en eau en Algérie : stratégies, enjeux et vision. In Elsevier Science Desalination. Volume 136, Issues 1-3, 1 May 2001, Alger, Algérie. p. 25-33
29. Ladghem Chikouche F., 2009. Préventions du risque mouvement de terrain par l'utilisation des paramètres géotechniques. Mémoire de magister, uni. de M'Sila.

30. Lasserre F., Descroix L., 2002. Eaux et territoires : Tensions, coopérations et géopolitique de l'eau, Sainte-Foy (Québec), Presses de l'Université du Québec, p.17-72.
31. Le Houérou H.N., 1992. Vegetation and land-use in the Mediterranean basin by the year 2050 : A prospective study, In: Jeftic L., Milliman J.D, Sestini G. (eds), Climatic Change and the Mediterranean, Vol 1, Unep , pp. 175-232
32. Messahel M., Benhafid M. S., 2005. Aménagements hydro agricoles: situation actuelle et perspectives de développement en Algérie, Options méditerranéennes, Séries B, n°52. p 83-95
33. Margat J., Vallée D., 1999. Vision méditerranéenne sur l'eau, la population et l'environnement au XXIème siècle, Plan Bleu
34. Marinus G.B., Rob A.L.k., Richard G., Allen D.J.M., 2009. Water Requirements for Irrigation and the Environment. Springer, Dordrecht. 173 p.
35. Mebarki A., 2009. Ressources en eau et aménagement en Algérie. Les bassins hydrographiques de l'Est. OPU, Alger, 389 p.
36. Mekonnen M.M., Hoekstra, A.Y., 2010. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products, Value of Water Research Report Series No. 47, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
37. Merrett S., 2003. Virtual water and Occam's razor – a discussion. Water International 28(1):103–105. Occasional paper N°62. SOAS Water Issues Study Group, University of London.
38. Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement. Algérie, 2001, Elaboration de la stratégie et du plan d'action national des changements climatiques : communication nationale initiale [soumise à la CCNUCC]. Mars, 155 p. Version électronique disponible sur : <http://unfccc.int/resource/docs/natc/algnc1.pdf>
39. Oki T., Kanae S., 2004. Virtual water trade and world water resources, Water, Science and Technology, Vol. 49, n° 7, p. 203-209.
40. Ollier CH., Poirée M., 1983. Irrigation : les réseaux d'irrigation théorique, technique et économie des arrosages, (6ème édition), Eyrolles, Paris.
41. Oukabli A., Mamouni A., 2005. Transfert de technologie en agriculture. Bulletin mensuel d'information, N° 126, mars, Maroc. Version électronique disponible sur : [www.vulgarisation.net/bull126.htm](http://www.vulgarisation.net/bull126.htm)
42. Pielke J.R.A., 1998. Rethinking the role of adaptation in climate policy, Global Environmental Change, 8(2), pp. 159-170
43. Pielke J.R.A., 2005. Midefining « climate change » : Consequences for science and action, Global Environmental Change, 18(2), pp. 548-561

44. Projet de FEM/PNUD RAB/94/G31, 2002. 6èmes Journées du Comité Consultatif Technique Maghrébin sur les Changements Climatiques : Vulnérabilité et Adaptation des Pays du Maghreb aux Changements Climatiques Alger, 6–7 Mai. [www.ccmaghreb.com](http://www.ccmaghreb.com)
45. Rapport d'investissement par pays, Congrès international, 2008. L'eau pour l'agriculture et l'énergie en Afrique: les défis du changement climatique. DSASI Ministère de l'agriculture et du développement rural. Alger. Sirte, Jamahiriya arabe libyenne, 15-17 décembre 2008. 13p
46. Rapport sur la situation du secteur agricole 2006. DSASI Ministère de l'agriculture et du développement rural, Alger, Algérie.
47. Remini B., 2007. La problématique de l'eau en Algérie, OPU, Alger, 162 p.
48. Remini B., 2010. LA PROBLEMATIQUE DE L'EAU EN ALGERIE DU NORD. *Larhys Journal*. N° 08, Juin 2010, pp. 27-46
49. Renault D., 2002. La valeur de l'eau virtuelle dans la gestion de l'alimentation humaine. Congrès SHF "Eau et économie", Paris, Septembre 2002.
50. Renault D., 2003. Value of virtual water in food: Principles and virtues, in Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Value of Water Research Report Series No. 12. UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands.
51. Rezzag N., 2002. Schéma directeur agricole de la wilaya de M'Sila. 67 p.
52. Rosensweig C., Tubiello F.N., 1997, Impacts of global climate change on Mediterranean : current methodologies and future directions, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Climate Change*, 1, pp. 219- 232.
53. Rouissat B., 2009. La gestion des ressources en eau en Algérie: Situation, défis et apport de l'approche systémique. 15 p
54. Schéma Directeur des Grandes Infrastructures Hydrauliques 2006-2025. Ministère des ressources en eau, Alger, Algérie, 2007.
55. Senouci A., 2002. Changement climatique et ressources en eau dans le bassin versant de l'Ouergha, Thèse de doctorat, Université Hassan II, Casablanca
56. Skiredj A., Elfadl A., 2002. Transfert de technologie en agriculture. Bulletin mensuel d'information, N° 98, novembre, Maroc. Version électronique disponible sur : [www.vulgarisation.net/bul98.htm](http://www.vulgarisation.net/bul98.htm)
57. Tiercelin T. 2007. Traité de l'irrigation, Lavoisier, Paris.1266 p.
58. Turton A.R., 2000. A strategic decision-makers guide to virtual water, Papier présenté à l'atelier de travail sur l'eau virtuelle en Afrique du Sud, à Maseru. [http:// www.up.ac.za/academic/libarts/polsci/awiru](http://www.up.ac.za/academic/libarts/polsci/awiru)

