



REPUBLIQUE ALGERIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université HAMMA LAKHDAR d'El-Oued

Faculté des Sciences de la Nature Et de La vie

Département d'agronomie

Option: Production végétale

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master académique

THEME

**Optimisation des besoins en eau des cultures
par le modèle Cropwat et diagnostique des
pratiques d'irrigation actuelles au niveau de
la wilaya d'El-Oued (Algérie)**

Devant Les jury

Réalisé par :

Président:

Yamani Mebarka

Promoteur: Zaatar Abdelmalek

Chengara Kaouthar

Co-promoteur: Beggas Mohammed Sadok

Examineur:

Année Universitaire : 2022/2023

Remerciement

Nous tenons avant tout à remercier Allah le tout puissant de nous avoir donné la force et la volonté pour achever ce modeste travail.

Nous tenons à remercier particulièrement mes parents ; notre succès demeure de loin le fruit de leurs longues années de sacrifices et d'éducation.

Mes remerciements vont également à notre promoteur ZAAATAR Abdelmalek et notre co-promoteur M. BEGGAS Mohammed Sadok, qui nous ont toujours accueilli à bras ouverts et à tout moment, de nous avoir assisté le long de la réalisation du travail, qu'ils trouvent ici mes sincères gratitudees et mes profondes reconnaissances pour tous les efforts qui ont déployé dans ce sujet, ainsi que leur compréhension et de leur patience.

Je remercie également tous les enseignants qui siègent à ce Jury, pour les critiques constructives qu'ils apporteront à l'égard de notre travail

***Mr, Président de jury,*

***Mr, Examineur,*

Nous voudrions souligner la contribution scientifique de M. BENKRJID El Hadj qui nous a orienté et suivi tout au long de ce travail.

Nous Remercions aussi les personnes qui nous ont aidé durant l'acquisition des données et la préparation de ce travail et toutes les personnes qu'on a entretenu, plus particulièrement tout l'ensemble des agriculteurs qui nous ont accueilli à bras ouvert pour leurs disponibilité et patience, A.MEGUIRHI chef service au DSA d'El-Oued, et Mdm A. Ghali DRF D'El-Oued.

الاهـداء

بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله والصلاة على الحبيب المصطفى وأهله ومن وفى، أما بعد الحمد لله الذي وفقنا لتثمين هذه الخطوات في مسيرتنا الدراسية مذكرتنا هذه ثمرة الجهد والنجاح بفضلته تعالى مهداة إلى الوالدين الكريمين حفظهما الله ورعاهما وجدتي الغالية رحمها الله وإلى أستاذنا بقاص محمد الصادق والحاج بن كريد، أهدي إليهما كل الشكر والعرفان على سندهما إلينا ربنا يحفظهما وينور دربهما .

ولكل العائلة الكريمة التي ساندتني ولا تزال من الإخوة وزوجاتهم والأخوات وأزواجهم حمزة ومحمد وعبد الحكيم ورضا ونورة وصليحة ودليلة وصباح ونعيمة وإلى رفيقة المشوار التي قاسمتني لحظات المسير رعاها الله ووفقها كوثر شنقارة وعائلتها الكريمة

وإلى كل من عميد الكلية زعتر عبد المالك وقسم الفلاحة تخصص إنتاج نباتي الخاص بدفعة 2023 جامعة حماة لخضر بالوادي وإلى كل من كان لهم أثر في حياتي وإلى كل من أحبهم قلبي

كوثر شنقارة وزهرة زرزور وزهرة دويس وقطبي بيسه وشكراً للحضور

يماني مباركة

الاهـداء

بسم الله الرحمن الرحيم

وصلى الله على صاحب الشفاعة سيدنا محمد النبي الكريم وعلى آله وصحبه

الميامين ومن تبعهم إلى يوم الدين، أما بعد

إلى التي لم تذخر نفسا في تربيّتي- أُمي الغالية

وإلى الوالد رحمه الله شنقارة صالح

وإلى أستاذنا العزيزين بقاص محمد الصادق والحاج بن كريد اللذان يسرا دربنا في

كل خطوة، بارك الله لهما في حياتهما وزادهما علما ومعرفة يا رب

وإلى خالي محلو العيد حفظه الله ورعاه

وإلى أخواتي وإخوتي رضا وياسين حفظهم الله

وإلى كل من أحبه قلبي من زملاء وأصدقاء مباركة يمانى وزهرة زرزور ودويس

زهرة

وشكرا جزيلا لكل الحضور

شنقارة كوثر

Résumé

Résumé

La wilaya d'El-Oued est riche en matière de ressources en eaux souterraines, un volume énorme mais presque non renouvelable, conditionné par une surconsommation engendrée par un flambé agro-socio-économique, ce qui nécessite une utilisation rationnelle et durable.

L'objectif de ce travail est d'estimer les besoins en eau des cultures de la wilaya d'El Oued et les confronter ensuite à la consommation réelle en irrigation estimée in situ par les enquêtes et les mesures au sein des exploitations.

La modélisation par Cropwat nous a donné que la culture ayant le plus grand besoin en eau est le palmier dattier 1475 mm/ha et que la pomme de terre est la plus petite 451 mm/ha, alors que cette dernière est considérée toujours comme menaçante en termes de consommation.

Cela nous amène à démasquer l'amalgame entre la norme et l'application, plus précisément les besoins et la consommation réelle.

La confrontation de ces besoins avec les consommations réelles estimées sur terrain montre flagamment une grande différence. La pomme de terre ayant théoriquement les besoins en eau les plus minimes, présente une grande consommation en réalité, 1639 mm/ha, soit, une différence de 1189 mm/ha. Cela confirme l'hypothèse de la surconsommation en eau dans la réalité, et que le problème ne se manifeste pas au niveau de choix de culture mais réellement au niveau des pratiques actuelles

La raison de cette contrariété se manifeste sur plusieurs aspects : techniques (performances, efficacité, productivité), économique (prix de revient de M3) et socio-culturel (antécédents, vulgarisation).

Mots clés

Besoins, irrigation, Cropwat, consommation, productivité, efficacité...

ملخص

ولاية الواد غنية بمصادر المياه الجوفية، بحجم هائل ولكنه غير متجدد تقريبًا، وهو معرض للاستهلاك المفرط الناجم عن الأنشطة الزراعية، الاجتماعية والاقتصادية، الأمر الذي يتطلب استخدامًا رشيدًا ومستدامًا.

الهدف من هذا العمل هو تقدير الاحتياجات المائية للمحاصيل في ولاية الواد ثم مقارنتها مع استهلاك الري الفعلي المقدر في الموقع من خلال المسوحات والقياسات داخل المزارع. أعطتنا النمذجة بواسطة برنامج كروبوات أن المحصول الأكثر احتياجًا للمياه هو نخيل التمر 1475 مم / هكتار وأن البطاطس هي أقلهم احتياجًا 451 مم / هكتار، بينما لا تزال تعتبر مهددة من حيث الاستهلاك.

يقودنا هذا إلى الكشف عن الخلط بين القاعدة والتطبيق، وبشكل أدق بين الاحتياجات والاستهلاك الحقيقي.

من الواضح أن مواجهة هذه الحاجات مع الاستهلاك الحقيقي المقدر على الأرض تظهر فرقاً كبيراً. من الناحية النظرية، فإن البطاطس التي تحتوي على أقل متطلبات مائية، لديها بالفعل استهلاك مرتفع، 1639 ملم / هكتار، أي بفارق 1189 ملم / هكتار. هذا يؤكد فرضية الاستهلاك المفرط للمياه في الواقع، وأن المشكلة لا تظهر على مستوى اختيار المحاصيل ولكن في الواقع على مستوى الممارسات الحالية.

يتجلى سبب هذا المشكل في عدة جوانب: تقني (أداء، كفاءة، إنتاجية)، اقتصادي (سعر تكلفة المتر مكعب) واجتماعي ثقافي (مثل الإرشاد).

الكلمات المفتاحية: احتياجات، سقي، كروبوات، استهلاك، إنتاجية، فعالية...

Abstract

Abstract

The wilaya of El-Oued is rich in groundwater resources, an enormous but almost non-renewable volume, conditioned by overconsumption caused by an agro-socio-economic outbreak, which requires rational and sustainable use.

The objective of this work is to estimate the water needs of crops in the wilaya of El Oued and then compare them with the actual irrigation consumption estimated in situ by surveys and measurements within the farms.

Modeling by Cropwat gave us that the crop with the greatest water need is the date palm 1475 mm/ha and that the potato is the smallest 451 mm/ha, while the latter is still considered as threatening in terms of consumption.

This leads us to unmask the confusion between the norm and the application, more precisely the needs and the real consumption.

The confrontation of these needs with the real consumption estimated on the ground clearly shows a big difference. The potato having theoretically the lowest water requirements, actually has a high consumption, 1639 mm/ha, that is, a difference of 1189 mm/ha. This confirms the hypothesis of overconsumption of water in reality, and that the problem does not manifest itself at the level of crop choice but really at the level of current practices.

The reason for this annoyance manifests itself in several aspects: technical (performance, efficiency, productivity), economic (cost price of m³) and socio-cultural (antecedents, vulgarisation).

Keywords: Needs, irrigation, Cropwat, consumption, productivity, efficiency...

La liste des figure

N°	Titres	Page
1	Répartition des potentiels d'eau	08
2	Représentation simplifiée des différents types d'eau dans un agrégé de	11
3	Exemple de courbes Humidité-Potentiel	12
4	Teneurs en eau caractéristiques des sols et croissance des plantes	13
5	Représentation schématique de la réserve utile maximum (RU _{max}).	14
6	Représentation graphique de la réserve en eau dans le sol exploitée par	16
7	Représentation graphique de la réserve facilement utilisable (RFU).	17
8	Evapotranspiration potentielle de référence E _{To} à partir un gazon.	21
9	Lysimètre de référence cultivé de Ray Grass.	22
10	Représentation schématique de la mesure directe de l'E _{To} .	22
11	Courbe de variation du coefficient cultural K _c .	30
12	Représentation graphique de certains paramètres fondamentaux de	41
13	Situation géographique de la wilaya d'El Oued	52
14	Diagramme ombrothermique de GAUSSEN appliquée à la région du Souf	56
15	Carte topographique de la vallée du Souf,	59
16	Carte du relief de la région du Souf	61
17	Coupe hydrogéologique à travers le Sahara	62
18	Etat des ghouts dans la wilaya d'Oued Souf	66
19	Explication graphique du phénomène de remontée de la nappe	67
20	introduction des données climatiques dans le logiciel Cropwat 8.0	78
21	introduction des données liées au sol dans le logiciel Cropwat 8.0	79
22	Données liées à la culture sur Cropwat (exemple : pomme de terre).	81
23	Calcul des besoins en eau des cultures par le logiciel Cropwat 8.0	84
24	le calendrier d'irrigation établi par le logiciel Cropwat 8.0	85
25	Capture de l'écran de la base de données sous Excel issue des	87

La liste des tableaux

N°	Titres	Page
1	Densité, porosité et humidité caractéristiques d'un sol.	10
2	Précipitations moyenne mensuelle et annuelle à El Oued sur la période 1990-2015.	55
3	Températures minimales, maximales et Moyenne à El Oued sur la période 1990-2012	55
4	Pourcentage d'humidité relative de l'air à El Oued sur la période de 1990-2015.	57
5	l'ETP mensuelle et annuelle à El Oued à partir de la série de donnée 1990 – 2015.	57
6	Vitesse de vent en moyen mensuel et annuel sur la période de 1990-2015	58
7	Calcul de la pluie efficace (mm)	91
8	Estimation de l'ET0 à partir des données climatiques	92
9	calcul des paramètres sol par Cropwat	92
10	Les besoins en eau des cultures calculés par Cropwat	93
11	La consommation en eau d'irrigation établie à partir des enquêtes	94
12	Calcul le débit d'eau pompé au forage à partir du fût	95
13	La consommation réelle en irrigation obtenue à partir des mesures sur terrain (exemple : pomme de terre saisonnière sous pivot)	96
14	Confrontation besoins théoriques Vs consommation réelle	96

Table des matières

N°	Titre	Pag
Remerciement		
الإهداء		
Résumé		
Liste des figures		
Liste des tableaux		
Table des matières		
Liste des abréviations		
Introduction générale		02
Partie I : Synthèse bibliographique		
Introduction		05
Chapitre 1 : Notions de base : Relations Eau-Sol-Plante-		
1.1	Introduction	07
1.2	L'eau et la plante	07
1.2.1	Utilisation de l'eau	07
1.2.2	État, circulation et potentiel de l'eau	08
1.2.3	Transpiration	09
1.3	L'eau et le sol	09
1.3.1	Le réservoir sol : caractéristiques principales	09
1.3.1.1	<i>Densité, porosité et humidité</i>	09
1.3.1.2	<i>État de l'eau dans le sol</i>	10
1.3.1.3	Potentiel de l'eau	11
1.3.1.4	<i>Valeurs références de l'humidité dans le sol</i>	12
1.3.2	Les réserves en eau du sol	14
1.3.2.1	<i>La réserve utile maximum (RU_{max})</i>	14
1.3.2.2	<i>La réserve utile disponible (RU_d)</i>	15
1.3.2.3	<i>La réserve facilement utilisable (RFU)</i>	16
1.3.2.4	<i>La réserve facilement utilisable disponible (RFU_d)</i>	18
Conclusion		18

Chapitre 2 : Les besoins en eau des cultures		
Introduction		20
2.1	II.1. L'évapotranspiration, un processus doublement nécessaire	20
2.1.1	Evapotranspiration potentielle de référence (ET_o)	20
2.1.1.1	Définition	20
2.1.1.2	Méthodes de détermination	21
2.1.1.2.1	<i>Détermination par mesure directe</i>	21
2.1.1.2.2	<i>Détermination par formules empiriques</i>	23
2.1.2	Evapotranspiration potentielle d'une culture (ET_c)	26
2.1.2.1	Définitions	26
2.1.2.1.1	<i>Les facteurs climatiques</i>	27
2.1.2.1.2	<i>Les facteurs liés à la plante</i>	27
2.1.2.1.3	<i>Les facteurs liés au sol</i>	27
2.1.2.2	Méthodes de détermination	28
2.1.2.2.1	<i>Détermination par mesure directe</i>	28
2.1.2.2.2	<i>Détermination par estimation</i>	29
2.1.3	Evapotranspiration réelle d'une culture (ET_r)	30
2.1.3.1	Définition	30
2.1.3.2	Méthodes de détermination	31
2.1.3.2.1	<i>Détermination par mesure directe</i>	31
2.2	Les besoins en eau d'irrigation	33
2.2.1	Besoins nets (B_{nets}) et besoins bruts (B_{bruts}) en eau	34
2.2.2	Aptitudes des sols à l'irrigation	35
2.2.3	Paramètres fondamentaux de l'irrigation	35
2.2.3.1	<i>Quantité d'eau nécessaire</i>	36
2.2.3.2	<i>Module maximum d'irrigation (Q_{MAX})</i>	37
2.2.3.3	<i>Débit fictif continu (Q_{fc})</i>	38
2.2.3.4	<i>Débit effectif (Q_{eff})</i>	38
2.2.3.5	<i>Main d'eau (M)</i>	38

2.2.3.6	<i>Unité parcellaire maximum d'irrigation (SMAX)</i>	38
2.2.3.7	<i>Dose maximum d'irrigation (DMAX)</i>	39
2.2.3.8	<i>Nombre d'irrigation par saison (N)</i>	40
2.2.3.9	<i>Durée de la saison d'irrigation (T)</i>	40
2.2.3.10	<i>Temps d'irrigation ou durée d'une irrigation (ta)</i>	40
2.2.3.11	<i>Période ou intervalle d'irrigation (Pa)</i>	41
2.2.3.12	<i>Diagramme résumé</i>	41
Conclusion		42
Chapitre 3 : Concept de l'efficience et de la productivité de l'eau		
Introduction		44
3.1	III.1. Définition des notions d'efficience et de productivité de l'eau agricole	44
3.2	Efficiences de l'irrigation et évaluation des pertes	45
3.2.1	Pertes d'eau au niveau de la parcelle	45
3.2.1.1	Coefficient d'uniformité (CU, %)	45
3.2.1.2	Efficience de stockage (Es, %) ou d'emmagasinement de l'eau dans la zone racinaire	45
3.2.1.3	Efficience d'application (Ea, %)	46
3.2.1.4	Efficience du réseau de distribution à la parcelle (Edp, %)	46
3.2.2	Pertes d'eau au niveau du réseau de distribution (Ed, %)	46
3.2.3	Pertes d'eau au niveau du réseau de l'adduction (Ead, %)	46
3.2.4	Efficience globale d'irrigation (EG, %)	46
3.2.5	Efficience d'utilisation de l'eau d'irrigation (EUE)	47
3.3	Productivité de l'eau d'irrigation (PE)	47
Conclusion		48
Partie II : Partie pratique		
Introduction		
Chapitre 4 : Présentation générale de la wilaya d'El Oued		
Introduction		52
4.1	IV.1. Situation géographique de la wilaya d'El-Oued	5

4.2	Aperçu historique	53
4.2.1	Origine des populations de la wilaya d'El-Oued	53
4.3	Aperçu démographique et répartition administrative	53
4.4	Aperçu économique	54
4.5	Aperçu climatique	54
4.5.1	Précipitations	54
4.5.2	Température	55
4.5.3	Synthèse climatique	56
4.5.4	Humidité relative de l'aire	57
4.5.5	Evapotranspiration potentielle (ETP)	57
4.5.6	Vent	58
4.5.7	Insolation	58
4.6	Topographie	58
4.7	Relief	59
4.8	Aperçu pédologique	61
4.9	Potentialités hydro-agricoles : Aperçu hydrogéologique	62
4.9.1	Nappe Phréatique	63
4.9.2	Nappe du Complexe Terminal (CT)	63
4.9.3	Nappe du Continent Intercalaire (CI)	63
4.9.4	Aspect qualitatif	63
4.10	L'évolution de l'agriculture soufi	64
4.10.1	À l'époque de l'agriculture ancienne et ancestrale	64
4.10.2	Le déclin des ghouts et la remonté des eaux	66
4.10.3	L'arrivé de la pomme de terre dans la région : <i>La marque</i>	68
Conclusion		70
Chapitre 5: Matériels et méthodes		
Introduction		72
5.1	V.1. Approche méthodologique	72
5.2	Estimation et modélisation des besoins en eau des cultures	72
5.2.1	Aperçu général sur la modélisation des besoins en eau des	74
5.2.2	Choix de modèle : Le modèle CropWat est-il le plus	76
5.2.3	Les données utilisées par le logiciel Cropwat	76

Table des matières

5.2.3.1	Les données climatiques	77
5.2.3.2	Les données liées au sol	78
5.2.3.3	Les données liées à la culture	79
5.2.3.4	Autres données	81
5.2.4	Calculs et résultats obtenus par le logiciel Cropwat	82
5.2.4.1	Calcul de l'évapotranspiration de référence	82
5.2.4.2	Calcul des besoins en eau net	82
5.2.4.3	Calcul des besoins nets en eau d'irrigation	83
5.2.4.4	Calendrier d'irrigation	84
5.2.4.5	Efficienc e d'irrigation	85
5.2.4.6	Calcul de l'efficience d'utilisation de l'eau EUE	85
5.3	Estimation de la consommation réelle en irrigation	86
5.3.1	Enquêtes auprès des irrigants	86
5.3.2	Estimation de la consommation réelle en irrigation et suivi d'irrigation au sein des exploitations agricoles	88
5.3.2.1	Mesure de débits	88
5.3.2.2	Calcul de la consommation réelle	88
Conclusion		89
Chapitre 6 :		
Introduction		91
6.1	VI.1. Estimation des besoins en eau des cultures par Cropwat	91
6.1.1	Traitement des données pédo-climatiques	91
6.1.2	Calcul des besoins en eau d'irrigation par culture	93
6.1.3	Discussion	93
6.2	Estimation de la consommation réelle en irrigation	93
6.2.1	Estimation de la consommation réelle en irrigation par des enquêtes auprès des irrigants	93
6.2.2	Estimation de la consommation réelle en irrigation par mesures sur terrain	94
6.3	Discussion générale	96

Table des matières

6.3.1	Confrontation Besoin Vs Consommation	96
6.3.2	Mais, pourquoi cette différence entre les besoins et la consommation réelle en irrigation	97
6.3.2.1	Raisons techniques	97
6.3.2.2	Raisons économiques	97
Conclusion		98
Conclusion générale		100
Références bibliographiques		104
Les annexes		110

Liste des abréviations

Symboles	Dénominations
ADE	l'Algérienne des eaux
AEI	Alimentation en eau pour l'industrie
AEP	Alimentation en eau potable
ANBT	l'Agence nationale des barrages et transferts
ANRH	L'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
APFA	Accès à la Propriété Foncière Agricole
B.T.P	Bâtiment et travaux publics
BG	Bonnard & Gardel
C.I	Le Continental Intercalaire
C.T	Le Complexe Terminale
D. H. W	Direction de l'Hydraulique de la Wilaya
D.P.S.B	Direction de la programmation et du Suivi Budgétaires
DD	développement durable
DIEPA	Décennie Internationale de l'Eau Potable et de l'Assainissement
DREW	les directions des ressources en eau de wilaya
DRH	Direction des Ressources Hydriques
DSA	Direction des Services Agricoles
EAC	Exploitation agricole collective
EAI	Exploitation agricole individuelle
ETP	Evapotranspiration potentielle
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
GEMS	Global Environment Monitoring System
GIRE	Gestion Intégrée des Ressources en Eau
GPS	Global Positioning System
INSID	L'Institut National des Sols de l'Irrigation et du Drainage
MRE	Le ministère des ressources en eau
O.N.M	Office National de Météorologie
OMM	l'Organisation Météorologique Mondiale
ONAPSA	l'Office National des Approvisionnements et des Services

CC	L'humidité à la capacité au champ
ET0	Evapotranspiration potentielle de référence
ETc	Evapotranspiration potentielle d'une culture
ETr	Evapotranspiration réelle d'une culture
MADRP	Ministère de l'Agriculture du développement rural et de la pêche
OMS	l'Organisation Mondiale de la Santé
ONA	Office national de l'assainissement
ONG	Organisation non gouvernementale
ONID	l'Office national de l'irrigation et du drainage
PAS	programme d'ajustement structurel
PC	L'humidité au point critique
PDGDRS	Plan directeur général de développement des régions sahariennes
PF	L'humidité au point de flétrissement
PME	Petites et moyennes entreprises
PNDA	Le Plan National De Développement Agricole
PNUE	Programme des Nations Unies sur l'Environnement
Qeff	Débit effectif
RFU	La réserve facilement utilisable
<i>RFUd</i>	La réserve facilement utilisable disponible
RUd	La réserve utile disponible
RUmax	La réserve utile maximum
S.A.I	La surface agricole irriguée
S.A.T	La surface agricole totale
S.A.U	La surface agricole utile
SAP	la Société Algérienne de Prévoyance.
SASS	Le Système Aquifère du Sahara Septentrional
SAT	L'humidité à la saturation
SIG	système d'information géographique
STEP	Station d'Épuration
Z.A.M	Zones d'Activités Multiples
ZE	Zone Eparsée

Introduction générale

Introduction générale :

L'eau est une ressource naturelle nécessaire à la vie et aux systèmes écologiques et essentielle pour le développement économique et social. Aujourd'hui, les ressources en eau de manière générale font face à des contraintes majeures, la variabilité et le changement climatique, l'accroissement de la demande et la dégradation de la qualité des eaux.

Dans ce contexte mondial, l'Algérie se manifeste comme un pays parmi d'autres qui représente toute cette complexité, une ressource en eau amoindrie, affectée et mal-exploitée face à une demande en croissance permanente incitée par des programmes de développement surréaliste et mal réfléchis, ne prenant pas en considération la préservation de la ressource.

La wilaya d'El Oued située au sud algérien est confrontée à des problèmes « controversés » liés à l'eau et à l'environnement, un aquifère gigantesque en terme de volume mais non renouvelable et qualitativement vulnérable, des conditions climatiques sévères et une nappe phréatique submergée (remontée des eaux), tous cela face à une forte demande et un accroissement éclatant en termes d'agriculture irriguée épaulé par la submersion de nouvelles pratiques d'irrigation dite « économisatrices d'eau » et la gestion de l'eau demeure basée sur l'offre.

Cependant, afin d'assurer un développement durable proprement dit, il est nécessaire d'orienter la gestion de la ressource en eau vers une perception basée sur le besoin.

Cela nous rejette à poser la question majeure suivante :

Quels sont les besoins en eau d'irrigation effectifs de la wilaya ? sont-ils bien estimés et/ou appliqués en réalité ?

Pour répondre à cette interrogation tend importante, nous avons comme objectif, l'estimation et la modélisation des besoins en eau des cultures en choisissant le modèle Cropwat pour son accessibilité et adaptabilité à notre contexte.

Cette estimation ne pourra être tenue sans un diagnostic exhaustif des pratiques d'irrigation actuelles ainsi que l'estimation de la consommation réelle en eau au niveau des exploitations par des mesures in situ.

Pour clarifier, expliquer et développer tout ce qui précède, nous avons opté dans ce présent document, le plan suivant.

L'ancrage scientifique est la base de tout un travail de recherche et la connaissance n'est que le cumul des idées approuvés par l'expérimentation. Pour cela, on a étayé notre par une partie de synthèse bibliographique qui renferme trois chapitres :

Un premier chapitre dont on a apporté une définition à toutes les notions de base ayants une relation étroite avec notre thème.

Deuxième chapitre qui étale la notion des besoins en eau des cultures dans toutes ses facettes.

Un troisième chapitre complémentaire qui mis un spot sur deux aspects en étroite relation avec les besoins, l'efficacité et la productivité.

La partie pratique se compose conventionnellement de trois chapitres :

Présentation de la zone d'étude

Matériels et méthodes

Résultats et discussion

Pour récapituler notre problématique, démarche méthodologique, résultats obtenus ainsi que les perspectives et les recommandations, une conclusion aboutie clôture le document.

Partie I : Synthèse bibliographique

Chapitre 1 : Notions de base : Relations Eau-Sol-Plante-Atmosphère

Chapitre 2 : Les besoins en eau des cultures

Chapitre 3 : Concept de l'efficience et de la productivité de l'eau

Introduction :

L'ancrage scientifique est la base de tout un travail de recherche et la connaissance n'est que le cumul des idées approuvés par l'expérimentation. Pour cela, on a étayé notre par une partie de synthèse bibliographique qui renferme trois chapitres :

Un premier chapitre dont on a apporté une définition à toutes les notions de base ayants une relation étroite avec notre thème.

Deuxième chapitre qui étale la notion des besoins en eau des cultures dans toutes ses facettes.

Un troisième chapitre complémentaire qui mis un spot sur deux aspects en étroite relation avec les besoins, l'efficience et la productivité.

Chapitre 1 : Notions de base :
Relations Eau-Sol-Plante-Atmosphère

Une étroite synergie...

Chapitre 1 : Notions de base : Relations Eau-Sol-Plante-Atmosphère**I.1. Introduction**

Les plantes poussent et croissent sur des sols qui leur fournissent de l'eau et des nutriments. Généralement, elles absorbent l'eau à partir du sol par leurs racines et elles utilisent seulement entre 1,0 et 1,5%, du volume d'eau absorbé, pour leur croissance végétative ainsi que l'exécution de certaines activités physiologiques et biochimiques. Le reste d'eau absorbée sera perdue par voie de transpiration.

Il existe cependant une relation très étroite entre l'eau, le sol et la plante. Cette relation doit être clairement compréhensible pour pouvoir décider le temps et dose d'irrigation opportuns et réaliser une utilisation efficace de l'eau d'irrigation conduisant ainsi à une bonne gestion de l'eau à l'échelle de la parcelle.

Pour étudier les besoins en eau des cultures ou conduire une irrigation efficace et économe en eau par les irrigants, il convient de connaître les caractéristiques principales des relations de l'eau avec ces différents milieux.

Le but de ce chapitre est de présenter ces éléments de bases concernant le sol, l'eau, la plante et les relations entre eux et qui sont d'intérêt pour la gestion de l'eau à la parcelle.

I.2. L'eau et la plante**I.2.1. Utilisation de l'eau**

La plante utilise l'eau de plusieurs façons à savoir :

- En l'accumulant en elle-même, puisqu'elle forme de 60 à 95% du poids total, variant d'ailleurs avec la période de végétation. L'eau fait partie de la structure cellulaire elle-même ;
- Comme véhicule des substances minérales qui servent à son alimentation. L'eau sert à transporter les aliments, d'une part du sol vers les racines et d'autre part des tiges vers les feuilles ;

- Comme système de régulation de la température, et d'évacuation de l'eau de végétation, par la transpiration ;
- Au niveau de la cellule, l'eau permet la transformation des substances nutritives absorbées qui se passent toujours en milieu liquide. Elle entre directement dans certaines réactions, c'est le cas par exemple de la photosynthèse qui permet aux végétaux de produire, en présence de lumière, de la matière organique à partir du gaz carbonique (CO₂) de l'air.

I.2.2. État, circulation et potentiel de l'eau

Lorsque l'eau circule à la surface du sol, elle coule, toujours d'un point haut vers un point bas et cela semble évident à tout le monde. En revanche, on ne s'étonne pas que l'eau absorbée par les racines à 1 ou 2 mètres de profondeur ressorte des plantes au niveau des feuilles or cela représente une ascension (ou montée) qui peut, dans le cas de certains arbres, atteindre plusieurs dizaines de mètres.

En réalité tous ces phénomènes, en apparence différents, s'expliquent par l'état de l'eau dans les différents milieux qu'elle traverse.

Quel que soit le milieu dans lequel elle se trouve (la cellule végétale, le sol, l'air), l'eau n'est pas libre de circuler n'importe où : elle est soumise à certaines forces qui la « retiennent » à son milieu et à d'autres qui tendent à « l'arracher » à celui-ci.

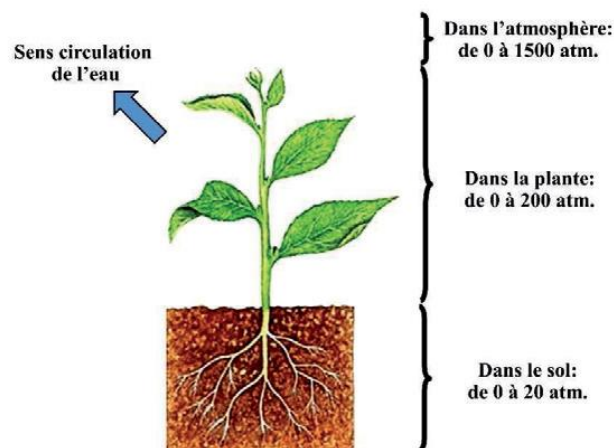


Figure 1. Répartition des potentiels d'eau

Le potentiel de l'eau dans le sol varie de 0 atmosphère, lorsque le sol est rempli d'eau (capacité au champ) à plusieurs dizaines d'atmosphères (point de flétrissement), dans le cas par exemple d'un sol desséché à la fin de l'été.

Le potentiel de l'eau dans l'air dépend de la température et de l'humidité relative de l'air.

I.2.3. Transpiration

Les rapports entre l'eau et la plante sont exprimés par la transpiration qui représente l'évaporation de l'eau à partir des feuilles vers l'atmosphère. L'eau ainsi transpirée ne provient pas des réserves de la plante, mais du sol dans lequel celle-ci puise par ses racines au fur et à mesure de ses besoins. Ceux-ci sont fixés par la demande d'évaporation de l'air, elle-même déterminée par la température, la sécheresse de l'air, le vent, etc.

La transpiration, qui permet notamment à la plante exposée aux rayons du soleil d'être suffisamment refroidie, n'est donc qu'une étape dans la circulation continue de l'eau entre le sol et l'atmosphère.

L'irrigation, en augmentant l'humidité du sol, facilite l'absorption de l'eau par les racines et par conséquent la transpiration des feuilles. De ce point de vue, l'irrigation a un effet bénéfique sur la plante et les rendements des cultures.

I.3. L'eau et le sol

L'eau transpirée par les plantes provient naturellement des réserves que le sol stocké au moment des pluies. Sous climat défavorable, pour augmenter et garantir les rendements il faut arroser de façon à reconstituer les réserves du sol lorsque la pluie est faible.

I.3.1. Le réservoir sol : caractéristiques principales

I.3.1.1. Densité, porosité et humidité

Les particules solides du sol sont rassemblées en morceaux de taille variable, entre lesquels des espaces vides remplis d'eau ou d'air. Les définitions de base sont rassemblées dans le tableau 1 :

Table 1. Densité, porosité et humidité caractéristiques d'un sol.

Terme	Symbole	Définition	Ordre de grandeur	Observations
Densité réelle	D_r	$\frac{M_s}{V_s}$	Sol moyen: 2,6 à 2,7	Unité: g cm ⁻³
Densité apparente	D_a	$\frac{M_s}{V_t}$	<ul style="list-style-type: none"> ○ Sol sableux: 1,3 à 1,4 ○ Sol limoneux: 1,2 à 2,5 ○ Sol argileux: 1,1 à 1,3 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Unité: g cm⁻³ ○ Permet de calculer Θ à partir de ω
Porosité	P	$\frac{V_e + V_a}{V_t} \times 100$	<ul style="list-style-type: none"> ○ Sol limoneux: 40 à 60 ○ Sol argileux: 50 à 70 	Unité: %
Humidité pondérale	ω	$\frac{M_e}{M_s} \times 100$	$\theta = D_a \times \omega$	Déterminée par le laboratoire
Humidité volumique	θ	$\frac{V_e}{V_t} \times 100$		Utilisé par l'irrigant

Où

Ms : masse des solides ;

Me : masse de l'eau ;

Vt : volume échantillon ;

Vs : volume des solides ;

Ve : volume de l'eau ;

Va : volume de l'air.

1.3.1.2. État de l'eau dans le sol

L'eau du sol est soumise à différentes forces qui la tiennent plus ou moins fortement aux particules solides (Figure 2) ou au contraire tendent à les chasser.

Après un arrosage ou une pluie abondante par exemple, l'eau occupe tous les vides, on dit alors que le sol est saturé. Mais cette situation ne dure pas longtemps (sauf si le sol est recouvert d'eau en permanence). En général une partie de l'eau s'écoule en profondeur sous l'effet de la pesanteur (forces de gravité). Au bout d'un certain temps, ce mouvement de descente s'arrête lui-même. On se trouve alors devant un sol non saturé où les forces qui retiennent l'eau (forces de rétention) sont supérieures aux forces de gravité. L'eau qui reste est liée au sol et ne quittera celui-ci que sous l'effet de forces supérieures à celle de rétention.

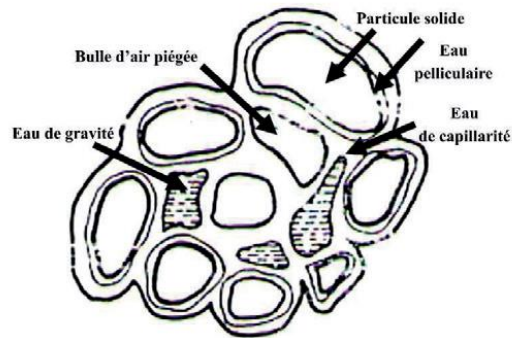


Figure 2. Représentation simplifiée des différents types d'eau dans un agrégé de sol.

I.3.1.3. Potentiel de l'eau

a) Signification

Le potentiel exprime l'intensité des forces qui retiennent l'eau dans le sol et, par conséquent, l'importance du travail qu'il faudra fournir pour extraire cette eau. On retiendra en particulier que :

- Plus le sol est humide, plus le potentiel de l'eau est faible, plus l'eau est "mobile" ;
- Au fur et à mesure que le sol se dessèche, les forces de rétention du sol et le potentiel de l'eau augmente : quelle que soit la quantité d'eau présente dans le sol, celle-ci devient de moins en moins "disponible" pour les plantes.

b) Relation entre potentiel et teneur en eau

La plus grande partie de l'eau stockée dans le sol est retenue dans les espaces libres existant entre les particules solides. Ces espaces sont appelés capillaires. Du point de vue physique, les forces qui retiennent l'eau dans ces capillaires sont d'autant plus fortes que ceux-ci sont petits. Autrement dit, l'eau stockée dans un capillaire très fin aura un potentiel plus élevé qu'une même quantité d'eau retenue par un capillaire de grand diamètre. Or, dans le sol, la répartition des espaces vides entre « gros » « moyens » et « petits » capillaires dépend de la nature du sol.

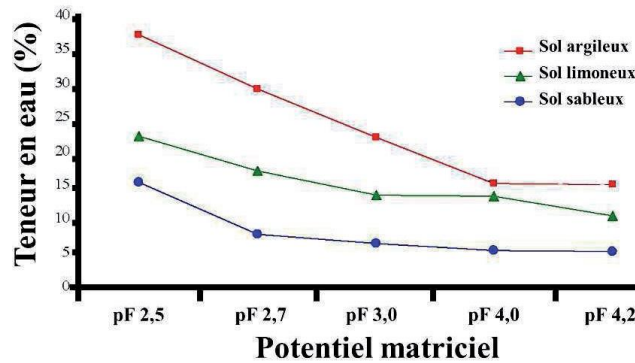


Figure 3. Exemple de courbes Humidité-Potentiel

L'examen et la comparaison de ces courbes permettent de tirer quelques conclusions pratiques :

- L'humidité maximum d'un sol dépend de sa nature, pour un même volume de terre, un sol argileux peut retenir plus d'eau qu'un sol limoneux ou sableux ;
- Dans tous les cas, plus l'humidité augmente, plus le potentiel de l'eau diminue, plus celle-ci est facilement absorbable par les racines ;
- Deux sols de nature différente, ayant la même humidité, n'offrent pas aux plantes les mêmes possibilités d'absorption ;
- A volumes égaux, un sol sableux stocke moins d'eau qu'un sol argileux mais il cède celle-ci plus facilement ;
- Enfin, quel que soit le type de sol, l'humidité varie peu lorsque le sol se dessèche, alors que le potentiel de l'eau augmente au contraire très fortement (les courbes deviennent presque verticales).

1.3.1.4. Valeurs références de l'humidité dans le sol

Différents concepts et définitions relatifs à l'humidité des sols ont été développés dans l'optique d'une utilisation pratique. Les concepts d'humidités caractéristiques sont présentés à la figure 4 et ils sont aussi en relation avec l'utilisation de l'eau par la plante.

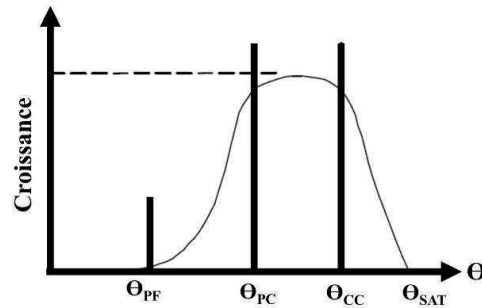


Figure 4. Teneurs en eau caractéristiques des sols et croissance des plantes.

Les définitions des humidités caractéristiques sont données dans ce qui se suit et les ordres de grandeurs sont donnés dans le tableau 2 :

a) L'humidité à la saturation SAT

C'est la teneur en eau à saturation du sol en condition de champ. En réalité, le sol n'atteint jamais une saturation complète car une certaine quantité d'air y reste toujours emprisonnée.

b) L'humidité à la capacité au champ CC

C'est la teneur en eau du sol après que l'excédent d'eau se soit drainé et que le régime d'écoulement vers le bas soit devenu négligeable, ce qui se produit habituellement de un à trois jours après une pluie ou une irrigation. C'est en quelque sorte la limite supérieure de l'eau utile pour les racines.

c) L'humidité au point de flétrissement PF

Comme son nom l'indique, l'humidité au point de flétrissement représente la teneur en eau du sol en dessous de laquelle l'absorption de l'eau par la racine est bloquée (ceci entraîne le flétrissement). A ce moment, le potentiel de l'eau du sol est supérieur à celui de l'eau dans la plante.

d) L'humidité au point critique PC

C'est la teneur en eau du sol lorsque la plante commence à souffrir d'un manque d'eau et que sa croissance en est affectée. Cette teneur en eau est utilisée en gestion de l'irrigation. Il est aussi appelé point de flétrissement temporaire par certains. Cette

valeur se situe entre le tiers et les deux tiers de la différence entre le point de flétrissement et la capacité au champ.

e) Valeurs pratiques

Dans la pratique, les calculs de CC et PF se font en utilisant l'humidité équivalente E. L'humidité équivalente E est la quantité d'eau retenue par un échantillon de sol soumis à l'action de la force de centrifuge dans une essoreuse. Elle correspond à un potentiel de l'eau dans le sol égale à 1 atmosphère (ou $pF = 3$).

I.3.2. Les réserves en eau du sol

I.3.2.1. La réserve utile maximum (RU_{max})

Elle représente le volume maximum d'eau que peut stocker un sol sur la profondeur exploitée par les racines. Ce volume est compris entre la capacité au champ et celle au point de flétrissement (Figure 5).

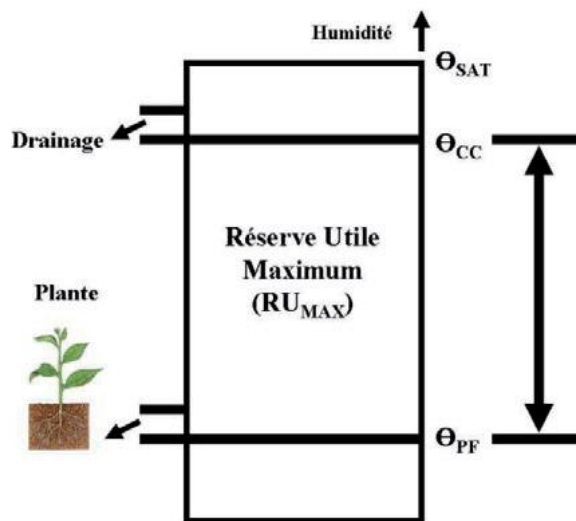


Figure 5. Représentation schématique de la réserve utile maximum (RU_{max}).

La réserve utile maximum se définit :

$$RU_{MAX} = \frac{(\theta_{CC} - \theta_{PF})}{100} \times Z$$

Ou bien:

$$RU_{MAX} = \frac{(\omega_{CC} - \omega_{PF})}{100} \times Da \times Z$$

où:

- θ_{CC} : Humidité volumique à la capacité au champ (%);
- θ_{PF} : Humidité volumique au point de flétrissement (%);
- ω_{CC} : Humidité pondérale à la capacité au champ (%);
- ω_{PF} : Humidité pondérale au point de flétrissement (%);
- Da : Densité apparente (g cm^{-3});
- Z : Profondeur du sol exploitée (mm).

1.3.2.2. La réserve utile disponible (RUd)

Elle représente la quantité d'eau utile stockée dans le sol. Sa valeur dépend, entre autres, de l'humidité du sol θ qui varie entre θ_{CC} et θ_{PF} selon les conditions auxquelles le sol est soumis (Figure 6). Son expression est la suivante :

$$RU_d = \frac{(\theta - \theta_{PF})}{100} \times Z$$

où:

- θ : Humidité volumique du sol (%);
- θ_{PF} : Humidité volumique au point de flétrissement (%);
- Z : Profondeur du sol exploitée par les racines (mm).

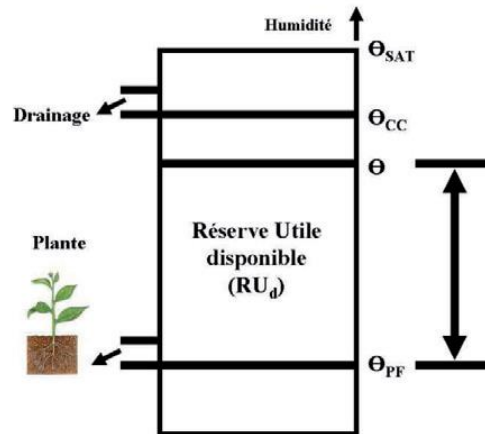


Figure 6. Représentation graphique de la réserve en eau dans le sol exploitée par les racines.

Estimation de la réserve utile disponible (RU_d)

Pour les parcelles irriguées, l'estimation de la RU_d se fait selon trois possibles :

Cas n°1 :

$$\text{Si } RU_{di-1} + P_{ui} + I_i - ET_{ci} \leq 0 \quad RU_{di} = 0$$

Cas n°2 :

$$\text{Si } 0 < RU_{di-1} + P_{ui} + I_i - ET_{ci} < RU \quad RU_{di} = RU_{di-1} + P_{ui} + I_i - ET_{ci}$$

Cas n°3:

$$\text{Si } RU_{di-1} + P_{ui} + I_i - ET_{ci} \geq RU \quad RU_{di} = RU$$

1.3.2.3. La réserve facilement utilisable (RFU)

Au fur et à mesure que le sol se dessèche, sous l'effet de l'évaporation directe et de la transpiration des plantes, l'eau restante et de plus en plus fortement retenue par le sol.

L'absorption de l'eau par les racines diminue donc peu à peu, pour finalement s'arrêter au point de flétrissement. Toute l'eau de la RUMAX n'a pas le même effet sur le rendement des cultures.

On définit donc la Réserve Facilement Utilisable (RFU) comme étant la quantité d'eau de la RUMAX que les plantes peuvent

absorber sans effort particulier et qui représente les meilleures conditions de rendement (du point de vue de l'alimentation en eau) (Figure 7).

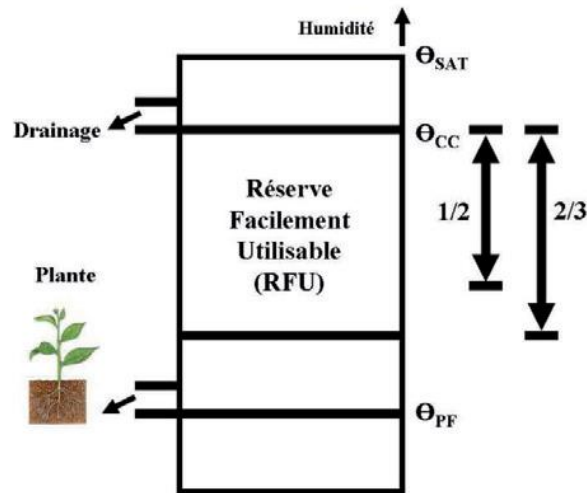


Figure 7. Représentation graphique de la réserve facilement utilisable (RFU).

La RFU est proche de la RUMAX lorsque la demande d'évaporation de l'air est faible (en hiver). Dans ce cas l'humidité du sol est proche de la capacité au champ et l'enracinement des plantes profond est bien développé. Dans le cas contraire (sécheresse de l'été, sol sec et peu profond), la RFU peut ne représenter qu'une faible partie de RUMAX.