*Références bibliographiques*

59. Tuzet A., Perrier A., 1998. Les besoins en eau des cultures, *Traité d'irrigation*, Lavoisier, Paris, p 148 - 249.
60. Yang H., Reichert P., Abbaspour K. C., Zehnder A. J. B., 2003. A water resources threshold and its implications for food security. *Environ. Sci. Technol.*, 37, 3048–3054.
61. Yang H., Zehnder A., 2002. Water scarcity and food import: A case study for southern Mediterranean countries, *World Development*, 30(8), pp. 1413-1430.

## **Annexes**

## ANNEXE 1

Annexe 1a : Température max en °C

Année	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
1988	21,4	20,2	29,5	28,9	37,1	39,1	43,8	43,1	41,6	33	26,4	19,7
1989	16,9	23,5	26,6	27,2	37,9	36,8	41,6	42,5	39,4	28	25,8	22,1
1990	16,6	25,4	25,8	25,9	34,7	40	41,3	39,8	38,5	32,3	24,2	17,2
1991	18,5	19,5	26,1	26,3	33	39,9	44,4	41,8	37,4	31,8	22,3	21
1992	14,6	19,2	22,4	30	36,7	36,6	39,1	40,3	36,6	32,6	22,1	20,5
1993	16,5	17,7	25,6	29	37,8	43,7	45,3	42,4	37,1	34,6	24,6	18,6
1994	18,8	23,6	27	29	43,6	43	43,6	43,4	39	28	24,7	19,9
1995	19	23,6	26	26,7	35,8	40,1	41,8	43,1	37,3	30,7	27,5	18,8
1996	20,3	17,7	28,2	27,9	35,6	38,8	43,2	42,2	36,5	30,5	26	23,3
1997	19	24,4	25,5	29,3	37,5	43,7	45,2	43,5	38,5	32,4	22,5	17,2
1998	18,7	21,8	26,5	31,4	32	42,5	44,2	42,2	42,2	29,6	26,6	20
1999	18,3	22,7	25,5	34,1	41,7	43,3	43,3	44,7	37,4	31,8	25,7	19,6
2000	20,2	21,7	24,9	35,7	36,4	42,9	43,9	42	41,2	30,2	25,8	20,3
2001	18,6	21,4	33,8	31,6	38,2	41	43	41,7	39,2	34	26,1	20,7
2002	21,2	22,8	28,5	33,8	39,4	41,3	45,6	41,7	36,2	34	26,1	18,5
2003	20	17,8	24,8	36,8	35,7	42,6	45,1	42,8	40,4	39,3	28,6	18,4
2004	18,8	24,7	25,6	26,8	30	41,5	43,1	43,6	39,2	34,5	24,7	21,5
2005	20,2	21,4	32,8	33	37,2	41,9	46,2	44	36,9	32,4	28,3	18,6
2006	18,4	17,8	27,2	35,1	37,8	49,9	42,3	44	37,5	28,4	25,6	21,3
2007	19,7	24,3	25,4	29,6	34,5	45,5	45,4	43,5	36,9	34,6	26,9	20,9
2008	20,8	24,9	28,1	32,4	37	42	46,5	43,1	39,8	30	22,2	16,4
Moy.	18,9	21,7	26,9	30,5	36,6	41,7	43,7	42,6	38,5	32,0	25,4	19,7