En pratique, il est impossible d'obtenir par le calcul la valeur de la RFU qui dépend de la nature du sol et des conditions climatiques. Le praticien est alors partagé entre deux attitudes extrêmes et opposées :

- Attendre pour arroser que la totalité de la RUMAX soit utilisée : mais ceci peut avoir des conséquences défavorables sur le rendement des cultures ;
- Décider que l'humidité du sol doit être en permanence maintenue au niveau de la capacité au champ : mais alors, à moins d'utiliser la technique de l'irrigation localisée, avec un appareillage d'emploi délicat, on risque dans les conditions courantes d'arrosage d'asphyxier le sol et la plante et surtout d'alourdir les dépenses en eau et en main d'œuvre.

L'expérience montre que, entre ces deux extrêmes, la détermination du volume et de la fréquence des irrigations peut être opérée sans risque d'erreur sur la base de 2/3 ou de 1/2 de la RUMAX.

1.3.2.4. La réserve facilement utilisable disponible (RFUd)

C'est la partie facilement utilisable de la RUd: autrement dit, la quantité d'eau facilement utilisable qui est stockée dans le sol. La valeur de la RFUd dépend des cas suivants :

Si $RUd \leq (RUMAX - RFU)$ $RFUd = 0$;

Si $RUd > (RUMAX - RFU)$ $RFUd = RUd - (RUMAX - RFU)$;

Si $RUd = RUMAX$ $RFUd = RFU$.

ue de la réserve difficilement utilisable (RDU).

Conclusion :

Sous la lumière de ce qui précède, on constate que la relation sol plante atmosphère est synergétique mais complexe.

Dans le chapitre suivant, nous nous focalisant sur les besoins en eau de cultures, l'objectif majeur de notre travail.

Chapitre II :
Les besoins en eau des cultures

Chapitre 2 : Les besoins en eau des cultures

Introduction :

Le besoin net en eau d'irrigation est défini comme l'eau requise par l'irrigation pour satisfaire l'évapotranspiration des cultures et les besoins en eau auxiliaires (lessivage, modification de la température, qualité des cultures), qui ne sont pas fournis par l'eau stockée dans le profil du sol ou les précipitations.

Dans le présent chapitre, on va étaler, en faisant référence à la bibliographie, les deux notions principales de l'alimentation en eau des cultures à savoir les évapotranspirations et l'estimation des besoins en eau des cultures.

II.1. L'évapotranspiration, un processus doublement nécessaire

La notion d'évapotranspiration regroupe les deux processus précités, à savoir l'évaporation directe de l'eau du sol et la transpiration par les plantes. Sur un sol présentant une couverture végétale, même partielle, les échanges par transpiration sont quantitativement plus importants que les échanges par évaporation directe.

On note plusieurs évapotranspirations à différentes échelles de mesures et de calculs à savoir :

II.1.1. Evapotranspiration potentielle de référence (ET_o)

II.1.1.1. Définition

L'évapotranspiration potentielle est un paramètre important du cycle terrestre de l'eau. Elle désigne l'évaporation maximale possible, indépendamment de la quantité d'eau que les plantes ont effectivement à disposition.

Elle est considérée comme l'indicateur du développement optimal de la végétation et joue un rôle capital pour l'évaluation des aptitudes climatiques d'une région pour l'agriculture.

L'appréciation de l'évapotranspiration potentielle est nécessaire notamment pour estimer les besoins en eau d'irrigation pour l'agriculture. Les Nations Unies

pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) ont introduit dans le rapport 56 sur l'irrigation et le drainage le concept d'évapotranspiration de référence (ET_o), c'est-à-dire l'évapotranspiration d'un peuplement végétal idéal, disposant d'eau à volonté. C'est le taux d'évapotranspiration à partir d'une surface étendue de gazon vert (Ray Grass) ayant une hauteur uniforme de 8 à 15 cm poussant activement couvrant complètement le sol sans aucun stress hydrique (Figure 8).

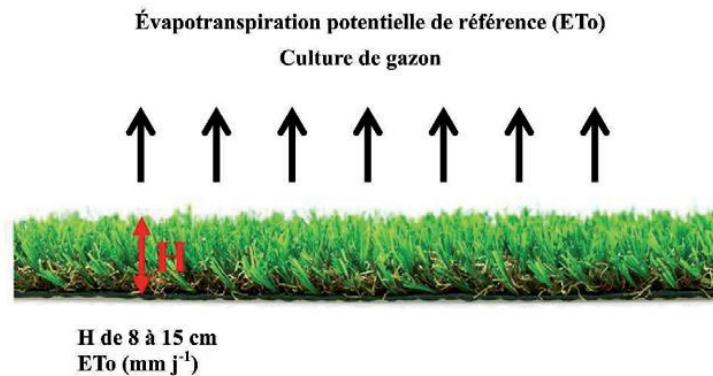


Figure 8. Evapotranspiration potentielle de référence ET_o à partir un gazon.

L'ET_o est mesurée en mm (1 mm = 10 m³ ha⁻¹). Elle varie selon le temps (mois) et la région.

II.1.1.2. Méthodes de détermination

II.1.1.2.1. Détermination par mesure directe

Lysimètre de référence

La méthode du lysimètre de référence est la méthode la plus appropriée pour la mesure directe de l'ET_o (Figure 9). Elle se base sur l'équation du bilan hydrique et sur la déduction de l'évapotranspiration à partir de la détermination des autres termes de l'équation (Figure 10). Cette méthode peut se justifier dans la mesure où les autres termes de l'équation du bilan sont souvent relativement plus faciles à déterminer.

Le lysimètre est constitué d'une cuve cylindrique de 1,80 m de profondeur, remplie de sol non perturbé couvert d'une végétation de référence, généralement de Ray Grass. Le tout pèse près de 3 tonnes. Sa surface évaporante est de 1 m² ; ce choix était délibéré, il permet une conversion facile (1 litre d'eau=1 mm m⁻²).



Figure 9. Lysimètre de référence cultivé de Ray Grass.

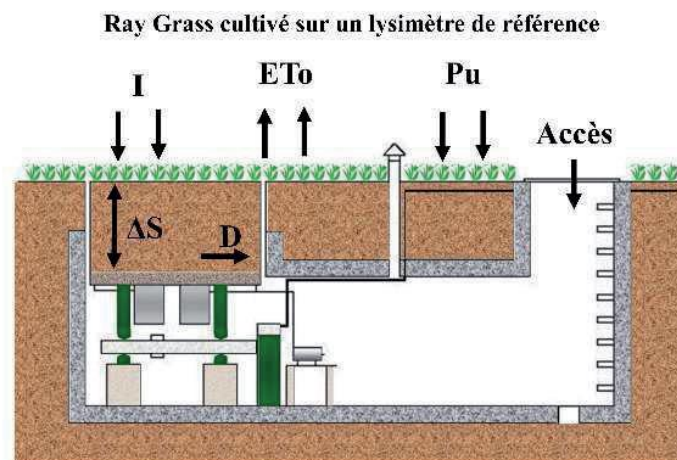


Figure 10. Représentation schématique de la mesure directe de l'ETo.

Le bilan hydrique simplifié s'écrit comme suit :

$$\sum \text{Apports} = \sum \text{Sorties}$$

L'équation du bilan hydrique, dans son expression la plus complète, s'écrit :

$$Pu + I = ETo + D \pm \Delta S$$

$$ETo = I + Pu - D \pm \Delta S \text{ (mm j}^{-1}\text{)}$$

Où

Pu: précipitation utile;

I: irrigation;

D: drainage;

ETo: évapotranspiration potentielle de référence;

S: stock d'eau dans la zone racinaire.

II.1.1.2.2. Détermination par formules empiriques

Pour estimer l'évapotranspiration de référence on utilise des formules empiriques qui se basent sur des paramètres climatiques tels que la température, le rayonnement solaire, vitesse du vent, humidité relative,...). Celles-ci ont l'avantage d'être en général assez facilement mesurables et de plus disponibles immédiatement dans des nombreuses régions. De telles formules représentent un outil commode pour le praticien.

Une fois mise au point, la formule de calcul de l'ETo on peut alors envisager d'y introduire un facteur correctif cultural Kc permettant de déterminer l'ETc en fonction de l'espèce végétale et pour différents périodes du cycle végétatif.

Les différentes données entrant dans les formules de calcul de l'ETo sont la température, la radiation solaire, l'humidité relative de l'air, la vitesse du vent, etc....

La difficulté de connaître l'importance exacte de chacun de ces paramètres dans le phénomène d'évapotranspiration explique le nombre considérable de formules mises au point par les chercheurs.

Il existe cependant des conditions d'application des formules d'estimation de l'ETo:

- Elles sont valables pour des superficies de l'ordre de la dizaine d'hectares au Moins ;
- Elles ont été établies pour la mesure de l'ET_o, et donnent donc des évaluations des besoins en eau généralement supérieures aux besoins en eau des cultures (ET_c), sauf pour la période de la pleine croissance où l'ET_c se rapproche de l'ET_o ;
- Généralement leurs résultats sont d'autant plus approximatifs que les formules qui tiennent compte de moins de données ;
- Ces formules sont mises au point et testées à partir d'expérimentation dans certains pays, elles demanderaient normalement à être vérifiées, et éventuellement corrigées, avant d'être utilisées dans d'autres pays ou régions;
- La plupart de ces formules donnent une valeur de l'ET_o à une échelle mensuelle.

Parmi les formules les plus utilisées on cite :

a) Estimation de l'ET_o par la méthode FAO Penman-Monteith

La formule FAO Penman Monteith a été proposée par Allen et al (1988), en simplifiant l'équation originale de Penman Monteith à partir d'un certain nombre de suppositions sur des paramètres qu'ils ont considérés constants. Ainsi, ils ont fixé la valeur du flux de chaleur latente de vaporisation, λ , à 2,45 MJ kg⁻¹, la résistance du couvert végétal r_s à une valeur de 70 s m⁻¹ et simplifié l'expression de la résistance aérodynamique en l'approximant par une fonction inverse de la vitesse du vent ($r_a = 208/u$).

La formule FAO Penman Monteith pour l'évapotranspiration potentielle de référence est :

$$ET_o = \frac{0,048 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

où:

ETo: Évapotranspiration de référence (mm j-1);

T: Température de l'air (°C);

u2: Vitesse du vent à 2 m au-dessus du sol (m s-1);

Rapport entre la différence de pression de vapeur et la différence de température correspondant (kPa °C-1);

Constante psychrométrique ($\gamma \sim 66 \text{ Pa } ^\circ\text{K}^{-1}$);

Rn: Rayonnement net à la surface du sol (MJ m-2 j-1);

G: Flux de chaleur du sol (MJ m-2 j-1);

es: Pression de vapeur (kPa);

ea: Pression de vapeur saturante à la température T (kPa).

b) Estimation de l'ETo par la méthode de Thornthwaite

D'après Brochet et al. 1974, cité par Lorenzini, 2007, La formule de Thornthwaite s'exprime sous la forme suivante :

$$ETo = F(\lambda) \times 16 \times \left[\frac{10 \times T_{(m)}}{I} \right]^a$$

où:

ETo : Évapotranspiration de référence moyenne du mois m (m = 1 à 12)
(mm);

T(m) : Température moyenne mensuelle de l'air (°C);

F : coefficient de correction tenant compte de la latitude et du mois.

I : Indice thermique annuel.

Le coefficient F tient compte du nombre d'heures d'ensoleillement mensuel moyen. Ces valeurs varient en fonction de la latitude et du mois de l'année.

c) Estimation de l'ET_o par la formule de Blanney Criddle

Cette formule ne fait intervenir directement qu'un seul facteur météorologique à savoir la température. Elle s'écrit comme suit :

$$ET_o = (8,13 + 0,46 \times T) \times p$$

Où :

T : température moyenne mensuelle (°C) ;

P : pourcentage d'heures diurnes pendant le mois considéré par rapport au nombre d'heures diurnes annuelles ; p est en fonction uniquement de la latitude du lieu.

II.1.2. Evapotranspiration potentielle d'une culture (ET_c)

II.1.2.1. Définitions

C'est le taux d'évapotranspiration à partir d'une culture donnée exempte, qui n'a pas été attaquée de maladies, poussant activement dans un vaste champ bénéficiant de conditions pédologiques, hydriques optimales et d'une fertilité suffisante pour réaliser totalement son potentiel productif (selon le milieu et le stade de croissance).

Unité : mm j⁻¹ ; mm mois⁻¹ ; m³ ha⁻¹ j⁻¹.

L'ET_c représente l'évapotranspiration réelle maximum d'une parcelle cultivée dans les meilleures conditions possibles et bien alimentée en eau. Le niveau d'évapotranspiration correspond au rendement maximum : aussi est-il intéressant d'en connaître les facteurs afin de pouvoir les améliorer ou les corriger pour les porter à leur valeur optimale.

II.1.2.1.1. Les facteurs climatiques

Ceux-ci sont pratiquement imposés, sous réserve toutefois d'intervention telle que la mise en place de brise-vent, qui en diminuant l'ET_o, permettent d'augmenter le rapport ET_c/ET_o.

II.1.2.1.2. Les facteurs liés à la plante

- **L'espèce végétale** : chaque espèce, selon la taille et la forme de ses feuilles, de sa surface foliaire, de son mode de semis (écartement entre rangs par exemple), etc. couvre différemment le sol : c'est pourquoi, même lorsque la surface foliaire est maximum (stade de la pleine croissance), on observe des variations sensibles du rapport ET_c/ET_o selon l'espèce végétale ;
- **Stade de développement** : du semis à la récolte, la surface foliaire et le système racinaire, organes principaux de la transpiration, se modifient : ils grandissent, passent par un maximum, puis régressent (à partir de la maturité). Cette évolution de l'appareil transpiratoire des plantes est parallèle à celle de l'ET_c de la culture ;
- **Etat sanitaire, fertilisation, qualité des semences et façons culturales** : tous ces éléments peuvent évidemment faire varier beaucoup la transpiration totale d'une parcelle cultivée. A la différence toutefois des facteurs précédents qui sont pratiquement imposés, ces derniers peuvent être améliorés par l'agriculteur dans le sens d'une augmentation de l'ET_c.

II.1.2.1.3. Les facteurs liés au sol

- **Les réserves en eau du sol** : on a vu que l'alimentation hydrique la plus favorable correspondait à l'utilisation de la réserve en eau facilement utilisable (RFU). Pour un même type de sol, une parcelle cultivée aura une ET_c d'autant plus forte que l'humidité du sol sera proche de la capacité de rétention (eau à faible potentiel, c'est-à-dire faiblement retenue par les agrégats du sol) ;

- **Texture et structure du sol** : si la texture d'un sol est peu modifiable, il n'est pas de même de la structure, dont l'amélioration par les façons culturales, l'apport de matière organique, etc..., peut favoriser le développement du système racinaire dans toutes les directions et augmenter ainsi les possibilités d'absorption de l'eau par la plante.

II.1.2.2. Méthodes de détermination

II.1.2.2.1. Détermination par mesure directe

La méthode du bilan hydrique appliquée à un lysimètre est la méthode la plus appropriée pour la mesure directe d'ETc. Elle se base sur l'équation du bilan hydrique et sur la déduction de l'évapotranspiration à partir de la détermination des autres termes de l'équation. Cette méthode sera appliquée sur une case lysimétrique cultivée par une culture donnée exempte (qui n'a pas été attaquée) de maladies, poussant activement bénéficiant de conditions pédologiques, hydriques optimales et d'une fertilité suffisante pour réaliser totalement son potentiel productif (selon le milieu et le stade de croissance).

Le bilan hydrique simplifié s'écrit comme suit :

$$\sum \text{Apports} = \sum \text{Sorties}$$

L'équation du bilan hydrique, dans son expression la plus complète, s'écrit :

$$Pu + I = ETc + D \pm \Delta S$$

$$ETc = Pu + I - D \pm \Delta S \text{ (mm } j^{-1}\text{)}$$

Où :

Pu: précipitation utile;

I: irrigation;

D: drainage;

ETc: évapotranspiration potentielle d'une culture;

□S: stock d'eau dans la zone racinaire.

$$\Delta S = Stock_{Final} - Stock_{Initial}$$

II.1.2.2.2. Détermination par estimation

Par cette méthode, l'évapotranspiration des plantes est estimée en tant que fraction de l'évapotranspiration de référence ETo.

$$ETc = Kc \times ETo$$

Où :

Kc : coefficient cultural déterminé expérimentalement ;

ETc : évapotranspiration potentielle d'une culture ;

ETo : évapotranspiration potentielle de référence.

Le coefficient cultural Kc représente une intégration des caractéristiques qui distinguent l'évapotranspiration d'une culture donnée, de l'évapotranspiration de référence.

Il existe pour chaque culture quatre stades végétatifs (Figure 11) :

Stade initial : plantation, semis (blé ou orge), dormance,... ;

Stade de croissance ou développement : la culture est en train de développer son potentiel végétatif ;

Stade de floraison et fructification : il s'agit d'une phase critique au cours du cycle végétatif de la plante. Il faut qu'il y ait un maximum d'eau pour avoir un bon calibre des fruits ;

Stade de maturation et récolte.

La figure suivante représente la courbe de différentes phases du coefficient cultural en fonction des stades de développement de la culture. Les caractéristiques de K_c sont : la hauteur des cultures (qui affecte la résistance aérodynamique et la rugosité), la résistance de surface des cultures (affectée par la surface foliaire, la fraction du sol couverte par la végétation, l'humidité à la surface du sol) et l'albédo (affecté par la fraction du sol couverte et l'humidité à la surface du sol).

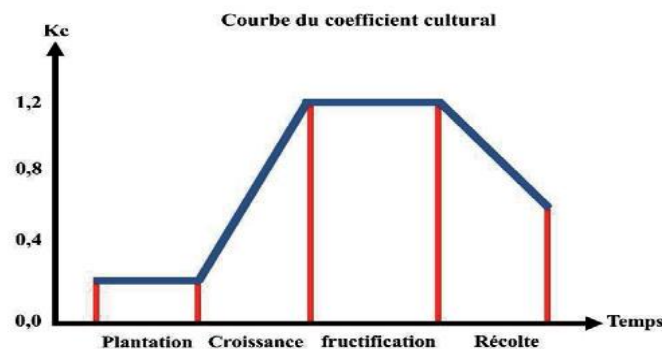


Figure 11. Courbe de variation du coefficient cultural K_c .

II.1.3. Evapotranspiration réelle d'une culture (ETr)

II.1.3.1. Définition

C'est la quantité d'eau réellement évapotranspirée par un couvert végétal. C'est une donnée difficilement, voire même impossible, de mesurer à l'échelle d'une parcelle.

L'ETr dépend de :

- de la culture considérée;
- du stade phénologique de cette culture;
- du contenu en eau du sol;
- des conditions météorologiques observées.

II.1.3.2. Méthodes de détermination

II.1.3.2.1. Détermination par mesure directe

Méthode du bilan hydrique : Il s'agit d'estimer l'évapotranspiration réelle à partir des mesures de variation du stock d'eau du sol. Cette méthode se base sur l'équation du bilan hydrique et sur la déduction de l'évapotranspiration à partir de la détermination des autres termes de l'équation. Cette méthode sera appliquée sur une parcelle cultivée par une culture donnée

Le bilan hydrique simplifié s'écrit comme suit :

$$\sum \text{Apports} = \sum \text{Sorties}$$

L'équation du bilan hydrique, dans son expression la plus complète, s'écrit :

$$Pu + I = ETr + D \pm \Delta S$$

$$ETr = Pu + I - D \pm \Delta S \text{ (mm } j^{-1}\text{)}$$

Où :

Pu: précipitation utile;

I: irrigation;

D: drainage;

ETr: évapotranspiration réelle;

□S: stock d'eau dans la zone racinaire.

$$\Delta S = \text{Stock}_{\text{Final}} - \text{Stock}_{\text{Initial}}$$

L'utilisation de la réserve utile disponible peut nous aider à estimer ETr, deux cas sont possibles :

Cas n°1:

$$\text{Si } P_{ui} + R_{Udi-1} < E_{Tci} \quad \square \quad E_{Tri} = P_{ui} + R_{Udi-1}$$

Cas n°2:

$$\text{Si } P_{ui} + R_{Udi-1} \geq E_{Tci} \quad \square \quad E_{Tri} = E_{Tci}$$

Méthode du bilan énergétique

Le but de cette méthode est d'estimer l'évapotranspiration réelle à partir de l'équation du bilan d'énergie. A l'image de la méthode du bilan hydrique, on voudrait estimer l'évapotranspiration comme résidu d'une équation dont tous les autres termes seraient connus.

L'expression du bilan d'énergie instantané à la surface du sol, est :

$$R_n = G + H + \lambda E + A$$

où

R_n: rayonnement net;

G: flux de chaleur du sol;

H: flux de chaleur sensible;

A: assimilation photosynthétique;

E: flux de chaleur latente.

L'évapotranspiration (en W m⁻²) correspond au terme du flux de chaleur latente, E.

L'utilisation de l'équation du bilan d'énergie pour la détermination de l'évapotranspiration peut se justifier par le fait que, d'après de nombreux auteurs, le terme du flux de chaleur latente, soit le terme le plus difficile à estimer de l'équation.

Méthode par télédétection

Plusieurs méthodes sont utilisées pour l'estimation de l'évapotranspiration par télédétection à savoir :

Les méthodes empiriques directes où les données de télédétection sont directement introduites dans des modèles semi empiriques d'estimation de l'évapotranspiration (exemple : modèle simplifié de Jackson et al. 1977) ;

Les méthodes résiduelles du bilan d'énergie combinant certaines relations empiriques avec des modules physiques (exemple : SEBI, SEBAL) ;

Les méthodes déterministes généralement basées sur des modèles plus complexes tels que les modèles de transfert sol-végétation atmosphère (SVAT) qui calculent les différents termes du bilan d'énergie ;

Les méthodes basées sur les indices de végétation, ou méthodes inférentielles basées sur l'utilisation de la télédétection pour le calcul des facteurs de réduction tels que K_c , pour l'estimation de l'évapotranspiration.

II.2. Les besoins en eau d'irrigation

En général, le besoin en eau est défini comme la quantité d'eau qu'un usager demanderait en dehors de toute contrainte physique ou économique pour maximiser son utilité ou sa santé (Zoungrana, 2003)². Ainsi, le besoin en eau fait référence à un désir, un idéal souvent matérialisé par des normes (Falkenmark et Widstrand, 1992 ; Gleick, 1996 ; Howard et Bartram, 2003).

Dans le cas de l'usage de l'eau pour l'irrigation, le besoin en eau peut se référer au besoin en eau *total* des plantes pour une croissance optimale : humidité du sol, précipitations et apport supplémentaire en eau par les pratiques d'irrigation (Burt *et al.*, 1997 ; Howell, 2003 ; Wada *et al.*, 2011 ; Bonriposi, 2013) ou au besoin *net* qui ne concerne que l'eau apportée par l'irrigation. À ce titre, les modèles agronomiques distinguent les besoins en eau d'irrigation et l'évapotranspiration de la plante (Howell, 2003 ; Grouillet *et al.*, 2015). Cette

dernière est une approximation couramment utilisée pour estimer le besoin en eau total des plantes (Allen *et al.*, 1998). Ces exemples montrent que le besoin est une notion contingente, relative et d'ordre abstrait, qui ne peut être associée à une quantité d'eau tangible et mesurable : pour l'eau potable, le besoin est matérialisé par des normes alors que pour l'irrigation, il est matérialisé par des modèles empiriques.

On constate dans la bibliographie plusieurs facettes et terminologies de la notion des besoins en eau des cultures.

II.2.1. Besoins nets (Bnets) et besoins bruts (Bbruts) en eau d'irrigation

La formule de base déterminant les besoins en eau d'irrigation I , est déduite de la méthode du bilan hydrique dont l'expression est comme suit :

$$\sum \text{Apports} = \sum \text{Sorties}$$

$$I + Pu = ETc + D \pm \Delta S$$

$$\text{D'où } I = ETc - Pu + D \pm \Delta S$$

où

Pu : précipitation utile ;

I : irrigation ;

D : drainage ;

ETc : évapotranspiration potentielle d'une culture ;

ΔS : stock d'eau dans la zone racinaire.

Si l'eau d'irrigation est de bonne qualité $D = 0$ et si les irrigations sont régulières $\Delta S = 0$. Dans ce cas:

$$I = ETc - Pu$$

$$\text{D'où } I = Kc \times ETo - Pu$$

$$B_{nets} = Kc \times ETo - Pu$$

Pour calculer les besoins bruts en eau d'irrigation il faut tenir compte de l'efficacité globale (EG) d'irrigation (réseau et parcelle)

$$B_{bruts} = \frac{Kc \times ETo - Pu}{EG}$$

$$EG = E_p \times E_r$$

où

EG : efficacité globale ;

E_p : efficacité parcelle ;

E_r : efficacité réseau.

L'efficacité réseau E_r est de l'ordre de 0,95, tandis que l'efficacité à la parcelle dépend du système d'irrigation utilisé :

Irrigation de surface ou par gravité : E_p = 40 à 65% ;

Irrigation par aspersion : E_p = 70 à 85% ;

Irrigation localisée ou micro-irrigation : E_p = 80 à 90%.

II.2.2. Aptitudes des sols à l'irrigation

Un certain nombre de propriétés physiques du sol sont prises en compte pour savoir s'il peut ou non supporter l'irrigation. Ces propriétés varient :

Selon la texture du sol

L'eau s'infiltré plus ou moins vite à une même humidité. Un sol sablonneux a une vitesse d'infiltration supérieure à celle d'un sol argileux. La diffusion de l'eau est également importante à prendre en compte, surtout en irrigation localisée.

L'importance de la zone saturée en surface, située sous le point d'apport, dépend de la texture du sol; elle est surtout liée au débit du distributeur d'eau, mais également à la dose d'eau apportée à chaque irrigation.

Selon la texture du sol

A dose égale, certaines terres ne réagiront pas de la même façon à l'irrigation. Une terre à structure meuble, à agrégats, à haute stabilité, peut être irriguée sans grande précautions. En revanche, dans une terre instable, dont la structure se détruit facilement sous l'effet de l'eau, les mottes se désagrègent, il faut prendre des précautions particulières.

II.2.3. Paramètres fondamentaux de l'irrigation

II.2.3.1. Quantité d'eau nécessaire

Définition

C'est le volume d'eau total (V) à apporter par irrigation à un hectare de culture pendant toute la durée (T) de la saison d'irrigation. Il peut être exprimé en $m^3 \text{ ha}^{-1}$, en hauteur de lame d'eau déversée sur un hectare (mm ha^{-1}).

Estimation

Le volume V est estimé en fonction des besoins en eau de la culture (ETc), de la quantité d'eau de pluie infiltrée dans la zone racinaire du sol, de la pluie utile (Pu) et des stocks d'eau dans la zone racinaire du sol.

II.2.3.2. Module maximum d'irrigation (Q_{MAX})

Le module maximum d'irrigation (Q_{MAX}) est le débit que le sol peut accepter, exprimé aussi en $L\ s^{-1}\ ha^{-1}$ ou $m^3\ s^{-1}\ ha^{-1}$. Donc, il est fonction de la perméabilité K du sol. Sa valeur est estimée au moyen de l'expression :

$$Q_{MAX} = K \times S \times i$$

$$i \approx 1$$

$$Q_{MAX} = K \times S$$

où

K : perméabilité du sol;

S : Surface du sol;

i : gradient hydraulique.

II.2.3.3. Débit fictif continu (Q_{fc})

Le débit fictif continu représente le débit qu'il faut apporter à la parcelle 24 h sur 24 pour couvrir les besoins en eau des plantes en tenant compte des pertes à la parcelle. Il est exprimé en $L\ s^{-1}\ ha^{-1}$ et calculé par la formule suivante :

$$Q_{fc} = \frac{\text{Besoins en eau mois de pointe}}{24 \times 3600 \times n_j} \times 10^4$$

où

Q_{fc} : débit fictif continu;

n_j : nombre des jours du mois de pointe.

II.2.3.4. Débit effectif (Q_{eff})

Le débit maximum de pointe est le débit effectif qu'il est nécessaire d'introduire dans le réseau pour pouvoir combler le déficit en eau de la période de pointe du cycle.

Autrement dit, c'est le débit réel pour lequel le réseau est calibré. On supposera que l'agriculteur travaille X heures par jour et Y jours par mois. Ceci nous permet de calculer le débit effectif ou aussi appelé débit d'équipement. Il est exprimé en L s⁻¹ ha⁻¹ et calculé par la formule suivante :

$$Q_{eff} = Q_{fc} \times \frac{\text{Nombre de jours du mois de pointe}}{Y} \times \frac{24}{X}$$

où

Q_{eff} : débit effectif ou débit d'équipement;

X: nombre d'heures de travail par jour;

Y: nombre de jours de travail par mois.

II.2.3.5. Main d'eau (M)

C'est le débit qu'un irrigant dispose en tête de sa parcelle sans être freiné dans son travail par son insuffisance ni au contraire débordé par son ampleur. Il est exprimé généralement en L s⁻¹. En Tunisie la main d'eau varie entre 5 et 20 L s⁻¹.

II.2.3.6. Unité parcelle maximum d'irrigation (S_{MAX})

C'est la surface que l'on peut irriguer en une seule fois en utilisant toute la main d'eau M. Elle est exprimée en ha ou en m² et déterminée au moyen de la relation

$$S_{MAX} = \frac{M}{Q_{fc}}$$

II.2.3.7. Dose maximum d'irrigation (DMAX)

C'est la quantité d'eau apportée à la culture pendant une irrigation. Elle permet de remplir le réservoir sol jusqu'à la capacité au champ (\square_{CC}). Autrement dit, DMAX représente la réserve facilement utilisable du sol. Elle est exprimée en mm d'eau ou en $m^3 \text{ ha}^{-1}$.

$$D_{MAX} = RFU$$

$$D_{MAX} = \frac{1}{2} \text{ à } \frac{2}{3} \times \left(\frac{\theta_{CC} - \theta_{PF}}{100} \right) \times Z$$

Parfois la dose (D) à apporter à un sol pour le remplir à sa capacité au champ ne coïncide pas avec sa capacité maximale de stockage. Dans ce cas on apporte la dose manquante pour remettre le sol à sa capacité au champ. Cette dose est calculée comme suit:

$$D = \left(\frac{\theta_{CC} - \theta_i}{100} \right) \times Z$$

Où

- \square_i : humidité du sol avant irrigation (%);
- \square_{CC} : humidité du sol à la capacité au champ (%);
- \square_{PF} : humidité du sol au point de flétrissement (%);
- D: dose d'irrigation (mm);
- DMAX: Dose maximum d'irrigation (mm);
- Z: profondeur racinaire (mm).

II.2.3.8. Nombre d'irrigation par saison (N)

C'est le nombre N des doses D à apporter à la culture pendant la durée T de la saison d'arrosage. Il est déterminé au moyen de l'expression :

$$N = \frac{\text{Besoins en eau}}{\text{Dose d'irrigation}} = \frac{ETc}{D}$$

où

N: nombre d'irrigations par saison;

ETc: besoin en eau d'une culture (mm);

D: dose d'irrigation (mm).

II.2.3.9. Durée de la saison d'irrigation (T)

C'est la période durant laquelle la culture est irriguée (T), elle est exprimée en secondes. Autrement dit, c'est le temps écoulé entre le début de la première irrigation et la fin de la dernière irrigation. Exemple la saison débute du 1er avril et se termine au 30 septembre. Dans ce cas, la durée T est égale à 1581 1200 secondes.

II.2.3.10. Temps d'irrigation ou durée d'une irrigation (ta)

C'est le temps écoulé entre le début et la fin d'une irrigation. Autrement dit, c'est le temps nécessaire pour apporter une dose d'irrigation. Il est donné par l'expression suivante :

$$ta = \frac{\text{Dose d'irrigation}}{\text{Module maximum d'irrigation}} = \frac{D}{Q_{MAX}}$$

Où

ta: durée d'irrigation (s ou h);

D: dose d'irrigation (mm ou m³ ha⁻¹);

Q: module d'irrigation (mm h⁻¹, L s⁻¹ ha⁻¹ ou m³ s⁻¹ ha⁻¹).

II.2.3.11. Période ou intervalle d'irrigation (P_a)

C'est l'intervalle de temps séparant deux irrigations successives de la même culture. Autrement dit, c'est le temps nécessaire pour l'épuisement, par la culture, de la dose irrigation. Il est estimé par la relation :

$$P_a = \frac{\text{Dose d'irrigation}}{\text{Besoin en eau journalier}} = \frac{D}{ET_c}$$

où

P_a : intervalle d'irrigation (j);

D : dose d'irrigation (mm ou $m^3 \text{ ha}^{-1}$);

ET_c : besoin en eau journalier d'une culture (mm j^{-1} ou $m^3 \text{ ha}^{-1} j^{-1}$).

II.2.3.12. Diagramme résumé

La figure 12 résume les principaux paramètres fondamentaux qui caractérisent une irrigation :

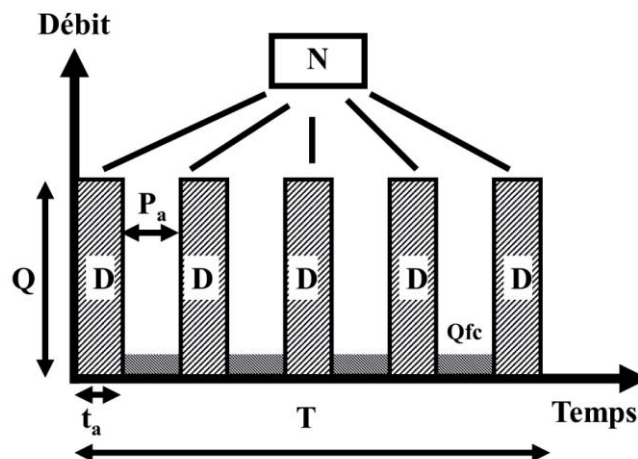


Figure 12. Représentation graphique de certains paramètres fondamentaux de l'irrigation.

Où

P_a : intervalle d'irrigation (j) ;

D : dose d'irrigation (mm ou $m^3 ha^{-1}$) ;

T : durée de la saison d'irrigation (s ou j) ;

ta : temps d'irrigation (s ou h) ;

Q : module d'irrigation ($L s^{-1} ha^{-1}$) ;

N : nombre d'irrigations ;

Q_{fc} : débit fictif continu ($L s^{-1} ha^{-1}$).

Conclusion

La complexité de calculs et des équations de base pour l'estimation des besoins en eau des cultures ont poussé les spécialistes de la matière à se remédier vers la modélisation. Ce qui représente notre principal objectif.

L'application de ces besoins théoriques se confrontent dans la réalité avec d'autres notions et aspects qui représentent à priori la réalité. Notamment l'efficacité et la productivité

Chapitre 3 : Concept de l'efficience et de la productivité de l'eau

Derrière le slogan « more crop per drop »

Chapitre 3 : Concept de l'efficience et de la productivité de l'eau

Introduction

L'efficience et la productivité de l'eau sont des indicateurs utilisés dans de nombreuses disciplines scientifiques, généralement pour rendre compte des pertes en eau qui surviennent au cours de son usage ou des produits générés par unité d'eau consommée. Leur perception est très diversifiée dans la littérature et converge souvent vers l'amalgame.

Le chapitre suivant décortique les deux notions et met la lumière sur leur importance.

III.1. Définition des notions d'efficience et de productivité de l'eau agricole

Les définitions les plus partagées présentent l'efficience de l'irrigation comme une mesure de l'efficacité de l'irrigation et l'efficience de la productivité de l'eau comme une mesure de l'efficacité du processus physiologique de production de biomasse et de formation de rendement des cultures, liée à leur consommation réelle en eau.

Ainsi, un consensus semble se dégager en faveur de la considération de l'efficience d'application de l'eau (Ea) comme le rapport de l'évapotranspiration réelle à l'eau appliquée à la parcelle et de la productivité de l'eau comme le rapport du rendement à l'évapotranspiration réelle. Le point de divergence réside fondamentalement dans la compréhension des termes constitutifs des expressions de la productivité (PE, Produit/"eau consommée") et de l'efficience d'application de l'eau (Ea, "eau consommée"/"eau appliquée").

En effet, le terme « eau consommée » est considéré selon les auteurs comme "l'évapotranspiration réelle", "l'irrigation brute plus l'eau de pluie", "l'évapotranspiration plus les eaux perdues à la parcelle mais profitables à d'autres usagers", etc. Par ailleurs, tout en apportant plus de précision sur les concepts d'efficience et de productivité de l'eau, cette revue montre que les facteurs qui affectent ces indicateurs sont peu élucidés. Ainsi, un des axes de recherche pourrait être la modélisation de l'efficience d'application de l'eau en fonction des pratiques de gestion et de la productivité de l'eau en fonction de la période de mise en place de la culture.

La raréfaction des ressources en eau et l'augmentation croissante de leur demande globale, particulièrement dans le secteur agricole qui détient 83% de la

consommation en eau dans le monde, nourrit le débat sur la problématique de l'amélioration de l'efficacité d'utilisation et de la productivité de l'eau. Les acteurs du secteur de l'irrigation, notamment les décideurs et les irrigants, ont besoin d'indicateurs sur l'efficacité de l'irrigation et la productivité de l'eau afin de mettre en place des stratégies appropriées de gestion durable des ressources en eau.

Cependant, ces concepts sont de plus en plus différemment perçus, entraînant des confusions dans leur appréhension, ce qui complique leur application et exploitation objective et consensuelle.

III.2. Efficacités de l'irrigation et évaluation des pertes

Les différents types de pertes peuvent être évalués en partant de la parcelle irriguée vers la source d'eau.

III.2.1 Pertes d'eau au niveau de la parcelle

L'efficacité de l'application de l'eau à l'échelle de la parcelle permet d'évaluer l'importance des pertes dues à la technique d'irrigation :

III.2.1.1. Coefficient d'uniformité (CU, %) :

Il permet de décrire la qualité de répartition de l'eau sur la surface du sol et par conséquent dans la zone racinaire. Il est exprimé par la formule suivante :

$$CU = 100 \times \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |w_i - \bar{w}|}{n \times \bar{w}} \right) \quad \text{où}$$

w : hauteur moyenne d'eau enregistrée (mm);

$i w$: hauteur d'eau mesurée au point i (mm);

n : nombre de point mesure de la hauteur d'eau.

III.2.1.2. Efficacité de stockage (E_s , %) ou d'emménagement de l'eau dans la zone racinaire :

Elle permet de juger l'importance de la quantité d'eau stockée dans la zone racinaire par rapport à la quantité totale d'eau apportée :

$$E_s = 100 \times \frac{\text{Volume d'eau stocké dans la ZR}}{\text{Volume de stockage potentiel de la ZR}}$$

L'efficience de stockage ne permet pas de donner une idée sur les pertes d'eau à l'échelle de la parcelle.

III.2.1.3. Efficience d'application (E_a , %) :

Elle permet de mettre en évidence l'importance des pertes d'eau lors d'une irrigation. On considère eau perdue tout ce qui est infiltrée au-dessous de la zone racinaire :

$$E_a = 100 \times \frac{\text{Volume d'eau stocké dans la ZR}}{\text{Volume total d'eau apporté}}$$

III.2.1.4. Efficience du réseau de distribution à la parcelle (E_{dp} , %) :

Elle permet de mettre en évidence l'importance des pertes d'eau au niveau du réseau de distribution d'eau à l'échelle de la parcelle. Cette efficience est exprimée par la formule suivante

$$E_{dp} = 100 \times \frac{\text{Volume d'eau reçu à la parcelle}}{\text{Volume d'eau reçu à la vanne d'irrigation}}$$

Les pertes d'eau au niveau de la parcelle sont caractérisées ou évaluées par

$$\text{l'efficience totale (} E_t \text{)} \quad E_t = E_u \times E_s \times E_a \times E_{dp}$$

III.2.2. Pertes d'eau au niveau du réseau de distribution (E_d , %)

Elle permet de mettre en évidence l'importance des pertes d'eau au niveau du réseau de distribution d'eau. Cette efficience est exprimée par la formule suivante :

$$E_d = \frac{\text{Volume d'eau comptabilisé}}{\text{Volume d'eau reçu en tête du périmètre}}$$

III.2.3 Pertes d'eau au niveau du réseau de l'adduction (E_{ad} , %)

Elle permet de mettre en évidence l'importance des pertes d'eau au niveau du réseau d'adduction. Cette efficience est exprimée par la formule suivante :

$$E_G = E_a \times E_s \times E_d \times E_{ad} < 1$$

III.2.4 Efficience globale d'irrigation (E_G , %)

$$E_G = E_a \times E_s \times E_d \times E_{ad} < 1$$

III.2.5 Efficience d'utilisation de l'eau d'irrigation (EUE)

Une autre confusion découle de la perception de la notion d'efficience d'utilisation de l'eau (EUE). On doit faire la différence entre l'efficience agronomique d'utilisation de l'eau (EAUE en kg m⁻³) et l'efficience économique d'utilisation de l'eau (EEUE en DT m⁻³). Ces deux efficiences sont généralement définies comme suit :

$$EA_{UE} = \frac{Y}{Ea}$$

$$EE_{UE} = \frac{P}{Ea}$$

où

EAUE: efficience agronomique d'utilisation de l'eau (kg m⁻³);

EEUE: efficience économique d'utilisation de l'eau (DT m⁻³);

Y: rendement (kg);

P: produit (DT);

Ea: eau appliquée (m³).

Dans cette expression, le dénominateur "eau appliquée ou eau disponible" est généralement considéré comme l'eau d'irrigation majorée des eaux de pluie. L'eau appliquée dans cette logique correspond à la quantité d'eau brute disponible à la parcelle ou au champ. De cette eau, une portion indéterminée équivalant à l'évapotranspiration réelle de la culture (ET_r) est utilisée pour la production de biomasse par la plante. Cette notion prend en compte la nécessité de maximiser la production par unité d'eau disponible dans un contexte de demande alimentaire croissante et de ressources en eau limitées.

III.3. Productivité de l'eau d'irrigation (PE)

La productivité de l'eau (PE) a longtemps été définie comme le rendement des cultures par unité de transpiration. Dans sa signification actuelle, la notion de productivité de l'eau dans le secteur de l'irrigation se fonde sur l'idée de "Produire plus de grains par goutte d'eau". Il s'agit d'une mesure de l'accroissement des productions par unité d'eau consommée et s'exprime par :

$$PE = \frac{P}{CE}$$

Où

PE : productivité de l'eau d'irrigation (kg m⁻³ ha⁻¹) ;

P : produit ou rendement (kg) ;

EC : eau consommée (m³ha⁻¹).

Des divergences et des nuances apparaissent dans la compréhension des termes "produit" du numérateur et "eau consommée" du dénominateur dans l'expression de la productivité. En effet, certains auteurs comprennent par "eau consommée", eau livrée, eau appliquée, eau disponible, etc., ce qui entraîne naturellement une confusion dans l'appréhension de la notion de productivité.

Conclusion

Le slogan « more crop per drop » veut dire consommer moins et gagner plus. Cette équation facile à prononcer, difficile à appliquer rejette beaucoup d'encre et de réflexion des chercheurs et gestionnaire de la matière, brutalisés par une réalité de terrain à l'extrême inverse de la norme.

Dans la partie suivante, nous exposons notre démarche et résultats sur l'évaluation des besoins en eau des cultures par Cropwat, la consommation réelle et les pratiques actuelles.

Dans la partie suivante nous détaillons tous ces concepts.

Partie II : Parti pratique

Chapitre 4 : Présentation générale de la wilaya d'El Oued

Chapitre 5 : Matériels et méthodes

Chapitre 6 : Résultats et discussion

Introduction :

Dans la partie suivante, nous exposons notre démarche et résultats sur l'évaluation des besoins en eau des cultures par Cropwat, la consommation réelle et les pratiques actuelles.

La partie pratique se compose conventionnellement de trois chapitres :

- Présentation de la zone d'étude
- Matériels et méthodes
- Résultats et discussion

**Chapitre 4 : Présentation générale de la
wilaya d'El Oued**

Chapitre IV : Présentation générale de la wilaya d'El Oued

Introduction :

Après qu'on a plongé la région dans sa dimension nationale et régionale, on va décrire dans ce chapitre la wilaya d'El-Oued dans son contexte historique, géographique et naturel, plusieurs volets seront développés dans ce chapitre issu d'un travail bibliographique et enrichis et actualisés par les données qu'on a récolté nous-même.

IV.1. Situation géographique de la wilaya d'El-Oued :

La Wilaya d'El Oued est située au Sud-Est de l'Algérie, 700 km au Sud-Est d'Alger, elle est l'une des collectivités administratives les plus étendues du pays avec une superficie de 44586.80Km².

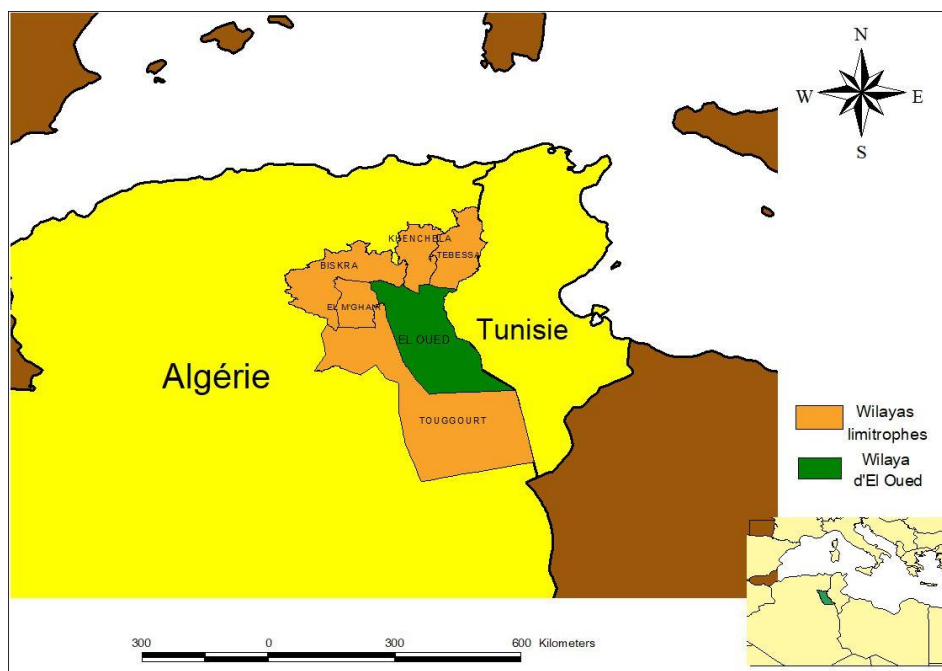


Figure13 : Situation géographique de la wilaya d'El Oued

La wilaya d'El Oued est située au sud-est de l'Algérie. Elle est délimitée :

- au nord, par les wilayas de Tebessa, Khenchela et Biskra

- A l'ouest par les wilayas d'El M'Ghair et de Touggourt ;
- au sud par la wilaya de Ouargla ;
- à l'est par la Tunisie.