Annexe 1b : Température min en °C

année	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
1988	-1	-0,2	-4,1	6,1	8,3	13,7	20,6	19,7	8,2	8	1,6	-4,5
1989	-1,5	-3,7	2,8	2,6	6,1	12,6	19,4	18,7	10,8	11,4	3,4	1,9
1990	1,8	-0,2	2,8	4,5	6,5	16,8	16,3	17,6	14,9	8,3	2,2	-2,6
1991	-4,5	-2,9	-0,5	2,1	2,8	13,3	18,6	18,8	14,6	4,4	-0,1	-5,4
1992	-1,4	-1,4	2	0,6	5,1	11,2	18,3	20,5	15,8	5,4	4,5	-2,3
1993	-2,9	-0,1	-1,2	3	6,4	14,9	17,1	20	12,7	6,4	1,8	0
1994	-0,4	-3	4,4	1	6,4	14,8	21,4	23,6	11,6	9,8	2,9	-2,1
1995	-2,6	1,8	-1	4,7	10,6	13,5	22,2	16,5	9,7	9,3	-0,7	2,4
1996	0,5	-0,7	-3	4,1	6,2	11,4	17,4	17	10,5	4,7	1	-2,1
1997	0,4	0,2	1,9	3,7	9,5	14,9	17,4	17,1	10,5	6	2,1	1,6
1998	-0,9	-0,2	0,1	2,2	7,2	15,1	20,6	18,8	10	5	-0,4	-3,4
1999	-0,7	-5,1	1,1	2,3	10,5	16,7	20,5	22,9	15,4	12,6	-0,3	-2,2
2000	-8,2	-0,9	4,7	0,1	13,6	13,1	20,9	20	11,2	6,8	2	-0,1
2001	-0,8	-1,4	1,2	3,6	6,4	18,4	22,2	22,3	12,8	13	0,3	-4,7
2002	-5,4	-0,4	2,3	2,8	7,2	18,1	17,4	18,3	14,4	7,2	1,9	2,7

## ANNEXE 1

2003	-2,8	-0,6	3,2	-0,6	10,9	17,4	22,7	20,8	10	1,7	-1,4	-1,6
2004	-2	-2,5	2,2	4,2	6	12,3	18,9	19,6	11	8,5	-0,7	-2,9
2005	-7,8	-6,8	-3,4	2,8	14	16,5	20,6	17,4	12,1	8,4	-3,7	-2,2
2006	-3,8	-0,2	1,4	4,7	13	7,7	21,3	17,6	11,5	10,8	4,8	-0,9
2007	-0,3	-0,1	-0,6	4,2	9,1	12,1	17,8	19,3	14,1	6	-2,5	-1,9
2008	-2	-1,5	-0,9	4	8,4	13,2	18,7	20,5	12,2	8,2	2	-0,8
Moy.	-2,20	-1,42	0,73	2,99	8,30	14,18	19,54	19,38	12,10	7,71	0,99	-1,48

## Annexe 1c : Température moyenne en °C

année	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
1988	10,2	10	12,7	17,5	22,7	26,4	32,2	31,4	24,9	20,5	14	7,6
1989	7,7	9,9	14,7	14,9	22	24,7	30,5	30,6	25,1	19,7	14,6	12
1990	9,2	12,6	14,3	15,2	20,6	28,4	28,8	28,7	26,7	20,3	13,2	7,3
1991	7	8,3	12,8	14,2	17,9	26,6	31,5	30,3	26	18,1	11,1	7,8
1992	6,6	8,9	12,2	15,3	20,9	23,9	28,7	30,4	26,2	19	13,3	9,1
1993	6,8	8,8	12,2	16	22,1	29,3	31,2	31,2	24,9	20,5	13,2	9,3
1994	9,2	10,3	15,7	15	25	28,9	32,5	33,5	25,3	18,9	13,8	8,9
1995	8,2	12,7	12,5	15,7	23,2	26,8	32	29,8	23,5	20	13,4	10,6
1996	10,4	8,5	12,6	16	20,9	25,1	30,3	29,6	23,5	17,6	13,5	10,6
1997	9,7	12,3	13,7	16,5	23,5	29,3	31,3	30,3	24,5	19,2	12,3	9,4
1998	8,9	10,8	13,3	16,8	19,6	28,8	32,4	30,5	26,1	17,3	13,1	8,3
1999	8,8	8,8	13,3	18,2	26,1	30	31,9	33,8	26,4	22,2	12,7	8,7
2000	6	10,4	14,8	17,9	25	28	32,4	31	26,2	18,5	13,9	10,1
2001	8,9	10	17,5	17,6	22,3	29,7	32,6	32	26	23,5	13,2	8
2002	7,9	11,2	15,4	18,3	23,3	29,7	31,5	30	25,3	20,6	14	10,6
2003	8,6	8,6	14	18,1	23,3	30	33,9	31,8	25,2	20,5	13,6	8,4
2004	8,4	11,1	13,9	15,5	18	26,9	31	31,6	25,1	21,5	12	9,3
2005	6,2	7,3	14,7	17,9	25,6	29,2	33,4	30,7	24,5	20,4	12,3	8,2
2006	7,3	8,8	14,3	19,9	25,4	28,8	31,8	30,8	24,5	19,6	15,2	10,2
2007	9,7	12,1	12,4	16,9	21,8	28,8	31,6	31,4	25,5	20,3	12,2	9,5
2008	9,4	11,7	13,6	18,2	22,7	27,6	32,6	31,8	26	19,1	12,1	7,8
Moy.	8,34	10,15	13,84	16,74	22,47	27,95	31,62	31,01	25,30	19,87	13,18	9,13