IV.2. Aperçu historique :

Souf est un mot berbère qui a la même signification en arabe que le mot Oued, l'expression « Oued Souf » a donc la particularité de répéter deux fois la même signification du mot « fleuve » en français mais en 2 dialectes distincts.

IV.2.1. Origine des populations de la wilaya d'El-Oued :

Ibn-Khaldoun cite sans précisions l'origine des tribus qui ont demeuré cette région comme étant les Zenatas.

La présence des Romains et des phéniciens est signalée par l'existence de Ruines romaines dans plusieurs endroits dont le plus connu est El- Ogla dans la Daïra de Robbah.

Cependant, il faut retenir que la région a connu son essor qu'avec l'arrivée des musulmans sous le commandement de Hassan Ben-Noman qui vit l'émergence de deux tribus dans la région : Les « Troude » et les « Adouan » qui ont dominé cette région jusqu'à l'arrivée des Français en 1872.

Les mouvements insurrectionnels commencent alors contre l'occupant en 1872 par le frère d'El-Mokrani et Abdelaziz Ben-El-Hadad, suivi par la révolte des Bouchoucha. Ces insurrections vont se poursuivre jusqu'en 1917 où El-Hachemi Ben- Brahim de la Zaouia El-Kadiria déclare la guerre contre l'occupant.

IV.3. Aperçu démographique et répartition administrative :

La zone d'étude occupe une superficie de 54 573 Km² qui représente 22 communes (le nouveau découpage administratif de 2019) et englobe un nombre de population de plus de 647 548 habitants (recensement 2008).

IV.4. Aperçu économique :

L'agriculture et le commerce représentent les principales activités des habitants de la région. La culture dominante est la pomme de terre et quelques cultures maraîchères viennent après le palmier dattier, les arachides et le tabac en dernier.

La ville d'El-Oued est un centre d'échange commercial très actif grâce à sa position géographique.

En ce qui concerne les activités artisanales, la région a toujours été un centre artisanal, connu particulièrement dans la confection des outils du travail destinés à l'agriculture ainsi que les tapis tissés.

Enfin son architecture est admirable, distinctes par les coupoles qui coiffent les maisons.

IV.5. Aperçu climatique :

La caractérisation du climat du terrain d'étude a été réalisée sur la base des données chronologiques de la station météorologique représentative qui est celle d'El Oued.

La série de données s'étalant sur une période de 25 ans, de 1990 jusqu'à 2015, année durant laquelle les mesures in situ ont été réalisées. Les coordonnées de la station sont : Attitude 33° 30' Longitude 06° 47' Altitude 62m

IV.5.1. Précipitations :

Les hauteurs des pluies enregistrées au niveau de la station d'El Oued s'élèvent à 72 mm en moyenne par an. Le mois le plus pluvieux est celui de janvier avec 17.5 mm tandis que le mois le plus sec est le mois de juillet avec une pluviométrie presque nulle, soit 4 mm. On note une irrégularité des pluies durant

les mois de l'année. Elles sont distribuées de façon hétérogène, le pic étant constaté durant la période hivernale, notamment au niveau du mois de janvier.

Tableau02 : Précipitations moyenne mensuelle et annuelle à El Oued sur la période 1990-2015.

mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	année
P (mm)	17.5	2.9	7.5	6.6	4.8	0.9	0.4	2.2	7	6.5	7.5	8.1	71.9

(ONM, 2015)

IV.5.2. Température :

Tableau 03: Températures minimales, maximales et Moyenne à El Oued sur la période 1990-2012.

Mois	T min (C°)	T max (C°)	T moy (C°)
J	7.6	19,8	13,8
F	6,7	19,5	12,9
M	10,6	23,8	17
A	14	28	21
M	19	33	26
J	23,7	38,3	31,2
Jt	26,5	41,4	34,1
A	26,5	40,8	33,7
S	23	36	29
O	17,5	30,14	23,5
N	10,7	23,3	16,6
D	6,4	18	11,6
Moy	16	29.3	22.6

(ONM, 2015)

Les températures maximales enregistrées correspondent à la période estivale (juillet et août) avec des maxima de 41,4°C et 40,8°C.

Quant aux températures les plus basses sont enregistrées durant les mois de décembre, janvier et février avec des minima de 6.4 jusqu'à 7.6 °C.

D'une manière générale, les températures sont élevées durant tous les mois de l'année, reflétant ainsi à la zone un climat aride et chaud avec une importante amplitude thermique annuelle de l'ordre de 36,2°C.

IV.5.3. Synthèse climatique

Pour notre station, le diagramme montre que la période sèche s'étale sur presque toute l'année compte tenu des températures très élevées et des faibles précipitations (Figure 4). Quant au quotient d'Emberger calculé pour la station d'El Oued, est égal à 7.4, ce qui situe la zone d'étude dans l'étage bioclimatique hyper aride à hiver chaud (figure 4).

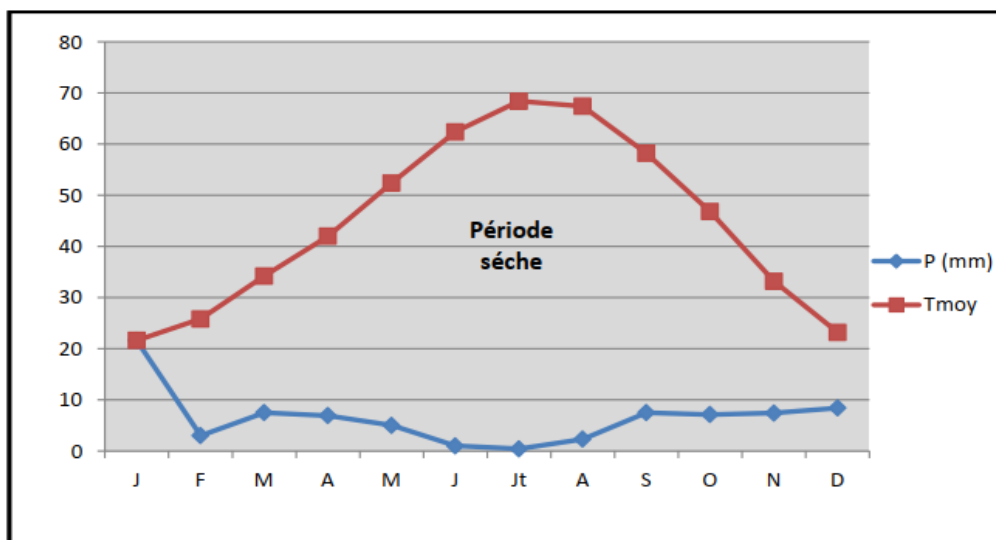


Figure14 : Diagramme ombrothermique de GAUSSEN appliquée à la région du Souf

IV.5.4. Humidité relative de l'aire :

L'appréciation de ce facteur est traduite par le rapport en pourcentage (%) de la tension de la vapeur à la tension maximale correspondant à la température. Elle exprime en réalité l'état hydrométrique de l'atmosphère qui varie beaucoup au cours de la journée.

Elle est maximale au lever du soleil, par contre le taux le plus faible est observé en milieu de la journée. Elle augmente pendant les saisons pluvieuses et froides où elle atteint ses valeurs maximales en décembre et en janvier (64 %). Elle diminue progressivement en allant vers la saison chaude et sèche où elle atteint sa valeur minimale pendant le mois de juillet (29%).

Tableau 04 : Pourcentage d'humidité relative de l'air à El Oued sur la période de 1990-2015.

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
H(%)	64	53	47	41	35	31	29	32	43	50	58	64

(ONM, 2015)

IV.5.5. Evapotranspiration potentielle (ETP) :

L'ETP annuelle est de 1 731 mm/an en moyenne. Durant le mois de pointe elle est de 257mm.

Tableau 05: l'ETP mensuelle et annuelle à El Oued à partir de la série de donnée 1990 – 2015.

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Total
ETP(mm/mois)	41	67	122	169	222	244	257	231	170	111	59	38	1 731

(ONM, 2015)

IV.5.6. Vent :

Les vents sont de direction Nord–Ouest vers Sud–Est. La vitesse moyenne enregistrée au niveau de la station d'El Oued est modérée, en moyenne 3 m/s. Les vents de sable (simouns) soufflent de mars à juin et peuvent atteindre un maximum de 4 m/s.

Tableau 06: Vitesse de vent en moyen mensuel et annuel sur la période de 1990-2015.

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	moyenne
Vitesse du vent	2,2	2,7	3,3	4	4,2	4	3,5	3	2,9	2,3	2,3	2,2	3

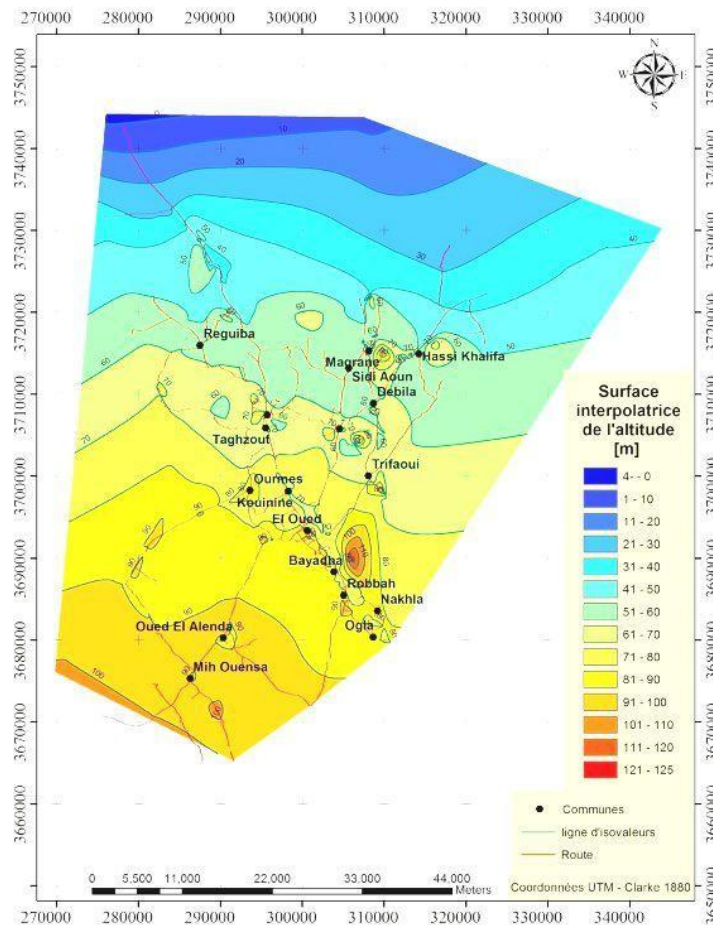
(ONM, 2015)

IV.5.7. Insolation :

L'insolation est de 7 à 11 heures/jours ; elle est maximale au mois de juillet avec 11,5 heures/jours et minimale en décembre avec 7,2 heures par jours.

IV.6. Topographie :

La région d'El-Oued appelée aussi région du Bas-Sahara à cause de la faible altitude et sa situation au Sud-Est du pays. Le point le plus haut se trouve à la cote 125m à la commune d'Essoualah, alors que le point le plus bas se trouve à la cote 29m à la commune de Réguiba (Foulia).



(ANRH, 2005).

Figure15: Carte topographique de la vallée du Souf,

L'altitude moyenne de la région est de 80 m et dénonce une diminution du Sud vers le Nord pour être de 25 m au-dessous du niveau de la mer dans la zone des Chotts (ANRH, 2005).

IV.7. Relief :

Le relief de la wilaya d'El Oued est caractérisé par l'existence de trois principales formes :

- **Une région sableuse** : se présente sous un double aspect, l'Erg et le Sahane.

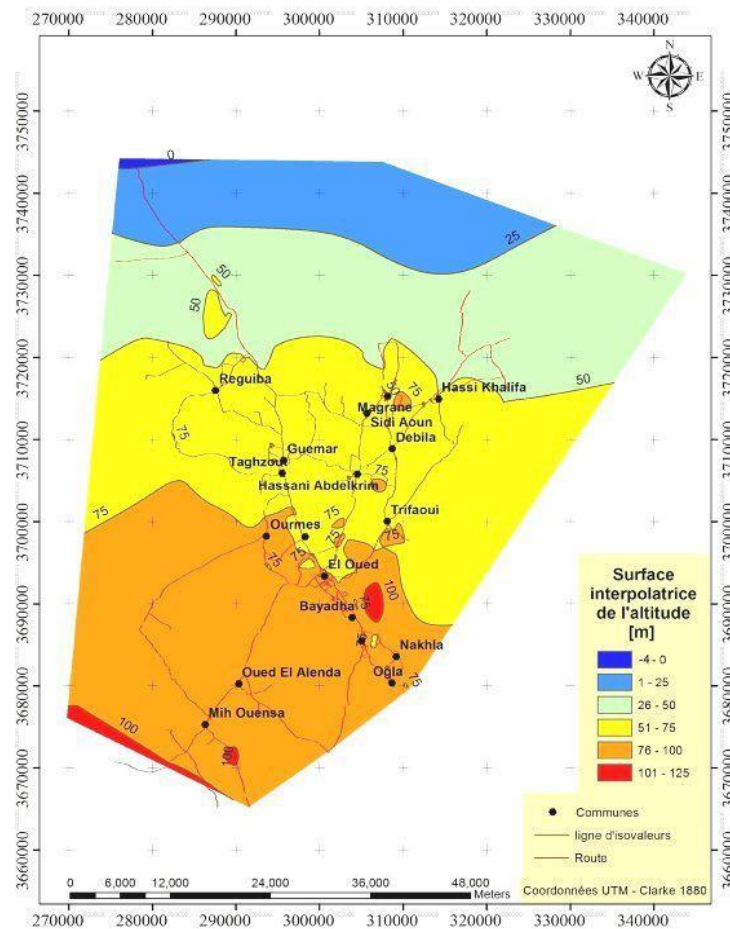
- Une forme de plateaux rocheux, qui s'étend vers le Sud avec une alternance de dunes et de crêtes rocheuses.
- Une zone de dépression, caractérisée par la présence d'une multitude de chotts qui plongent vers l'Est.

La différence fondamentale à faire dans le relief du Souf est celle qui existe entre l'Erg et le Sahane :

- **l'Erg** est une région où le sable s'accumule en dunes; c'est la partie la plus importante, elle occupe 3/4 de la surface totale, est relativement épaisse, toujours de l'ordre de plusieurs dizaines de mètres, les forages récents de puits ont montré une épaisseur un peu plus grande qu'on ne le pensait 70-80m dans la partie sud de Souf, 60m à l'endroit d'El-Oued, il s'amincit progressivement vers le Nord du Souf à 30m, et n'est plus qu'une couverture au niveau des sebkhas. Il repose sur un substratum argileux imperméable du Pliocène.
- **Le Sahane** est une région plate et déprimée, parfois caillouteuse, formant les dépressions fermées, entourées par les dunes, au fond desquelles, quelques rares végétaux poussent sur une croûte gypseuse.

D'autre part, Le relief du Souf est presque tout entier compris entre trois lignes principales orientées Est-Ouest

- La première ligne au Sud est la courbe de 100m, passe par El-Ogla, Amiche, Oued Ziten et Oued El Alanda.
- La seconde au milieu est la courbe de 75m, passe par Z'goum, Guemar et Taghzout.
- La troisième au Nord est la courbe de 50m, passe par Hassi Khalifa, Magrane et Rguiba.



(ANRH, 2005).

Figure16: Carte du relief de la région du Souf

IV.8. Aperçu pédologique :

Le sous-sol présente des contrastes frappants. C'est ainsi qu'au Sud, à 6 km d'El-Oued jusqu'à El-Ogla, 24 Km plus loin, nous remarquons l'absence totale de « Tefza » (pierre à plâtre calcaire), tandis que sur un autre axe allant de El-Oued à Ghamra (en passant par Tiksebt, Kouinine et Guemar) la « Tefza » y occupe tout le terrain. Une coupe dans le sol nous permet de distinguer :

- **Tercha** : Formé de fins cristaux qui lui donnent un aspect de grès ; se rencontre en plaques continues ou en bancs extrêmement durs, il est composé de cristaux enfer.

- **Louss** : il est fait de cristaux de gypse en fer de lance imbriqués, il se rencontre sous forme de couches continues, très dures de réseaux mélangés au sable, de bancs isolés ou de colonnes qui semblent être constituées autour d'anciennes racines gypseuses.
- **Salsala ou Smida** : Se trouve en plaques continues ou en bancs extrêmement durs, il est composé de cristaux en fer comme le Louss, mais plus fins et plus serrés.
- **Tefza** : C'est un grès blanc assez dur, constituant la pierre à chauffer qui donnera le plâtre. (Tercha, Louss, Salsala, Smida et Tefza) sont les appellations locales, utilisées pour les différentes couches dessous).

IV.9. Potentialités hydro-agricoles : Aperçu hydrogéologique :

Du point de vue hydrogéologie, la région d'El Oued est représentée par deux systèmes aquifères, à savoir : le Complexe Terminal et le Continental Intercalaire. Ces deux systèmes sont surmontés par une nappe libre appelée nappe phréatique.

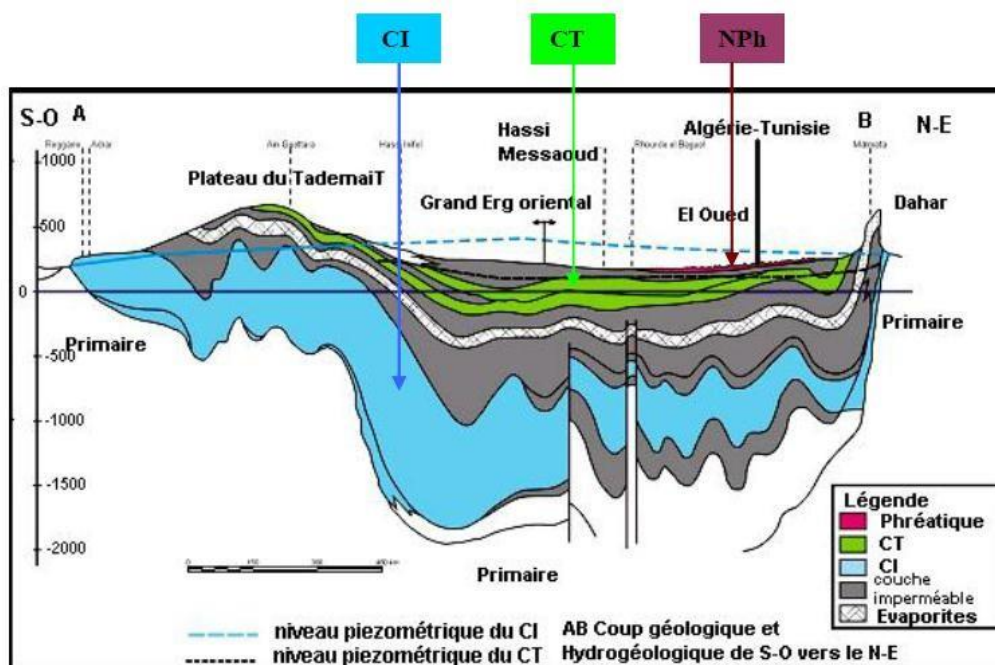


Figure17: Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (UNESCO, 1972)

IV.9.1. Nappe Phréatique :

La nappe phréatique présente dans toute la région du Souf, correspond essentiellement à la partie supérieure des formations continentales déposées à la fin du Quaternaire ; elle se localise à des profondeurs variantes entre 10 et 60 mètres.

Vu son importance, cette nappe représente la source principale en eau des palmeraies, elle est surtout exploitée par des puits traditionnels qui selon les enquêtes sont en nombre de 21 000.

IV.9.2. Nappe du Complexe Terminal (CT) :

Ce terme regroupe sous une même dénomination, un ensemble de nappes aquifères qui sont situés dans la formation géologique différentes : Sénonien carbonaté, Eocène et Miopliocène sableux.

D'après CORNET 1964, nous rappelons l'existence des 03 nappes dont les deux premières correspondent respectivement aux nappes de sables d'âge Miocène (Pontien) et Pliocène, alors que la dernière à l'Eocène inférieur.

IV.9.3. Nappe du Continent Intercalaire (CI) :

Le terme « C.I » correspond ainsi aux formations continentales du Crétacé inférieur cette période se situe entre deux cycles sédimentaires régit par une régression marine suivit d'une transgression du Crétacé supérieur. Le Continent Intercalaire occupe l'intervalle stratigraphique compris entre la base Trias et le sommet de l'Albien. Le traitement manquant du réservoir aquifère du Continental Intercalaire est son volume considérable dû à la fois à son extension sur plus de 600 000 Km² et son épaisseur moyenne de plusieurs centaines de mètres. Bien que l'intérêt majeur de ce système aquifère soit constitué par les grandes quantités d'eaux qui ont été stockées au cours des périodes pluvieuses du Quaternaire et qui peuvent maintenant être exploitées ; il reçoit encore de nos jours une alimentation naturelle par les eaux météoriques et présente donc un fonctionnement hydraulique caractérisé par une alimentation, un écoulement et une série d'exutoire.

IV.9.4. Aspect qualitatif :

Du point de vu potabilité et aptitude à l'irrigation. D'après l'interprétation des analyses physico- chimiques, ces eaux sont trop salées et la concentration des éléments majeurs dépasse de loin les normes de potabilité de l'OMS, ce qui nous laisse parler à des eaux de mauvaise qualité pour la consommation humaine.

La classification des eaux du CT selon le diagramme de Richards montre qu'elles ont des conductivités très fortes et sont impropres pour les utilisations agricoles. Cette situation a conduit les habitants de la région d'Oued Souf à acheter les eaux des citernes (eaux traitées ou provenant des régions voisines) pour leur propre consommation et n'utiliser les eaux de robinet (de CT) que pour le lavage et l'arrosage des espaces verts et des jardins. Ainsi, la dotation journalière devient très élevée (dépassant les 200 litres/jour/habitants), ce qui a pour conséquence une mauvaise gestion de cette ressource rare et vulnérable.

IV.10. L'évolution de l'agriculture soufi :

IV.10.1. À l'époque de l'agriculture ancienne et ancestrale :

Autrefois le Souf était réputé à la fois pour ses systèmes de cultures diversifiés mais aussi pour l'élevage, le nomadisme.

La principale culture traditionnelle, le palmier dattier, se fait sans irrigation. Les palmiers sont plantés dans des creux ou entonnoirs (les ghouts) ce qui permet aux racines d'atteindre directement la nappe phréatique (Bataillon, 1960). Marc Côte (2006) dans son livre avait également raconté et décrit l'originalité et conditions édaphiques de la région.

Ces cratères étaient creusés à main d'hommes (l'ingéniosité du système hydraulique traditionnel des ghouts ainsi que son équilibre avec les Ramel) jusqu'à atteindre la profondeur adéquate pour planter le palmier 1.5 à 2 m au-dessus du toit de la nappe.

La fécondation et la récolte se faisaient aussi manuellement par des spécialistes (El Dékaria).

Selon les anciens agriculteurs interviewés (âgés de plus de 70 ans) le système et ces techniques locales remontent à plus de 5 générations au 18ème siècle et les palmiers étaient constitués de plus de 60 variétés.

Un des principaux changements au cours du 20ème siècle concernait justement le choix des variétés. Selon Daviault (1947) en 1930 le Souf comptait déjà plus de 350 000 palmiers et la production atteignait les 50 kg/palmier (70 et 80 kg/palmier selon nos enquêtes).

Les variétés à consommation locale notamment Ghars était les plus dominantes alors que les palmiers de Deglet Nour ne représentaient que 8 % de l'ensemble.

L'accroissement de la variété destinée à l'exportation Deglet Nour devient remarquable ensuite dès 1953 où la proportion atteignait environ 30% (Bataillon,

1960).

Cela était imposé par les politiques coloniales qui visaient l'augmentation des exportations vers l'Europe, selon les cadres de l'agriculture et nos anciens agriculteurs interviewés.

A côté du Ghout, souvent un petit carré était aménagé, de quelques ares, destiné aux cultures associées notamment le maraichage principalement pour l'autoconsommation. « *A El Oued, très souvent, dans un coin de la palmeraie, un petit jardin est installé autour d'un puits. Il est limité par des haies de Djérids où on cultivait des carottes, des navets, des oignons, des courges (appelés Cabouilla), des piments et des tomates* » (Daviault, 1947).

Pour les anciens Soufis l'appellation la plus commune est « *El Houd* », et englobe les diverses composantes de cet ancien modèle d'exploitation : le Ghout non irrigué (Bâli), ainsi que les deux recoins, en surface, qui lui sont associées.

L'un est consacré au jardin des cultures potagères irriguées par un puits traditionnel (El Khotara) qui alimente manuellement les séguia (Côte, 2006). Tandis que le second contient une petite écurie.

Certains Soufi cultivaient également, dans les petits jardins associés au Ghouts, des cultures fourragères servant comme aliments de bétail. A ce propos l'élevage figurait parmi les activités qui permettaient une diversité de revenus. En 1942, le cheptel d'El Oued comprenait 50 000 caprins, 45 000 ovins et 10 000 camelins (Daviault, 1947).

Les cultures fourragères permettaient l'engraissement des agneaux dans l'écurie d'El Houd.

Quant au reste du troupeau (brebis, caprins et camelins), il était confié aux nomades, notamment les « *Rebaia* », pour le pâturage sur des parcours.

Le nomadisme a joué également un important rôle pour la durabilité de l'élevage à El Oued et jusqu'à ce jour. Le Souf est un pays de refuge où les nomades ont afflué et se sont progressivement attachés, grâce aux facilités d'une agriculture sans irrigation (Bataillon, 1963).

Celle-ci a favorisé leur sédentarisation progressive, les plus anciens arrivés sont, bien sûr, les plus sédentarisés.

Au total, on comptait dans le Souf dans les années 1950 sur 100 000 habitants environ 17 000 semi-nomades, dont 14 000 sont des Rebaia (ibid).

Ces derniers possédaient et cultivaient des palmiers dans la région du Souf et ils nomadisaient plus de la moitié de l'année, avec leurs troupeaux, dans le nord, l'est et le sud-est de l'Erg oriental.

Dans l'ensemble les Rebaia sont des pasteurs et ne passaient que deux mois dans les palmeraies, au moment de la récolte.

IV.10.2. Le déclin des ghouts et la remontée des eaux :

Selon le bilan dressé par les Services agricoles de la Wilaya (cité par M. Côte dans Si le Souf m'était conté, 2006) il y a un ennoïement de 915 ghouts (sur les 9400 Ghouts du Souf) répertoriés sur 18 des 30 communes que compte la région.

Cela correspond en 2004 à un bilan de 100 000 palmiers morts par asphyxie et 200 000 supplémentaires qui sont menacés, cependant cette situation a continué à se dégrader depuis lors...

Une enquête menée en 2007 auprès des Ghouts du Souf permet d'évaluer ce phénomène d'ennoïement des palmiers (Leghrissi, 2007).

Bien que le nombre d'exploitation approché ne soit pas très important (102 exploitations au total) cela permet d'avoir une idée de la situation actuelle.

Au total il apparaît que 30% des Ghouts visités se trouvent dans une situation critique, les palmiers de ces exploitations étant soit morts soit noyés.

Ce constat est d'autant plus inquiétant que 32% supplémentaire présentent des signes alarmants pour leur futur.

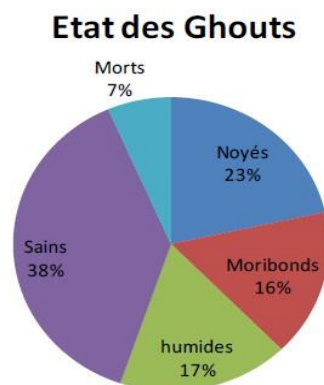


Figure18: Etat des ghouts dans la wilaya d'Oued Souf (Leghrissi, 2007)

Ce phénomène complexe de remontée de la nappe phréatique apparaît pour l'œil étranger particulièrement inattendu dans une région aussi aride.

Cependant celui-ci s'explique par l'accumulation d'une très large quantité d'eau dans le sous-sol de la région avec en plus de la nappe phréatique, deux niveaux de nappes profondes appelés continental terminal et continental intercalaire.

Depuis les années 1980 avec la modernisation progressive de l'agriculture

du Souf, l'agriculture a commencé à faire appel à l'eau profonde pour l'agriculture.

Une dizaine de forages réalisés par les pouvoirs publics ont assuré la mise en valeur irriguée avec châteaux d'eau et réseaux de conduites. La restitution des eaux usées de l'agriculture s'est alors effectuée dans la nappe phréatique provoquant la remontée de celle-ci et l'enneigement des Ghouts.

L'extension urbaine joue également un rôle important dans ce phénomène. Les nappes profondes étant généreuses l'utilisation de l'eau pour la consommation urbaine s'est longtemps déroulée sans le moindre contrôle des pouvoirs publics. L'eau est jusqu'à aujourd'hui encore, payé par forfait indépendant de la quantité utilisée, ce qui n'incite pas à la retenue.

Cela a amené à une situation dans les années 1990 où la consommation moyenne d'un habitant du Souf étant de 400 litres/hab/jour tandis qu'en France elle ne dépasse pas 140... Même s'il y a eu depuis lors un effort de limitation de la consommation, l'impact négatif de cette surexploitation des nappes profondes s'est fait ressentir sur le niveau de la nappe superficielle.

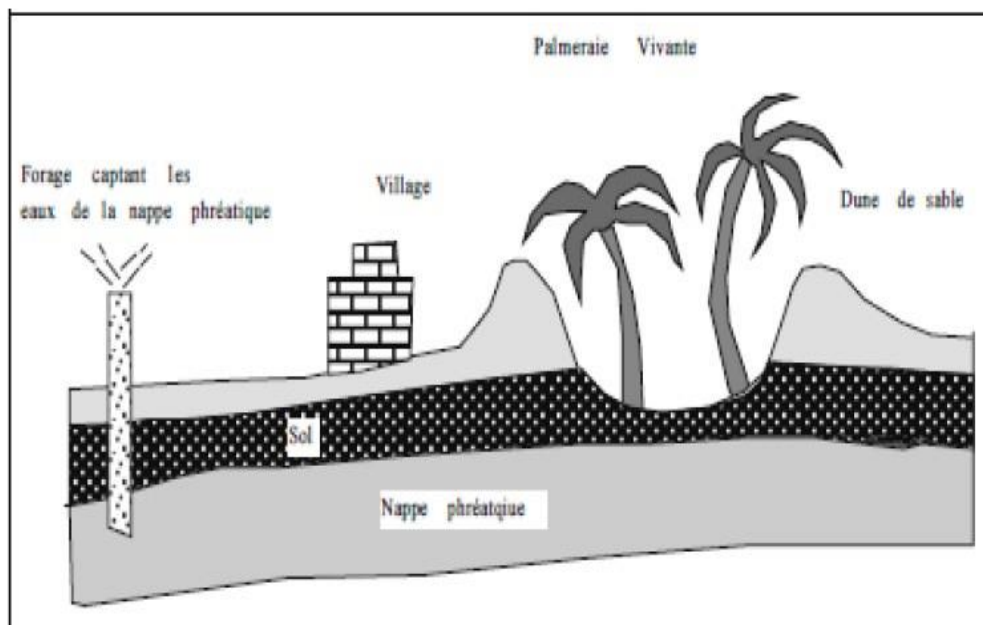


Figure 19: Explication graphique du phénomène de remontée de la nappe (REMINI, 2006)

Ce n'est alors pas un hasard si le phénomène de remontée de la nappe phréatique est concomitant des programmes de l'Etat visant à promouvoir un nouveau mode d'exploitation, les retours d'irrigation étant l'une des causes explicatives de la remontée de l'eau dans les Ghouts.

Cependant il serait fallacieux de considérer que l'envolement des Ghouts est une simple conséquence du programme APFA de l'Etat.

En effet, la progression vertigineuse de l'agriculture à fleur de sol peut également être perçue comme une réaction endogène des exploitants des Ghouts face à une situation de crise.

Un cercle vicieux s'est donc mis en place, à chaque nouveau Ghout envoyé pouvant correspondre une augmentation de la superficie des palmeraies moderne et donc une alimentation du phénomène de remontée de la nappe causé par les retours d'irrigation.

Au cours des années 2000 ce phénomène a continué de provoquer la mort de nombreux Ghouts et les pouvoirs publics semblent impuissants pour endiguer ce phénomène.

Les services agricoles d'El Oued ont certes procédé à la réalisation de puits à l'intérieur des Ghout pour le pompage de l'eau excédentaire qui était alors utilisé pour l'irrigation de cultures autour du Ghout, à la mise en place de réseaux d'assainissement et de drainage des eaux usés mais il ne s'est agi que de solutions à court terme.

Celle-ci n'a servi qu'à limiter les conséquences de la remontée de la nappe sans s'attaquer aux causes sous-jacentes du phénomène.

IV.10.3. L'arrivé de la pomme de terre dans la région : *La marque déposée de la wilaya*

Le système Ghout existe depuis plus de 12 siècles. Il a permis une viabilisation de l'espace extrêmement aride du Sahara et ainsi participé à la sédentarisation progressive des habitants de la région.

Aujourd'hui encore, ce mode d'exploitation de la terre permet à de nombreuses familles du Souf de vivre grâce aux revenus issus de la vente des dattes et des cultures intercalaires utilisées pour la consommation familiale. Le paysan Soufi cherche avant tout à offrir nourriture et cadre de vie agréable pour sa famille.

Cependant la crise hydraulique de ces dernières décennies rend cet objectif plus difficile à atteindre.

L'arrivée de la pomme de terre à Oued Souf démontre alors la capacité d'adaptation de l'agriculteur Soufi à une situation de crise.

Ces derniers avaient d'abord opté, avec l'aide de l'état, pour des cultures maraîchères situés au bord du Ghout et irrigués avec le trop d'eau causé par la remontée de la nappe. Ils ont ensuite adapté leur agriculture en valorisant une nouvelle production pour la région, celle de la pomme de terre.

A première vue, l'apparition de la pomme de terre dans la région peut ainsi être perçue comme une réaction endogène d'une agriculture en crise.

Ce sont les producteurs des Ghouts qui se sont lancés dans la culture de la pomme de terre au moment où leurs exploitations subissaient les conséquences de la remontée de la nappe.

Cependant l'augmentation de la surface cultivée dans le Souf a été vertigineuse et est sans commune mesure avec le phénomène d'envolement des Ghouts.

La superficie cultivée de pomme de terre est à l'heure actuelle de 13259 Ha ce qui représente plus d'un tiers de la superficie affectée au palmier dattier pourtant culture historique de la région.

Cela s'explique par les revenus très élevés qu'offre cette culture spéculative et qui attire des « agriculteurs- investisseurs » de tout le pays.

Il est alors nécessaire de s'interroger sur la capacité de cette culture à s'intégrer durablement dans l'agriculture Soufi : nous nous demanderons s'il s'agit d'un système adapté aux conditions particulières de l'agriculture saharienne.

La culture de la pomme de terre apparaît ainsi comme étant très rentable. Cette rentabilité extrême de cette culture spéculative avait également été mise en avant par Anya Bellali en 2009 à la suite d'une enquête auprès d'un agriculteur ayant diversifié sa production.

Il apparaissait alors que la culture de la pomme de terre était devenue la principale source de bénéfice loin devant les autres activités.

D'après la définition de M. Mazoyer : « Un système agraire est d'abord un mode d'exploitation du milieu, historiquement constitué et durable, un système de forces de production adapté aux conditions bioclimatiques d'un espace donné et répondant aux conditions et besoins sociaux du moment ».

Cependant la rentabilité économique n'est pas le seul facteur affectant la capacité d'un système de production agricole à s'imposer sur le long terme dans le paysage d'une région, la notion de la durabilité est liée essentiellement à l'aspect environnemental.

L'évaluation de l'impact des nouvelles pratiques agricoles sur la biodiversité ainsi que leur optimisation font l'objet de notre travail.

Conclusion :

Dans ce chapitre, on a étalé la wilaya d'El Oued dans toutes ces caractéristiques dans la façon la plus exhaustive et détaillé possible dans le but d'amener les éléments de réponse sur les besoins en eau des cultures et son différenciation spatio-temporelle.

L'objectif était aussi de présenter un document descriptif référentiel de la wilaya qui sert comme un support administratif mais surtout scientifique pour les chercheurs qui s'intéressent à la wilaya.

Chapitre 5 :
Matériels et méthodes

Chapitre 5 : Matériels et méthodes

Introduction

Nous avons comme objectif, l'estimation et la modélisation des besoins en eau de cultures.

Cette estimation nous pourra gère tenir la route sans un diagnostique exhaustif des pratiques d'irrigation actuelles ainsi que l'estimation de la consommation réelle.

Pour clarifier, expliquer et développer tout ce qui précède, nous avons opté pour notre démarche méthodologique adaptée à notre contexte, accessible et efficace vis-à-vis les différentes contraintes.

V.1. Approche méthodologique

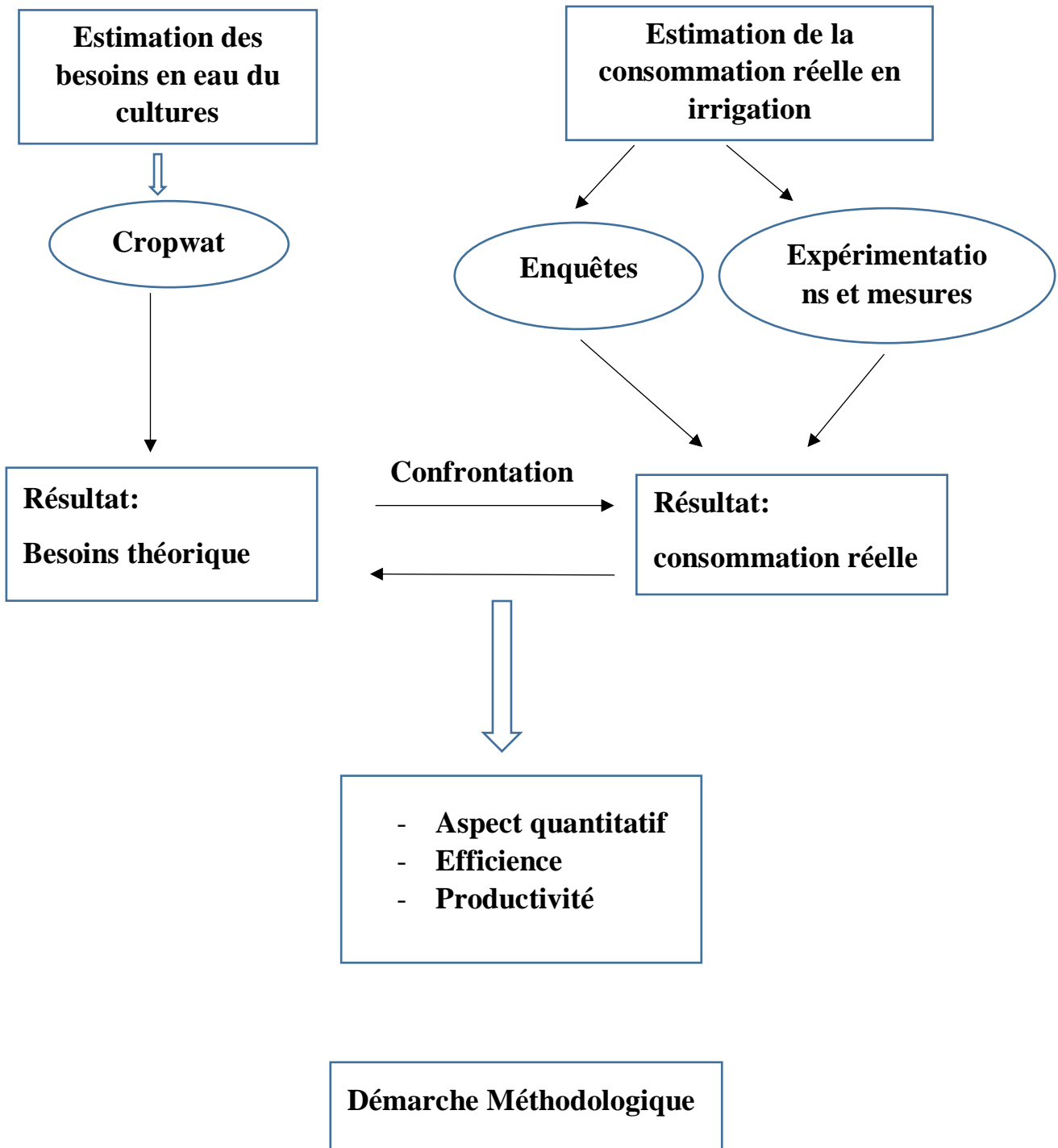
Rappelant la question majeure de notre travail :

Quels sont les besoins en eau d'irrigation effectifs de la wilaya ? sont-ils bien estimés et/ou appliqués en réalité ?

Pour répondre à cette interrogation tend importante, nous avons comme objectif, l'estimation et la modélisation des besoins en eau des cultures en choisissant un modèle accessible et adapté à notre contexte.

Cette estimation ne pourra gère tenir la route sans un diagnostique exhaustif des pratiques d'irrigation actuelles ainsi que l'estimation de la consommation réelle en eau au niveau des exploitations par des enquêtes préalables et des mesures in situ.

Pour développer tout ce qui précède, nous avons opté pour la démarche méthodologiques suivante.



V.2. Estimation et modélisation des besoins en eau des cultures : *théoriques, optimales*

V.2.1. Aperçu général sur la modélisation des besoins en eau des cultures

Les besoins en eau d'une culture dépendent d'une combinaison de facteurs liés à la culture, au sol et au climat. Le climat conditionne le plus l'évapotranspiration des cultures et donc leurs besoins en eau (Doorenbos & Pruitt, 1975). L'évapotranspiration maximale (ETM), combinée à la pluie efficace (pluie réellement utile à la plante), en vue de déterminer les apports d'eau nécessaires à une culture en plus de cette pluie, a longtemps servi pour le pilotage des irrigations (Mailhol & Picheral, 1994). Cependant chaque culture a ses besoins spécifiques, fonction de leur développement aérien et leur développement racinaire, et puise sont dans le sol dont les caractéristiques influencent le stockage et la disponibilité de l'eau. Selon Mailhol (2001), les modèles de bilan hydrique peuvent être classés en deux grandes catégories :

- **Les modèles mécanistes** : qui se basent sur des lois physiques constituent la première catégorie. Ils reposent sur l'équation de Richards (1931) qui associe la loi de Darcy généralisée aux milieux non saturés et l'équation de continuité. Ces modèles tentent de décrire avec le maximum de précision, l'évolution des potentiels hydriques et des teneurs en eau dans le profil du sol dans le but de mieux prendre en compte de l'ensemble des flux. Il en va notamment des remontées capillaires (importantes en présence d'une nappe peu profonde) et des conditions d'écoulement proches de la saturation. La quantification des variations des teneurs en eau dans l'environnement physique de la plante et leur impact sur sa production, peut être correctement simulé (Sinclair & Seligman, 1996 ; Mailhol, 2005). Ces types de modèles ont, grâce aux moyens actuels de calculs, considérablement gagné en vitesse d'exécution. Cependant, l'importante variabilité spatiale des paramètres hydrodynamiques nécessaires à ce type de modèles, même à l'échelle d'une parcelle (Kutilek & Nielsen, 1994), sont un lourd handicap pour une utilisation à large échelle. La plupart de ces modèles sont davantage des outils de recherche pour aider à la compréhension des processus.

- **Les modèles dits "capacitifs" ou à réservoirs :**

Dans ces modèles les flux sont calculés, pour un pas de temps considéré (au minimum journalier), sur le principe du taux de remplissage d'un réservoir en fonction de sa capacité qui correspond à la réserve utile du sol. Le nombre de paramètres mis en jeu en est amplement plus faible que pour l'approche mécaniste puisque, concernant le sol, un seul paramètre –la réserve utile– est suffisant. Cependant l'approche « capacitive » du sol peut également comporter différents degrés de sophistication par la prise en compte de plusieurs couches caractérisées par leur propre paramètre de stockage.

Deux types d'approches peuvent également être choisis pour le modèle de culture.

Des cultures uniquement décrites par l'évolution de leur coefficient cultural (K_c), défini *a priori*, est nécessaire lorsque l'objectif se limite à l'estimation du besoin en eau d'irrigation. En revanche, lorsque l'on souhaite associer un volume d'eau nécessaire à un objectif de rendement, un modèle beaucoup plus élaboré est alors nécessaire où l'on tient compte d'interactions permanentes entre disponibilité en eau et développement de la culture.

Les premiers modèles conçus à cet effet, étaient peu génériques car ils étaient destinés à une seule culture, principalement le maïs ou le blé (Ritchie, 1986 et Brisson *et al.*, 1996). Plus récemment, d'autres modèles ont été développés pour simuler le bilan hydrique au pas de temps journalier, et ce afin d'offrir une meilleure précision aux estimations. Par exemple, le modèle Sarra conçu par le Cirad (Baron *et al.*, 1996) et le modèle Bilhyna conçu par l'INA Paris-Grignon (Tuzet *et al.*, 1992), en font partie avec une ambition d'amélioration permanente (Jabbour, 2008). Depuis une dizaine d'année, des modèles génériques tel que STICS (Brisson *et al.*, 1998), avec des objectifs multiples et adaptés à plusieurs cultures ont été développés. STICS affiche des objectifs encore plus ambitieux de types agro-environnementaux, à savoir la prédiction du rendement et de la quantité d'azote lessivée.

On note actuellement une multitude de modèles efficacement utilisés et approuvés, notamment, STICS, AquaCrop, IRRISTAT, Pilotre Tr et Cropwat.

Cependant, la notion de l'adaptabilité aux conditions locales demeure le paramètre primordial pour le choix du modèle.

V.2.2. Choix de modèle : Le modèle CropWat est-il le plus adapté ?

Le Cropwat est un logiciel d'aide à la gestion de l'irrigation, il a été mis au point par la FAO en 1992, basé sur la formule de Penman – Monteith modifiée. Il permet le calcul de besoins en eau des cultures et des quantités d'eau d'irrigation ; basés sur les Bulletins d'irrigation et de drainage FAO-24 et 33.

Il offre également la possibilité de développer un calendrier d'irrigation en fonction de diverses pratiques culturales, et d'évaluer les effets du manque d'eau sur les cultures et l'efficacité des différentes pratiques d'irrigation.

Le principal avantage de ce logiciel est d'éviter la manipulation de nombreuses formules souvent lourdes à utiliser.