## Annexe 1d : Vitesse du vent moyenne, mensuelle en m/s

année	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
1996	4,4	4,5	2,5	3,9	2,8	2,5	2,2	2,7	1,7	3,7	3	4,9
1997	4,4	3,5	3,5	4,5	5	6,3	6,1	5,4	3,7	3,8	4,3	4,9
1998	3,9	3,2	4,5	5,9	5,1	4,3	4,8	6,1	4,5	4,1	3,7	3,3
1999	4,3	4,8	4,6	5,4	4,7	4,5	4,6	3,9	4,5	3,7	4,2	4,3
2000	2,6	2,3	4,3	7	5,1	4,9	5,4	3,4	3,4	4,6	4,4	3,9
2001	5,2	4,7	5	5,1	5,5	5,5	5,1	4,1	4,3	3	3,4	3,4
2002	2,7	4,2	5	5,7	6,1	4,7	5,2	4,3	4,5	4,3	5,3	4,7

## ANNEXE 1

2003	4,3	4,6	4,2	5,8	3,3	4	4,9	4,1	4,5	4,6	4	5,1
2004	4,4	3,9	5,3	5,1	5,5	3,7	4,2	3,7	3,6	3,2	3,6	4,2
2005	4	4,1	4	5,8	5,1	4,6	5,2	4,7	3,6	3	3,6	3,2
2006	4	4	5	4,9	3,7	5,5	3	4	3,3	3,6	3,9	2,7
2007	2,7	4,9	5	4,5	4,9	5,3	4,2	3,9	3,2	4,1	3,8	4,6
2008	2,9	3,5	5,3	5,6	5,2	4,5	3,7	3,2	3,6	2,1	3	2,7
Moy. m/s	3,83	4,02	4,48	5,32	4,77	4,64	4,51	4,12	3,72	3,68	3,86	3,99

## Annexe 1e : Durée des insolation en heures

année	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
1988	153	222	256	262	288	282	348	336	301	215	168	167
1989	172	192	271	221	306	293	354	262	222	252	186	157
1990	135	275	231	255	268	300	346	344	248	262	183	149
1991	202	184	206	275	332	342	349	347	293	205	213	165
1992	168	244	204	256	292	323	356	361	290	256	212	157
1993	239	173	250	284	307	317	333	302	254	221	159	220
1994	183	227	280	306	333	334	353	315	243	249	243	248
1995	220	257	260	308	340	301	377	323	275	274	229	182
1996	166	177	237	254	331	321	365	317	281	280	226	169
1997	154	261	307	252	305	335	337	323	257	250	190	185
1998	211	232	293	279	379	345	392	337	252	277	215	198
1999	172	211	255	280	293	269	344	270	283	269	190	130
2000	223	278	286	291	300	352	364	347	258	239	208	189
2001	170	238	262	296	319	359	312	296	265	269	175	157
2002	217	253	273	261	322	321	299	223	276	277	172	182
2003	154	180	261	274	321	335	286	287	238	196	171	162
2004	213	222	249	262	254	326	356	304	267	217	208	138
2005	230	191	223	222	341	311	336	308	252	263	183	157
moy.	187,89	223,17	255,78	268,78	312,83	320,33	344,83	311,22	264,17	248,39	196,17	172,89
Inso.h./jour	6,06	7,97	8,25	8,96	10,09	10,68	11,12	10,04	8,81	8,01	6,54	5,58

## Annexe 1f : Pluviométrie en mm

année	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	Sep.	Oct.	Nov.	déc.
1984	2	1	12	9	13	5	0	8	0	35	19	2
1985	50	28	23	6	20	31	0	0	19	41	30	21
1986	19	19	49	7	8	20	0	2	34	49	12	23
1987	27	30	0	11	23	9	9	5	0	12	68	47
1988	11	2	18	34	34	23	0	0	24	18	27	22
1989	1	8	1	28	14	41	0	26	33	7	20	16
1990	27	0	19	36	100	14	12	0	14	1	20	32
1991	3	31	62	10	11	0	2	11	19	77	15	17
1992	24	11	13	4	44	9	25	0	1	3	35	14
1993	0	16	9	5	30	0	0	0	18	0	41	20

## ANNEXE 1

1994	14	26	15	6	0	0	0	14	45	44	9	4
1995	11	7	40	7	0	3	0	1	16	7	11	35
1996	62	26	32	23	46	6	7	3	3	0	6	24
1997	30	7	5	40	36	8	1	33	61	33	50	13
1998	10	18	10	46	60	8	0	2	39	6	9	5
1999	52	6	16	12	1	21	0	12	31	47	26	58
2000	0	0	5	3	25	2	2	2	54	15	7	31
2001	25	2	5	25	0	0	0	5	45	17	15	18
2002	11	6	1	5	5	0	2	16	7	13	26	13
2003	73	11	2	17	29	28	1	3	47	83	29	25
2004	5	5	31	36	75	10	2	29	11	8	11	29
2005	1	18	6	6	0	7	3	3	31	16	28	6
2006	26	50	1	14	26	3	29	5	20	0	29	22
2007	5	12	17	80	26	6	0	4	23	10	5	0
2008	5	5	6	0	16	6	2	3	35	57	10	26
Moy.	19,76	13,8	15,92	18,8	25,68	10,4	3,88	7,48	25,2	23,96	22,32	20,92

## Annexe 1g : Humidité en %

année	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
1995	74	67	66	56	47	50	39	40	60	64	68	79
1996	81	77	74	68	60	53	46	43	54	59	65	72
1997	71	63	58	60	48	44	40	48	61	64	74	75
1998	76	69	53	56	62	47	41	47	58	62	64	69
1999	76	58	62	54	52	49	49	42	60	65	73	78
2000	75	63	56	54	53	45	39	39	50	65	68	70
2001	74	65	51	47	45	32	31	37	55	54	67	70
2002	69	60	53	49	39	33	38	46	52	53	69	70
2003	79	73	62	59	52	42	35	41	55	70	78	84
2004	85	67	69	67	65	44	36	40	48	52	76	83
Moy.	76,00	66,20	60,40	57,00	52,30	43,90	39,40	42,30	55,30	60,80	70,20	75,00

## ANNEXE 2

Annexe 2a : Besoins en eau des cultures en année humide  
dans la wilaya de M'Sila

Cultures	Etc	Eau verte	Eau bleue	Sup.	Etc	Eau verte	Eau bleue
	(mm)			(ha)	(Hm <sup>3</sup> )		
Céréales f.	748,4	199,9	550,4	22000	164,648	43,978	121,088
Trèfle et luzerne	1512,2	328,2	1184	250	3,7805	0,8205	2,96
Blé	1038	230,6	808,9	20000	207,6	46,12	161,78
Orge	748,4	199,9	550,4	50000	374,2	99,95	275,2
Arbres fruitiers à noyaux	1167,6	144,3	1024,3	9300	108,5868	13,4199	95,2599
Arbres fruitiers à pépins	1310,7	192,7	1119,1	2130	27,91791	4,10451	23,83683
Autres arbres	1181,6	144,3	1038,3	1320	15,59712	1,90476	13,70556
Oliviers	1212	238,4	970,7	4500	54,54	10,728	43,6815
Pomme de terre	963,2	118,4	844,1	800	7,7056	0,9472	6,7528
Carottes	662,4	104,1	556,6	3400	22,5216	3,5394	18,9244
Tomates	726,2	145,8	579,9	500	3,631	0,729	2,8995
Ail et oignon	1000,1	137,8	862,2	1900	19,0019	2,6182	16,3818
Piment poivron	922,4	118,4	803,3	1000	9,224	1,184	8,033
Melons pastèques	1002,8	100,9	901,3	300	3,0084	0,3027	2,7039
Concombre et courgette	758,4	70,3	687,4	700	5,3088	0,4921	4,8118
Aubergines	1141,7	100,2	1037,7	100	1,1417	0,1002	1,0377
Choux	582,2	177,2	406,3	300	1,7466	0,5316	1,2189
Navets	1071,8	141,3	930,4	500	5,359	0,7065	4,652
Fève et haricot	243,4	81,9	163,4	600	1,4604	0,4914	0,9804
Laitue	544,5	81,5	462,4	900	4,9005	0,7335	4,1616
				120500	1041,87983	233,4	810,1

## ANNEXE 2

Annexe 2b : Besoins en eau des cultures en année normale  
dans la wilaya de M'Sila