Tous ces avantages nous amènent à appliquer le logiciel Cropwat pour l'estimation des besoins en eau mais cela n'élimine en aucun cas le mérite et la fiabilité des autres modèles notamment l'Aquacrop à titre d'exemple.

V.2.3. Les données utilisées par le logiciel Cropwat

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 culture (demande climatique) ;
- Les données pédologiques permettront d'estimer la réserve en eau du sol ainsi que le tarissement initial de l'eau du sol ;
- Les données culturales préciseront la réserve en eau facilement utilisable par la plante (Van Laere, 2003), ainsi que le coefficient cultural.

L'objectif principal de ce logiciel est de calculer les besoins en eau des cultures et d'établir des calendriers d'irrigation basés sur des données fournies par l'utilisateur.

Ces données peuvent être entrées directement dans Cropwat ou importées depuis d'autres applications.

V.2.3.1. Les données climatiques

Le logiciel Cropwat exige 5 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 1979).

Afin de calculer l'ET₀ et la Pluie efficace les cinq données climatiques utilisées sont celles de la nomenclature à savoir :

- Températures moyennes mensuelles min et max(°C) ;
- Précipitation moyenne mensuelle(mm);
- Humidité relative moyenne mensuelle (%);
- Vitesse de vent moyenne mensuelle(m/s) ;
- Durée d'insolation moyenne mensuelle(heure/j).

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, du rayonnement, et la vitesse du vent dans son Bulletin-56.

La station que nous avons considérée est celle de Gumar (localité de la wilaya d'El oued). C'est une station normalisée qui offre 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.

Les coordonnées géographiques de la station sont :

- Latitude : 33,48 N
- Longitude : 6,81 E
- Altitude : 43 m

On introduit les températures moyennes maximales et minimales (°C), l'humidité relative de l'air (%), la vitesse du vent (km/jour ou en m/s) et l'insolation (heures). Les données introduites de chaque paramètre sont des moyennes mensuelles (figure 20) :

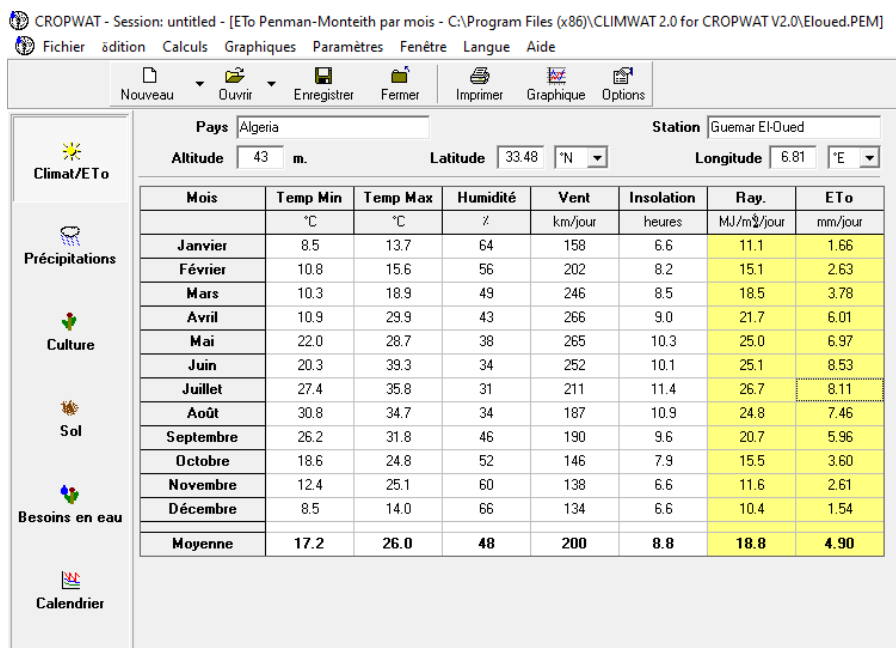


Figure 20 : introduction des données climatiques dans le logiciel Cropwat 8.0

V.2.3.2. Les données liées au sol

Les données du sol sont nécessaires dans le pilotage des irrigations pour la détermination de la réserve utile (RU) qui est liée à la texture et la profondeur d'enracinement.

Texture

On considère que la texture du sol est sableuse (majoritaire dans zone), pour une culture donnée, en se basant sur données FAO intégrées, le logiciel Cropwat nous donne :

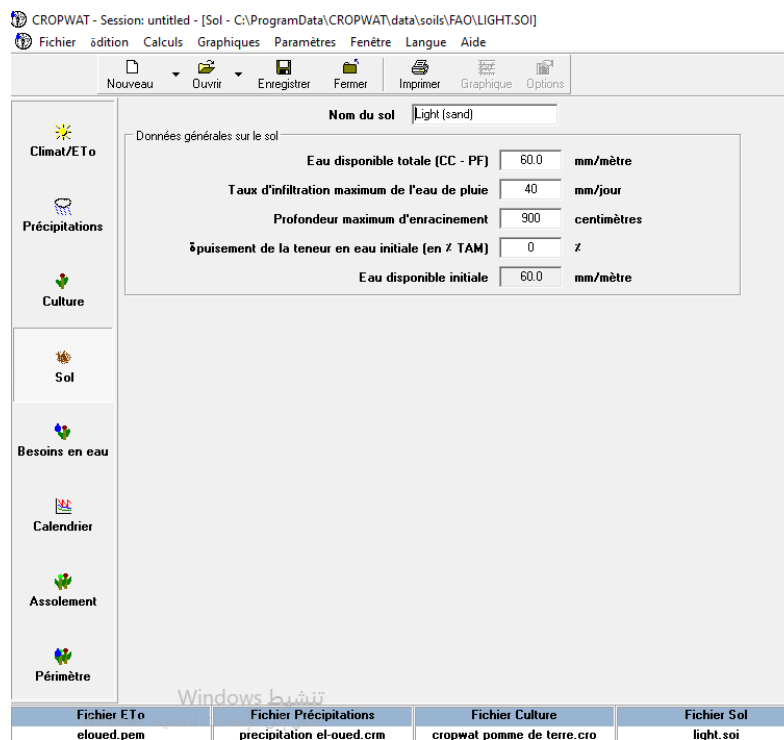


Figure 21 : introduction des données liées au sol dans le logiciel Cropwat 8.0 (pour la culture de la pomme de terre)

V.2.3.3. Les données liées à la culture

Choix de cultures :

Pour choisir les cultures en question, on a fait recours aux statistiques données par les services de la DSA (tableau..., figure...), notamment les récentes et historiques et leur évolution spatio-temporelle.

Ensuite, on a retenu les cultures qui ont une superficie plus importante et celles qui manifeste une évolution significative dans le temps.

Les cultures retenues pour le calcul de leurs besoins en eau sont la pomme de terre, palmier dattier, maraichage (tomate) et céréale (blé).

Date de semis, de plantation ou de reverdissement

Nous avons adapté les dates de semis (ou de plantation) régionales, pour cela nous avons eu recours à des entretiens avec les agriculteurs et les techniciens afin d'avoir les informations locales.

Les phases de développement

Les 4 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 ou bien les bulletins de la FAO d'irrigation et de drainage. Concernant les arbres fruitiers (cultures pérennes), d'après Tuzet et Perrier (1998), leurs dates de plantation doivent être remplacées par la date du reverdissement, c'est-à-dire la date d'apparition de nouvelles feuilles.

Le coefficient cultural (kc)

Par définition, le coefficient cultural (kc) est le rapport entre l'évapotranspiration de la culture (ETc) et l'évapotranspiration potentielle (ET₀), il intègre les effets des 4 caractéristiques primaires qui distinguent une culture de la culture de référence qui sont : la hauteur de la culture, la résistance de surface sol - végétation, l'albédo, l'évaporation de sol (Allen et al, 1998).

Les facteurs qui influent sur la valeur de kc sont : les caractéristiques de la culture, les dates de plantation ou de semis, le rythme de son développement et la durée de son cycle végétatif, les conditions climatiques, en particulier au début de la croissance et la fréquence des pluies ou des irrigations.

Cropwat exige l'entrée de 3 valeurs de kc (initiale, mi-saison, récolte), nous avons utilisé les kc des Bulletins de FAO-24 et 56, qui sont des kc standards et valides pour l'utilisation de la formule de Penman – Monteith.

Les valeurs de kc du Bulletin FAO-56 ont été actualisées par Allen et al (1998) sur la base des kc proposés par Doorenbos et Pruitt dans le Bulletin FAO-24 (1975). La figure 22 montre un exemple d'introduction des principales caractéristiques liée à la culture (exemple de l'olivier).

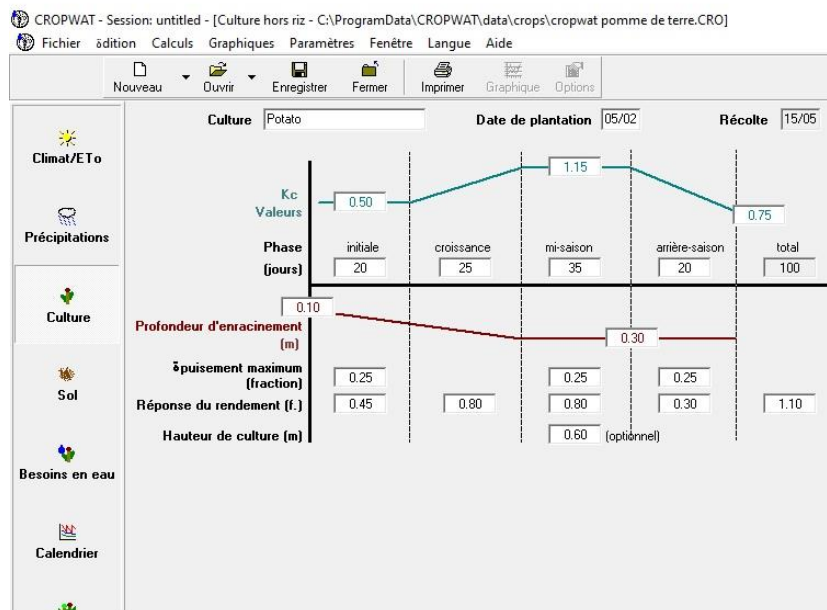


Figure 22 : Données liées à la culture sur Cropwat (exemple : pomme de terre).

Le logiciel Cropwat contient un fichier reprenant les caractéristiques culturales d'un grand nombre de cultures : **C:\ProgramData\CROPWAT\data\crops.**

V.2.3.4. Autres données

Tarissement admissible du sol (P)

Doorenbos et Kassam (1979) définit 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.

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 ($1 - ET_a / ET_m$). Le détail sur le kY et ses valeurs se trouvent dans le Bulletin FAO-33 (1987).

V.2.4. Calculs et résultats obtenus par le logiciel Cropwat

V.2.4.1. Calcul de l'évapotranspiration de référence

Rappelant que l'évapotranspiration de référence ou ET0 représente l'évapotranspiration d'une surface de gazon bien arrosé et coupé court ; les besoins en eau des cultures sont directement reliés à ce paramètre climatique.

Dans notre cas le calcul numérique de l'ETP se base sur l'équation de Penman-Monteith :

$$ET0 = C * [W * Rn + (1 - W) * f(u) (ea - ed)]$$

ET0 : représente l'évapotranspiration de la culture de référence en mm/jour,

W : est un facteur de pondération lié à la température,

Rn : représente le rayonnement net en évaporation équivalente, en m/jour,

f(u) : est fonction liée au vent.

V.2.4.2. Calcul des besoins en eau net

Pour estimer les besoins nets, le logiciel Cropwat procède par les étapes de calcul suivantes (figure23) :

L'évapotranspiration maximale

En matière d'irrigation, on cherche à placer les plantes dans des conditions de production optimales (appelé confort hydrique) et on s'appuie sur la valeur de l'évapotranspiration maximale (ETM) qui est une valeur ponctuelle liée à l'ET0 qui est relative à une région par un coefficient cultural.

L'ETM est donnée par la formule suivante :

$$ETM = kc * ET0$$

ETM : évapotranspiration maximale d'une culture (mm),

Kc : coefficient cultural,

ET0: évapotranspiration de référence (mm).

Pluie efficace

Pour les productions agricoles, les précipitations efficaces se réfèrent à la part 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 percolation profonde.

Le logiciel Cropwat offre la possibilité d'utiliser quatre méthodes pour déterminer les précipitations efficaces :

- Pourcentage fixé de précipitations,
- Précipitations probables,
- Équation empirique.
- Méthode Service USDA Conservation des sols.

Dans notre cas, on utilise la formule qui a été développée à partir de données provenant de zones arides et semi-arides et on trouve :

$P_{eff} = 0,6 P_{moy} - 10$; Pour $P_{moy} < 70$ mm/mois

$P_{eff} = 0,8 P_{moy} - 25$; Pour $P_{moy} > 70$ mm/mois

V.2.4.3 Calcul des besoins nets en eau d'irrigation

Besoins nets d'irrigation sont déterminés par la relation suivante :

$$B_n = ETM - P_{eff} - R$$

ETM : évapotranspiration maximale (mm),

P_{eff} : Pluie efficace (mm),

R : Reserve disponible au début de la période de calcul (mm) (humidité initiale %).

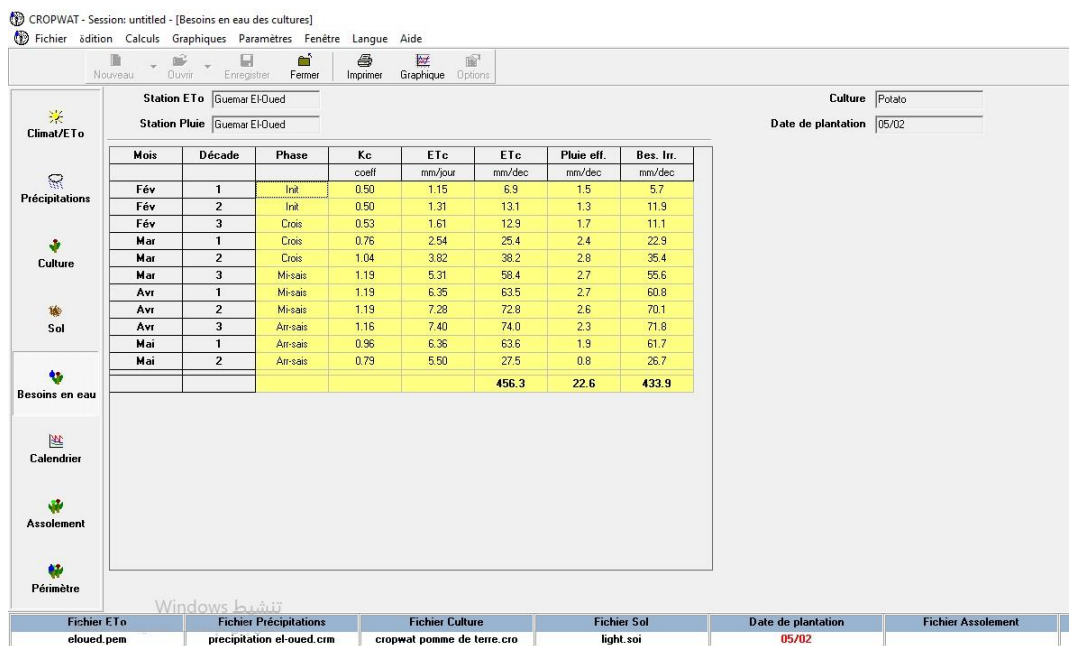


Figure 23 : Calcul des besoins en eau des cultures par le logiciel Cropwat 8.0 (pomme de terre)

V.2.4.4. Calendrier d'irrigation

Nous avons fixé les critères de la conduite d'irrigation comme suit :

- Irriguer quand la RFU est épuisée à 100%,
- Remplir la RFU à 100% (ramener la RFU à la capacité au champ),
- Début de pilotage : la première date de plantation de chaque culture.

Sur cette base l'irrigation se fait sans restriction imposée sur les fréquences d'irrigation et la disponibilité en eau.

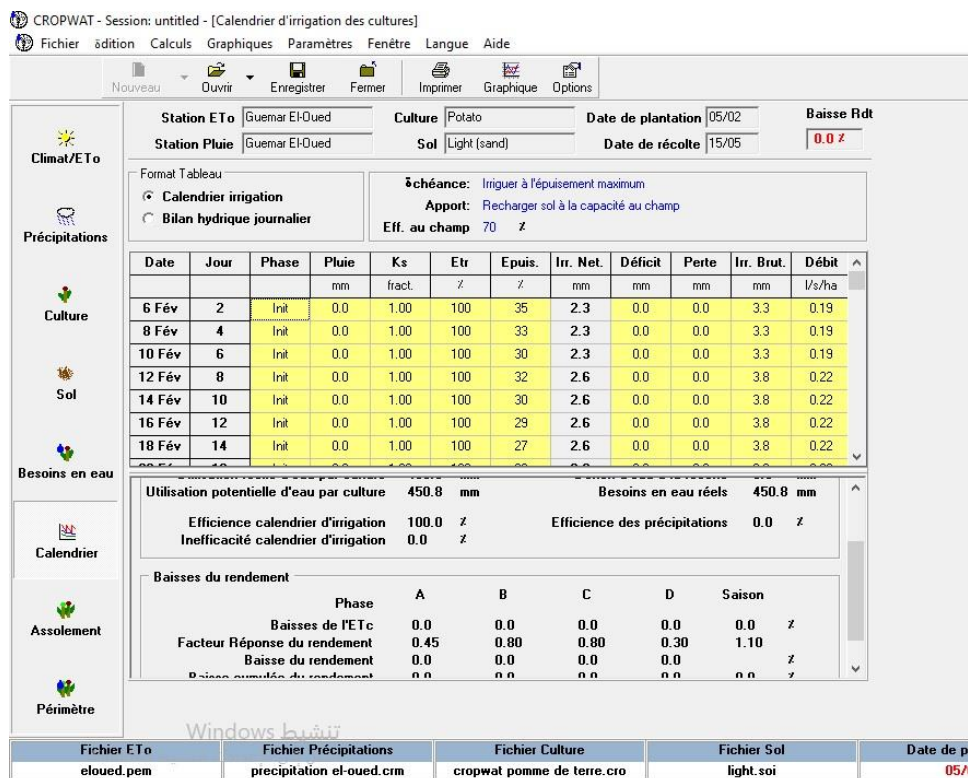


Figure 24 : le calendrier d'irrigation établi par le logiciel Cropwat 8.0

V.2.4.5. Efficience d'irrigation

Le Cropwat considère une efficacité globale fixée à 70%, néanmoins, on peut varier cette efficacité selon le système d'irrigation utilisée et la nature du sol.

V.2.4.6. Calcul de l'efficacité d'utilisation de l'eau EUE (productivité)

L'efficacité d'utilisation de l'eau s'exprime en (kg/m³), en d'autres termes c'est le rapport du poids de la production commercialisable en (kg) et le volume d'eau consommé par la culture durant tout son cycle végétatif en (m³).

N.B. toutes les étapes de calcul et saisi des différentes cultures visées sont présentées dans les annexes

V.3. Estimation de la consommation réelle en irrigation

La démarche méthodologique suivie consiste à mener au préalable une enquête sur terrain auprès des irrigants pour s'approcher de la réalité et avoir une valorisation de la consommation réelle en irrigation pour les cultures en question.

Cette estimation issue des enquêtes sera approuvée et affinée par le biais d'un suivi et mesures approfondies pendant une campagne d'irrigation au sein d'une exploitation plus ou moins représentative qui renferme différentes cultures et techniques d'irrigation.

V.3.1. Enquêtes auprès des irrigants

Pour atteindre une fiabilité dite scientifique des estimations de la consommation réelle en irrigation, on se réfère sur la représentativité de l'échantillon réduit des exploitations enquêtées. Pour y atteindre cet objectif, on a établi tout d'abord une typologie des exploitations basée sur la l'occupation du sol et la technique d'irrigation.

Cette enquête auprès des irrigants nous permettra de déduire la consommation réelle des usagers en détails ainsi qu'une multitude d'informations et données qui vont nous aider pertinemment dans la suite de notre travail.

Cette démarche nous a permis de dégager la consommation annuelle unitaire pour chaque culture (m³/ha/an/culture) à partir d'échantillon réduit d'irrigants (15 exploitations) le plus représentatif possible.

Ces enquêtes se faisaient à l'aide d'un questionnaire (annexe) entretenu obligatoirement au sein des exploitations (vérification immédiate des propos de l'interlocuteur).

A travers ce questionnaire on s'est intéressé à :

- L'identification de l'exploitant et l'exploitation ;
- L'occupation du sol;
- L'irrigation;
- Les données technico-économiques;

Ensuite on a établi une fiche descriptive des forages situés dans ces exploitation (Figure 40), elle renferme :

- L'identification;
- Caractéristiques techniques;
- Coût d'investissement;
- Calendrier d'arrosage.

Les informations obtenues ont été classées et synthétisé dans un tableur Excel pour qu'elles soient exploitable (annexe). La base de données est riche en informations ce qui la rend utile même pour d'autres travaux de recherche.

The figure consists of two screenshots of an Excel spreadsheet. The top screenshot shows a table with the following data:

1	2	3	4	5	etat de l'EAC		association ou coopérative		sup irr (ha)	main d'œuvre
					Unie	Divisée	Non	oui (la quelle)		
El-Oued	Sidi Aoun	El Djedeida dhaoui	2005	Othmani Slimane	7		Divisée	Non	2,5	8
El-Oued	Debila	Akfadou	2004	aissa chabani	5		Divisée	Non		
El-Oued	Guemar	Deliba	2003	Ben Ali Djimoui	3		Divisée	Non		

The bottom screenshot shows a table with the following data:

1	2	3	4	5	reseau de drainage	Données technico-économiques		Production			Date	Secteur	
						Travaux du sol		comment vendez-vous votre production ?					
profondeur (m)	Niveau de l'eau actuelle(m)	débit des pompes(l/s)	cout de revient de l'air pompé par culture	Oui (est-il fonctionnel ?)	Nbr/an	cout/ha/an (DA)	sur l'exploitati	sur le marché	pour des grassistes	pour des établissements	Autre		
30	12	1,5		Non	1	20000	oui	oui				2005	Eldjedeida dhaoui
24	12	1,5		Non	1	20000	oui	oui				2016	Akfadou
17	6	1,5		Non	1	18000	oui	oui				2003	Deliba

Figure25 : Capture d'écran de la base de données sous Excel issue des enquêtes sur terrain

N.B. les enquêtes montrent que les cultures et les techniques d'irrigation adéquates sont majoritairement liées (par exemple : pomme de terre-pivot,..etc.),

c'est pour cela qu'on s'est focalisé sur les cultures tend que l'un n'est effectivement que l'autre.

V.3.2. Estimation de la consommation réelle en irrigation et suivi d'irrigation au sein des exploitations agricoles

Afin de raffiner nos résultats obtenus à partir de nos enquêtes concernant la consommation réelle en irrigation, nous avons suivi, mesuré et évalué les volumes d'eau réellement consommés par les irrigants.

Les exploitations choisies à partir de notre échantillon renferment toutes les cultures concernées par l'estimation des besoins en eau par Cropwat à savoir, la pomme de terre, céréaliculture, palmier dattier et maraichage. Ainsi que les différentes techniques d'irrigation à savoir, l'aspersion (pivot), localisé (goutte à goutte). Les exploitations retenues sont présentées dans les annexes.