Cultures	Etc	Eau verte	Eau bleue		Etc	Eau verte	Eau bleue
		(mm)		(ha)		(Hm <sup>3</sup> )	
Céréales f.	748,4	108,1	639,5	22000	164,648	23,782	140,69
Trèfle et luzerne	1512,2	173,9	1338,3	250	3,7805	0,43475	3,34575
Blé	1038	123,3	914,3	20000	207,6	24,66	182,86
Orge	748,4	108,1	639,5	50000	374,2	54,05	319,75
Arbres fruitiers à noyaux	1167,6	71,1	1097,1	9300	108,5868	6,6123	102,0303
Arbres fruitiers à pépins	1310,7	99,3	1212	2130	27,91791	2,11509	25,8156
Autres arbres	1181,6	71,1	1111,1	1320	15,59712	0,93852	14,66652
Oliviers	1212	123,9	1086,5	4500	54,54	5,5755	48,8925
Pomme de terre	963,2	59,5	903,5	800	7,7056	0,476	7,228
Carottes	662,4	53,1	608,5	3400	22,5216	1,8054	20,689
Tomates	726,2	74,3	651,6	500	3,631	0,3715	3,258
Ail et oignon	1000,1	70,2	929,9	1900	19,0019	1,3338	17,6681
Piment poivron	922,4	59,5	862,6	1000	9,224	0,595	8,626
Melons pastèques	1002,8	49,1	953,4	300	3,0084	0,1473	2,8602
Concombre et courgette	758,4	33,4	724,8	700	5,3088	0,2338	5,0736
Aubergines	1141,7	50,2	1089,1	100	1,1417	0,0502	1,0891
Choux	582,2	99,7	483,2	300	1,7466	0,2991	1,4496
Navets	1071,8	71,5	1000,3	500	5,359	0,3575	5,0015
Fève et haricot	243,4	42,5	201,1	600	1,4604	0,255	1,2066
Laitue	544,5	41,7	502,5	900	4,9005	0,3753	4,5225
				120500	1041,87983	124,5	916,7

## ANNEXE 2

Annexe 2c : Besoins en eau des cultures en année sèche  
dans la wilaya de M'Sila

Cultures	Etc	Eau verte	Eau bleue		Etc	Eau verte	Eau bleue
		(mm)		(ha)	(Hm <sup>3</sup> )		
Céréales f.	748,4	36,5	711,7	22000	164,648	8,03	156,574
Trèfle et luzerne	1512,2	55,4	1456,8	250	3,7805	0,1385	3,642
Blé	1038	39,7	998,2	20000	207,6	7,94	199,64
Orge	748,4	36,5	711,7	50000	374,2	18,25	355,85
Arbres fruitiers à noyaux	1167,6	15,9	1152	9300	108,5868	1,4787	107,136
Arbres fruitiers à pépins	1310,7	28,1	1282,9	2130	27,91791	0,59853	27,32577
Autres arbres	1181,6	15,9	1166	1320	15,59712	0,20988	15,3912
Oliviers	1212	36,2	1175,2	4500	54,54	1,629	52,884
Pomme de terre	963,2	13,9	949,4	800	7,7056	0,1112	7,5952
Carottes	662,4	12,8	649,4	3400	22,5216	0,4352	22,0796
Tomates	726,2	18	708,1	500	3,631	0,09	3,5405
Ail et oignon	1000,1	17,2	982,9	1900	19,0019	0,3268	18,6751
Piment poivron	922,4	13,9	908,5	1000	9,224	0,139	9,085
Melons pastèques	1002,8	10,9	991,9	300	3,0084	0,0327	2,9757
Concombre et courgette	758,4	6,9	751,5	700	5,3088	0,0483	5,2605
Aubergines	1141,7	13,2	1127,2	100	1,1417	0,0132	1,1272
Choux	582,2	39,2	543,2	300	1,7466	0,1176	1,6296
Navets	1071,8	17,3	1054,4	500	5,359	0,0865	5,272
Fève et haricot	243,4	11,5	232,1	600	1,4604	0,069	1,3926
Laitue	544,5	10,2	534,2	900	4,9005	0,0918	4,8078
				120500	1041,87983	39,8	1001,9

## ANNEXE 3

**Annexe 3a : Besoins mensuels en eau d'irrigation pour les principales cultures  
conduites dans la wilaya (année humide)**

	Jan	Fév.	Mar	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
Déficit Précipitations												
1. Orge	33,5	98,1	175,8	186,9	45,5	0	0	0	0	0	1	4
2. Luzerne	43,6	75,2	36,6	50,5	64,4	104,2	127	224,6	196,2	132,4	80,4	49,1
3. Arbre à noyaux	0	0	52,4	96,7	167,4	226,3	259,6	197,1	24,7	0	0	0
4. Ail et oignon	0	49	134,9	182,3	232,8	263,3	0	0	0	0	0	0
5. Aubergine	0	0	0	0	64,6	189,5	361	324,8	97,8	0	0	0
6. autre arbre	0	0	60,3	102,5	167,8	226,3	259,6	197,1	24,7	0	0	0
7. Blé	9,9	50,7	123	196	260,7	166,1	0	0	0	0	1	1,4
8. Carotte	0	0	88,2	169,7	231,7	67	0	0	0	0	0	0
9. Choux	50,6	31,4	0	0	0	0	0	0	118,1	83,1	71,2	55,7
10. Courgette	0	0	0	0	118,6	222,1	289,5	57,2	0	0	0	0
11. Haricot vert	12,8	75,9	73,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0,9
12. Laitue	0	0	0	116	217,5	128,9	0	0	0	0	0	0
13. Melon	0	0	0	52,6	169,1	302,7	316,6	60,3	0	0	0	0
14. Navet	0	25,6	101,3	182,3	234,3	286,9	100,1	0	0	0	0	0
15. Olivier	0	6,7	68,1	91,1	117	165,2	192,7	164,9	93,1	53,6	18,2	0
16. Poivron	0	0	68,2	129,9	232,1	296,5	76,5	0	0	0	0	0
17. P. de terre	0	0	55	164,3	261,5	298	65,4	0	0	0	0	0
18. Arbres à pépin	0	0	0	70,8	116,7	216,2	259,9	224,8	140	81,3	9,4	0
19. Tomate	10,8	55,9	151,4	201,3	160,5	0	0	0	0	0	0	0

## ANNEXE 3

**Annexe 3b : Besoins mensuels en eau d'irrigation pour les principales cultures  
conduites dans la wilaya (année sèche)**

	Jan	Fév.	Mar	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Déficit Précipitations												
1. Orge	62,8	116,8	199,2	213,5	70,4	0	0	0	0	0	22	21,4
2. Luzerne	72,8	93,9	60	77,1	100	120,5	135,6	238,3	220,8	166,6	102,3	69
3. Arbre à noyaux	0	0	75,8	123,3	203	242,7	268,2	210,8	28,2	0	0	0
4. Ail et oignon	0	67,8	158,2	208,8	268,3	279,7	0	0	0	0	0	0
5. Aubergine	0	0	0	0	100,1	205,9	369,6	338,4	113,1	0	0	0
6. Autre arbre	0	0	83,7	129,1	203,3	242,7	268,2	210,8	28,2	0	0	0
7. Blé	39,2	69,5	146,4	222,6	296,3	182,5	0	0	0	0	22	19,8
8. Carotte	0	0	111,6	196,2	267,3	74,2	0	0	0	0	0	0
9. Choux	79,9	38,4	0	0	0	0	0	0	142,7	117,3	93,1	75,6
10. Courgette	0	0	0	0	154,2	238,5	298,1	60,7	0	0	0	0
11. Haricot vert	40,3	94,7	89	0	0	0	0	0	0	0	0	8,2
12. Laitue	0	0	0	142,6	253	138,6	0	0	0	0	0	0
13. Melon	0	0	0	79,1	204,6	319	325,3	63,8	0	0	0	0
14. Navet	0	44,3	124,7	208,8	269,8	303,3	103,5	0	0	0	0	0
15. Olivier	0	13	91,5	117,6	152,5	181,6	201,3	178,6	117,7	87,8	33,4	0
16. Poivron	0	0	91,6	156,5	267,6	312,9	79,9	0	0	0	0	0
17. P. de terre	0	0	78,3	190,9	297,1	314,3	68,7	0	0	0	0	0
18. Arbres à pépin	0	0	0	97,4	152,2	232,6	268,5	238,5	164,6	115,5	13,6	0
19. Tomate	40,1	74,7	174,8	227,8	190,8	0	0	0	0	0	0	0

## **Résumé**

L'eau virtuelle est un concept pertinent pour analyser les enjeux majeurs qui lient, en Algérie, les stratégies d'adaptation à la rareté croissante de l'eau aux réflexions sur les opportunités et les risques de la globalisation. La quantification des volumes d'eau virtuelle montre le caractère déjà incontournable, et amplifié par les effets attendus du changement climatique, de ce mode d'approvisionnement pour pallier les déficits hydriques. L'utilisation stratégique de cet instrument pour remodeler l'allocation sectorielle de l'eau pourrait être une mesure holistique d'adaptation à la rareté, alternative aux tentatives d'intensification de l'irrigation des cultures.

Notre étude de quantification présente un état des lieux des quantités d'eau virtuelle dans la wilaya de M'Sila, pour un certain nombre de produits sélectionnés, dont on connaît le type de culture et la superficie occupée.

La mobilisation du concept d'eau virtuelle renvoie au débat sur la répartition entre agriculture pluviale et agriculture irriguée. Pour cela, il s'agira pour nous d'essayer toujours de diminuer au maximum la dépendance en eau bleue par une meilleure gestion de nos cultures pluviales et de réserver le peu d'eau bleue dont nous disposons aux cultures irriguées intégralement ou en complément en essayant de valoriser au mieux le mètre cube d'irrigation.

En ce qui concerne la plante, par la connaissance de la répartition des besoins en eau de la culture et l'efficacité d'irrigation, il est possible de déterminer pour la région l'importance du choix d'une date de semis. Ce choix permet à la plante, de bénéficier le plus possible des pluies efficaces et de minimiser au maximum, la quantité d'eau à fournir au sol par irrigation.

Pour notre étude le concept d'eau virtuelle fournit des éléments de compréhension des interactions entre politiques sectorielles et gestion effective de l'eau. Il permet de mettre en lumière des phénomènes et de donner des ordres de grandeurs. Enfin, il met en évidence des liens entre les besoins et les préférences alimentaires d'un côté et les politiques agricoles dans les régions produisant des surplus de l'autre. L'échelle de ces éléments n'est pas, le plus souvent, celle du bassin versant tout en influant largement sur la façon dont l'eau y est utilisée.

**Mots clés :** Eau virtuelle, Logiciel Cropwat, Besoin en eau, Coefficient Cultural Kc, Ressources en eau, Changement climatique, Wilaya de M'Sila.

## **Summary**

Virtual water is a relevant concept for analyzing the major issues bind, Algeria, adaptation strategies to increasing scarcity of water reflections on the opportunities and risks of globalization. The quantification of the volumes of virtual water already shows the character unavoidable, and amplified by the expected effects of climate change, of this mode of supply to compensate for water deficits. The strategic use of this instrument to reshape the allocation water sector could be a holistic measure of adaptation to scarcity, alternative attempts to intensify irrigation cultures.

Our study provides a quantification of inventory quantities of water virtual in the province of M'Sila, for a number of products selected, which we know the type of crop and the area occupied.

The mobilization of the virtual water concept refers to the debate on the distribution between rainfed and irrigated agriculture. To do this, it will be for we always try to reduce the maximum length for blue water better management of our rainfed and to reserve the little water Blue we have to fully irrigated or further by trying to maximize the value per cubic meter of irrigation.

As for the plant, through the knowledge of the distribution of water needs of culture and irrigation efficiency, it is possible to determine the region the importance of choosing a sowing date. The choice allows the plant to benefit as much as possible and effective rainfall minimize to the maximum, the amount of water to provide the ground by irrigation.

To study the concept of virtual water provides some of understanding of interactions between sectoral policies and management effective water. It allows you to highlight phenomena and provide orders of magnitude. Finally, it highlights the links between the needs and food preferences on one side and agricultural policies in surplus producing regions of the other. The scale of these elements is not, in most cases, the watershed while impacting heavily on how water is used.

**Keywords :** Water Virtual, Software Cropwat, water requirements, Crop coefficient Kc Water Resources, Climate change, Wilaya M'Sila.

## ملخص

المياه الافتراضية هو مفهوم ذو صلة لتحليل القضايا الرئيسية التي تربط في الجزائر، استراتيجيات التكيف مع تزايد ندرة المياه وانعكاساتها على فرص ومخاطر العولمة. دراسة كميات المياه الافتراضية يظهر بالفعل تأثير هذا النمط من العرض على التضخم، بسبب الآثار المتوقعة لتغير المناخ، و التعويض عن العجز في المياه. ويمكن استخدام هذه الأداة الإستراتيجية لإعادة تشكيل التوزيع القطاعي للمياه لتكون تدبيراً شاملاً للتكيف مع الندرة، ومحاولات بديلة عن تكثيف الري للمحاصيل.

الدراسة التي قمنا بها توفر معلومة عن كميات المخزون من المياه الافتراضية في محافظة المسيلة لعدد من المنتجات المختارة، والتي نعرف نوع المحصول والمساحة المحتلة.

مفهوم المياه الافتراضية يشير إلى النقاش حول توزيع بين الزراعة المطرية والمروية. للقيام بذلك ، سيكون بالنسبة لنا دائما محاولة خفض الحد الأقصى لكمية المياه الزرقاء بإدارة أفضل للزراعة المطرية لدينا والحفاظ على الكمية القليلة من المياه الزرقاء للمساحات التي تروى بالكامل أو من خلال محاولة تعظيم قيمة المتر المكعب للري.

أما بالنسبة للنبات، من خلال معرفة توزيع الاحتياجات المائية للنبات وكفاءة الري ، انه من الممكن تحديد أهمية اختيار تاريخ البذر بالنسبة للمنطقة. الخيار يسمح للنبات الاستفادة بقدر الإمكان من الأمطار وفعالية التقليل إلى أقصى حد ، من كمية مياه الري المتوفرة.

إن دراسة مفهوم المياه الافتراضية يوفر بعض الفهم للتفاعلات بين السياسات القطاعية والإدارة الفعالة للمياه. و إنه يسمح بتسليط الضوء على هذه الظاهرة وإعطاء أوامر من حجمها. وأخيرا ، فإنه يسلط الضوء على الروابط بين الاحتياجات و التفضيلات الغذائية من جانب والسياسات الزراعية في فائض الإنتاج في مناطق أخرى من جانب آخر. حجم هذه العناصر هي ليست في معظم الحالات في تجميع المياه في حين تؤثر بشكل كبير على كيف يتم استخدام المياه .

**الكلمات الاستدلالية:** المياه الظاهري، متطلبات المياه ، معامل المحصول kc ، برنامج CROPWAT ، تغير المناخ ، الموارد المائية. ، ولاية المسيلة .