V.3.2.1. Mesure de débits

Les mesures de débit ont été effectuées au niveau de l'exploitation dans des conditions réelles. Sur deux localisations au niveau du réseau, à savoir la sortie du point d'eau et la tête de la parcelle. Ces mesures ont été effectuées en trois irrigations. au niveau de trois exploitations englobant les cultures et techniques d'irrigation en question.

La mesure de débit se fait actuellement par le débitmètre à ultrason mais l'indisponibilité de ce dernier nous a obligé de mener nos mesures en utilisant la méthode du réservoir et le chronomètre (une méthode qualifiée comme archaïque mais donnent de bons résultats à condition qu'on exerce un nombre significatif de répétitions).

V.3.2.2. Calcul de la consommation réelle

A l'issue de l'équation de débit effectif citée dans la partie bibliographique :

$$Q_{eff} = Q_{fc} \times \frac{\text{Nombre de jours du mois de pointe}}{Y} \times \frac{24}{X}$$

où

Q_{eff} : débit effectif ou débit d'équipement;

X : nombre d'heures de travail par jour;

X : nombre de jours de travail par mois.

Q_{fc} : débit fictif continu.

$$Q_{fc} = \frac{\text{Besoins en eau mois de pointe}}{24 \times 3600 \times n_j} \times 10^4$$

où

n_j : nombre des jours du mois de pointe.

En remplaçant les besoins par la consommation dans les équations précédente, on obtient la formule suivante :

Consommation réelle unitaire = $Q * T_j * T / S$

Où :

Consommation réelle unitaire : consommation en eau par culture par ha pendant une campagne

Q : débit mesuré

T_j : temps d'arrosage journalier

T : nombre de jour d'arrosage pendant une campagne d'irrigation

S : Surface irriguée

Conclusion

Dans le présent chapitre, nous avons essayé d'énumérer, simplifier et expliquer notre démarche méthodologique.

Nous présenterons, analyserons et discuterons dans le prochain chapitre, les résultats obtenus.

Chapitre 6 : Résultats et discussion

Chapitre 6 : Résultats et discussion

Introduction

VI.1. Estimation des besoins en eau des cultures par Cropwat

VI.1.1. Traitement des données pédo-climatiques

Calcul de la pluie efficace

Rappelant que la pluie efficace (ou précipitation efficace) est la partie de précipitations qui contribue à satisfaire les besoins en eau de la culture et/ou le besoin net d'eau d'irrigation.

Le tableau 07 donne les valeurs de la pluie efficace calculée par Cropwat

Tableau 07 : Calcul de la pluie efficace (mm)

	Pluie mm	Pluie eff. mm
Janvier	14.6	14.3
Février	5.3	5.3
Mars	8.2	8.1
Avril	7.7	7.6
Mai	4.7	4.7
Juin	1.5	1.5
Juillet	0.2	0.2
Août	1.9	1.9
Septembre	5.9	5.8
Octobre	6.9	6.8
Novembre	7.8	7.7
Décembre	6.2	6.1
Total	70.9	70.0

La moyenne annuelle des précipitations dans la wilaya d'El Oued est de 71 mm. Cependant, la quantité de cette pluie qui est utilisée par les cultures est de 70 mm (soit 2 % de perte seulement).

Estimation de la demande climatique ET₀

L'évapotranspiration de référence mensuelle moyenne a été estimée par la formule de Penman Monteith qui reste la référence (Tableau 08).

Tableau 08 : Estimation de l'ET0 à partir des données climatiques

Mois	Temp Min °C	Temp Max °C	Humidité %	Vent km/jour	Insolation heures	Ray. MJ/m ² /jour	ET0 mm/jour
Janvier	8.5	13.7	64	158	6.6	11.1	1.66
Février	10.8	15.6	56	202	8.2	15.1	2.63
Mars	10.3	18.9	49	246	8.5	18.5	3.78
Avril	10.9	29.9	43	266	9.0	21.7	6.01
Mai	22.0	28.7	38	265	10.3	25.0	6.97
Juin	20.3	39.3	34	252	10.1	25.1	8.53
Juillet	27.4	35.8	31	211	11.4	26.7	8.11
Août	30.8	34.7	34	187	10.9	24.8	7.46
Septembre	26.2	31.8	46	190	9.6	20.7	5.96
Octobre	18.6	24.8	52	146	7.9	15.5	3.60
Novembre	12.4	25.1	60	138	6.6	11.6	2.61
Décembre	8.5	14.0	66	134	6.6	10.4	1.54
Moyenne	17.2	26.0	48	200	8.8	18.8	4.90

Nous constatons que les valeurs d'ET0 maximale s'étalent sur une période importante de 6 mois alors que le mois de juin juillet présente l'ET0 la plus importante, ce qui peut être expliqué par les valeurs relativement importante de la température maximale.

Calcul des paramètres sol

Rappelant que les données du sol sont nécessaires dans le pilotage des irrigations pour la détermination de la réserve utile (RU) qui est liée à la texture et la profondeur d'enracinement.

Le tableau 09 montre les paramètres sol calculés par Cropwat à partir d'une texture sableuse.

Tableau 09 : calcul des paramètres sol par Cropwat

Nom du sol: Light (sand)

Données générales sur le sol:

Eau disponible totale (CC - PF)	60.0	mm/mètre
Taux d'infiltration maximum de l'eau de	40	mm/jour
Profondeur maximum d'enracinement	900	centimètres
Épuisement de la teneur en eau initiale	0	%
Eau disponible initiale	60.0	mm/mètre

VI.1.2. Calcul des besoins en eau d'irrigation par culture

Nous allons présenter dans ce volet les besoins en eau des cultures principales de la région suivant la même démarche présentée dans le chapitre précédent.

Le tableau 10 récapitule les besoins en eau d'irrigation par culture

Tableau 10 : Les besoins en eau des cultures calculés par Cropwat

cultures	Besoin Cropwat (mm/ha/Compagne)
Pomme de terre saisonnière	450,8
Palmier Dattier	1475
Tomate	813
Cereal	792

Dans le tableau 10, nous avons classé les cultures par ordre de grandeur de superficie au niveau de la wilaya.

VI.1.3. Discussion

Le tableau 10 montre que la culture ayant le plus grand besoin en eau est le palmier dattier **1475 mm/ha** et la pomme de terre est la plus petite **451 mm/ha**. Alors que cette dernière est considérée toujours comme menaçante en termes de consommation.

Cela nous amène à démasquer l'amalgame entre la norme et l'application, plus précisément les besoins et la consommation réelle.

N.B. il est à mentionner que le maraichage s'étale sur période plus courte.

La céréaliculture tend à elle demeure une culture annuelle optimale en termes de besoin **792 mm/ha**, reste que d'autres facteurs s'impliqueront dans le choix de cultures par les agriculteurs, notamment, le revenu économique

VI.2. Estimation de la consommation réelle en irrigation

VI.2.1. Estimation de la consommation réelle en irrigation par des enquêtes auprès des irrigants

La consommation en eau d'irrigation a été valorisée au préalable par des enquêtes auprès des irrigants.

Le questionnement avec les irrigants in situ nous a permis de déduire la consommation à partir des propos concernant le débit et le temps d'arrosage pour chaque culture pendant la campagne.

Commencer par estimer la consommation réelle à partir des enquêtes a pour objectif de :

- Avoir une idée générale sur la consommation réelle en irrigation ;
- répondre à l'hypothèse que l'irrigant n'a aucune information concernant sa consommation réelle ;
- vérifier la méthode exercée par les institutions de l'état puisqu'elle est aussi basée sur le questionnement des irrigant sans quantification proprement dite.

Pour assurer la représentativité de l'échantillon d'enquête, 15 exploitations étaient choisies et dégagées d'une typologie à l'issue d'une analyse statistique approfondie d'une enquête exhaustive auprès de 204 exploitations. Ce cheminement statistique fait l'objet du travail de doctorat de M. Beggas.

Pour complément de compréhension, le nom des exploitants et exploitations et leurs caractéristiques détaillées ainsi que le questionnaire en vigueur ont été mises dans les annexes.

Le tableau 11 présente la consommation en eau d'irrigation établie à partir des enquêtes

Tableau 11 : La consommation en eau d'irrigation établie à partir des enquêtes

consommation selon l'agriculteur						
N°	NOM ET PRENOM	débit déclaré	Durée d'irr h/jou	Nombre d'irrigation	dose d'irrigation m3	dose d'irrigation mm
1	Dou Mebrouk	8	10	90	7200	720
2	Ben Ahmed Laid	9	8	95	6840	684
3	Mereghni Taher	8	9	85	6120	612
4	Khelayfa Laid	9	7	91	5733	573,3
5	Nasrat Abderrezzak	7	7	91	4459	445,9
6	Hmadi Khalifa Amara	7	10	95	6650	665
7	Khiani Mekki	11	8	80	7040	704
8	Fayzi Abdelkamel	5	10	94	4700	470
9	Douyem Messaoud	10	8	84	6720	672
10	Rachdan Ali	8	10	88	7040	704
11	Aouaoua nacer	7	10	90	6300	630
12	Gherayssa Nasreddine	7	7	89	4361	436,1
13	Layeb Abdelaziz	8	10	92	7360	736
14	Djaghrab Bachir	11	7	75	5775	577,5
15	Kerrouch Mbarek	7	8	80	4480	448

Le tableau 11 nous montre qu'en termes de grandeur les doses apportées par les irrigants sont beaucoup plus importante que les besoins calculés.

VI.2.2. Estimation de la consommation réelle en irrigation par mesures sur terrain

Pour vérifier et valider les résultats obtenus par enquêtes et afin de connaître réellement la consommation en irrigation, on a mené une série de mesures de débit

en tête des parcelles irriguée. Cela nous permettra de calculer la consommation réelle par culture en appliquant l'équation suivante :

$$\text{Consommation réelle unitaire} = Q \cdot T_j \cdot T / S$$

Où :

Consommation réelle unitaire : consommation en eau par culture par ha pendant une campagne

Q : débit mesuré

T_j : temps d'arrosage journalier

T : nombre de jour d'arrosage pendant une campagne d'irrigation

S : Surface irriguée

Tableau 12 : Calcul le débit d'eau pompé au forage à partir du fût

Dou Mebrouk	(l)Volume	(s)Temps	(l/s) Débit
Répétitions	208,2	31,52	6,61
	208,2	30,18	6,90
	208,2	30,68	6,79
Moyenne	208,2	30,79	6,76

Toutes les mesures de débits sont mentionnées dans les annexes

Ces mesures de débits ainsi que d'autres mesures ont été effectués dans un échantillon d'exploitation plus réduit.

Le suivi permanent de l'irrigation notamment les débits et les temps d'arrosage, nous a permis de fiabiliser nos estimations.

Les résultats obtenus se présentent comme suit (tableau 13) :

Tableau 13 : La consommation réelle en irrigation obtenue à partir des mesures sur terrain (exemple : pomme de terre saisonnière sous pivot)

	Pomme de terre										
	débit déclaré	débit mesuré au forage	Q mesuré à l'entrée de la parcelle m3/h	Q mesuré à l'entrée de la parcelle l/s	Efficience	Taux de perte %	Durée d'irrigation h/jou	Nombre d'irrigation par campagne	Priode d'irrigation	dose d'irrigation mm	dose d'irrigation m3
Aouaoua nacer	7,00	6,28	19,24	5,35	0,85	14,89	10	90	fvrier-juin/sep-dec	1732,03	17320,30
Gherayssa Nasredine	7,00	6,92	24,43	6,79	0,98	1,98	7	89	fvrier-juin/sep-dec	1522,00	15220,04
Djaghrab Bachir	11,00	8,97	31,71	8,81	0,98	1,83	7	75	fvrier-juin/sep-dec	1665,01	16650,13
Moyen										1639,68	16396,82

VI.3. Discussion générale

VI.3.1. Confrontation Besoin Vs Consommation

L'objectif principal de ce travail est l'estimation des besoins en eau d'irrigation des cultures principales de la wilaya d'El Oued ainsi que la confirmation de l'hypothèse du gaspillage d'eau par les irrigants généralement pointus de doigt.

Cela ne pourra être possible sauf si nous faisons une confrontation entre les besoins théoriques calculés par Cropwat et les consommations réelles mesurées sur terrain (Tableau 13)

Tableau 14 : Confrontation besoins théoriques Vs consommation réelle

culture	consommation réelle mm/ha	Besoin cropwat	Différence
Pomme de terre	1639,68	450,8	1188,88
Palmier			
Dattier	2034,53	1475	559,53
Tomate	1366,36	813	553,36
Cereal	1756,44	792	964,44

Le tableau 13 montre flagamment la différence qui existe entre les besoins théoriques et la consommation réelle sur terrain.

La pomme de terre ayant théoriquement les besoins en eau minimales 451 mm/ha présente une grande consommation en réalité soit 1639 mm/ha avec une différence de 1189 mm/ha. Cela engendre un gaspillage énorme en eau et confirme l'hypothèse de la surconsommation en eau dans la réalité.

Par le biais de ces résultats, nous pouvons constater aussi que le problème ne se manifeste pas au niveau de choix de culture mais réellement au niveau des pratiques actuelles (la pomme de terre est le meilleur exemple) menées par des techniques d'irrigation qui ne portent que la qualification nomenclaturielle d'économisatrices d'eau.

VI.3.2. Mais, pourquoi cette différence entre les besoins et la consommation réelle en irrigation

VI.3.2.1. Raisons techniques : efficacités d'irrigation

Au préalable nous avons l'intention de mener un travail exhaustif sur terrain pour évaluer l'efficacité technique des techniques et pratiques d'irrigation. Mais la contrainte temps nous a inhibé de faire ce travail dans la perfection ce qui nous a amené à s'appuyer sur les travaux précédents sur la sorte notamment celui de HADJAILIA et DIDANE, 2020 qui ont acheminé un amas de mesures fondées pour évaluer les performances techniques à savoir les coefficients d'uniformité pour le pivot et le goutte à goutte et ils ont constaté une irrationalité avérée des pratiques d'irrigation.

De notre part la double mesure de débit entre forage et tête de la parcelle nous a permis de déduire l'efficacité et les pertes de réseau qui sont de l'ordre de 24% soit une efficacité de 76% pour le pivot et 78% d'efficacité pour le goutte à goutte soit des pertes de 22% (les mesures détaillées sont présentées dans les annexes). Tandis que l'efficacité tolérable donnée par la FAO est de l'ordre de 85% pour le localisé et 80% pour l'aspersif.

Cette inefficacité explique proportionnellement déjà cette différence entre les besoins théoriques et la consommation réelle. Mais l'expérience et les l'enquête nous montre qu'il y a d'autres aspects à prendre en considération, en tête l'aspect socio-économique.

VI.3.2.2. Raisons économiques

Les enquêtes approfondies sur 15 EAC divisées nous ont permis de calculer les coûts de pompage du m³ d'eau souterraine, le coût d'extraction correspondant à un montant qui comprend les coûts énergétiques de pompage, les frais d'entretiens

et de réparations, le gardiennage des pompes et des groupes motopompes, et les coûts éventuels d'acheminement de l'eau dans les cas où le forage se trouve loin de la parcelle.

Les coûts d'extraction varient entre un minimum de 3 DA/m³ et un maximum de 7 DA/m³ soit une moyenne de 4.3 DA/m³.

D'ailleurs la part des charges liées à l'eau de la nappe pour un irrigant de la wilaya d'El-Oued représente moins de 10 % des charges totales. Cette proportion n'encourage en aucun cas l'économie d'eau si on part du principe que le facteur économique est le principal facteur limitant des agriculteurs dans leurs pratiques et décisions.

Le fait que les irrigants ont une libre décision en possédant leurs propres points d'eau et ils ne sont pas reliés à un réseau collectif (périmètre) géré par l'Etat, rend cette dernière sans pouvoir d'exercice sur terrain et rend la gestion intégrée de la ressource en eau complexe.

Conclusion

Les résultats obtenus et les constats dégagés de la confrontation entre les besoins en eau d'irrigation calculés par Cropwat et la consommation et les pratiques réelles nous démontrent à quel point la norme ou la théorie est loin de la réalité et ouvrent d'autres perspectives dans la gestion de cette précieuse ressource en eau dans tous les niveaux et les échelles (de la parcelle au territoire).

Conclusion générale

Conclusion générale :

Située au Sud-Est de l'Algérie, 700 km au Sud- Est d'Alger, La Wilaya d'El Oued est dotée d'un climat Très chaud et sec l'été et qui devient assez froid en hiver (de 2 à 8 °C) voir gelées la nuit, en effet, les différences de températures entre le jour et la nuit sont très élevées (jusqu'à 30°C en été). La wilaya d'El-Oued est riche en matière de ressources en eaux souterraines, un volume énorme mais presque non renouvelable, conditionné par une surconsommation engendrée par un flambé agro-socio-économique, ce qui nécessite une utilisation rationnelle et durable.

Cependant, la gestion de la ressource en eau au niveau de la wilaya d'El- Oued est souvent remise en cause, est centralisée aux mains d'un amas dispersé d'acteurs, des irrigants de comportement ambigus envers la ressource, dans un contexte où la partie prenante (les gestionnaires) sont « visiblement inquiets », mais, « effectivement muets » envers cette surexploitation de la ressource, dans un prétexte d'encourager l'agriculture locale.

L'objectif de ce travail est d'estimer les besoins en eau des cultures de la wilaya d'El Oued, pour y arriver, on a opté pour le modèle Cropwat adapté et bien réputé scientifiquement dans notre contexte.

La modélisation par Cropwat nous a donné que la culture ayant le plus grand besoin en eau est le palmier dattier **1475 mm/ha** et la pomme de terre est la plus petite **451 mm/ha**. Alors que cette dernière et considérée toujours comme menaçante en termes de consommation.

Cela nous amène à démasquer l'amalgame entre la norme et l'application, plus précisément les besoins et la consommation réelle.

La céréaliculture tend à elle demeure une culture annuelle optimale en termes de besoin **792 mm/ha**, reste que d'autres facteurs s'impliqueront dans le choix de cultures par les agriculteurs, notamment, le revenu économique.

Ensuite, on a confronté ces résultats avec la consommation réelle en eau estimée par le bief des enquêtes auprès d'un échantillon représentatif d'irrigants ainsi que les mesures sur terrain notamment les débit forage et en tête et au sein de la parcelle.

Cette confrontation montre flagamment la différence qui existe entre les besoins théoriques et la consommation réelle sur terrain.

La pomme de terre ayant théoriquement les besoins en eau minimales 451 mm/ha présente une grande consommation en réalité soit 1639 mm/ha avec une différence

Conclusion générale

de 1189 mm/ha. Cela engendre un gaspillage énorme en eau et confirme l'hypothèse de la surconsommation en eau dans la réalité.

Par le bief des ces résultats, nous pouvons constater aussi que le problème ne se manifeste pas au niveau de choix de culture mais réellement au niveau des pratiques actuelles (la pomme de terre est le meilleur exemple) menées par des techniques d'irrigation qui ne portent que la qualification nomenclaturielle d'économisatrices d'eau.

Ce constat nous a rejeté à cerner les raisons de cette différence

Qui se manifeste sur plusieurs aspects :

Aspect technique qui concerne l'efficacité du réseau nettement par rapport aux normes.

Aspect économique lié au prix de M3 d'eau agricole qui est estimé moyennement à 4,3 Da/m³, une valeur qui n'encourage gère l'irrigant à économiser son usage de l'eau.

Pour remédier à cette situation alarmante nous proposons modestement les recommandations suivantes :

Vulgariser et diffuser l'information : cette action se fait par plusieurs approches:

Une approche de proximité et d'assistance à travers des actions de proximité basées sur les méthodes d'information et de sensibilisation, de visites conseils, et de démonstrations sur site.

Les besoins en eau d'irrigation seront transmis et volontairement diffusés avant les campagnes d'irrigations.

Former les irrigants : des cours de perfectionnement technique sont prodigués par les spécialistes ayant pour effets secondaires d'encourager les contacts professionnels et de confiance entre l'irrigant et la recherche scientifique (relation actuellement en progression). Cette formation revêt plusieurs aspects soit sous forme de stages de courte durée et/ou d'accompagnement permanent des irrigants par le bief aussi des exploitations pilotes et parcelles de démonstration.

Encourager les techniques économes en eau : l'état fourni beaucoup d'effort dans ce sens à travers « le dont » et la subvention des kits d'irrigation en goutte à goutte et aspersion mais sans aboutissement. La charnière de guerre dans les programmes de subvention est l'accompagnement sur terrain de l'irrigant à travers la formation avant la subvention et le suivi permanent in situ.

Comptage et indemnisation de l'usage agricole de l'eau : afin d'assurer une équité sociale entre les usagers de différents secteurs et une rationalité dans la consommation en eau agricole, il est primordial de trouver un mécanisme pour le comptage et l'indemnisation du m³ agricole.

Il est à noter qu'en cours de notre travail, nous avons rencontré des contraintes liées à :

L'insuffisance du temps qui nous a amèrement poussé à abandonner quelques objectifs préalables, à titre d'exemple, approfondir la notion de l'efficience et la productivité de l'eau.

La difficulté de déplacement sur terrain pour mener notre suivi et augmenter le nombre d'exploitations afin de perfectionner et apporter plus d'exactitude à nos résultats.

Pour la suite de notre travail, nous prémunissons d'appliquer et expérimenter les besoins calculés par Cropwat et/ou autre in situ, pour les approuver agronomiquement.

**Références
bibliographiques**

Références bibliographiques

- **A.N.R.H., 1993.** Carte piézométrique de la nappe phréatique du souf
- **A.N.R.H., 2009.** Les ressources en eaux de La Wilaya d'El-Oued. Rapports techniques.27p.
- **Achour A., 1995.** Diagnostique de l'état du patrimoine phoenicicol algérien et analyse du coût de production dattière : Cas de la palmeraie du Souf. Mem.Ing., Université de Kasdi Merbah, Ouargla, 65 p. [En ligne] : www.tn.refer.org
- **ADE (Algérienne Des Eaux Wilaya de El-Oued).** Rapports sur l'alimentation en eau potable (AEP), 10p.ANBT
- **APG II, 2003.** An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. *Botanical Journal of the Linnean Society*, n 141, p.p. 399- 436.
- **Aquastats, 2013.** Irrigation water requirement and water by country. Food and Agriculture Organization, Rome. [En ligne]: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use_agr
- **Auriaz D. et Labourdette J. P., 2010.** Alegria : Country Guide. Petit futé, 476 p.
- **B.N.E.D.E.R., 1992.** Inventaire du patrimoine phoenicicole. Irrigation drainage, Tipaza,74p.
- **Bernhards, 1998.** La pomme de terre *Solanum tuberosum* L. Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris.
- **BNEDER, 2014.** Etude de faisabilité technico-économique de la mise en valeur des terres par concession : Périmètre Bir Arab. Cheraga-Alger.
- **Boukheil, et al., 2014.** Evaluation de la dose d'arrosage du pivot artisanal : Pratiques d'irrigation et performances d'irrigation. Séminaire sur la gouvernance des eaux souterraines au Maghreb, Biskra, 112p.
- **Chibane A., 2013.**Techniques de production de la pomme de terre au Maroc. Bulletin Mensuel de liaison et d'information du PNTTA. BTTA n°52, 4p.
- **Christiansen J.E., 1942.** Irrigation by sprinkling. California Agrie. Exp. Sta. Bulletin, 670. University of California, Berkley, Etats-unis.
- **Clément J.M., 1989.** Larousse agricole. Librairie, Paris, 874879p.

Références bibliographiques

- **Clément R., Galand. A., 1979.** Irrigation par aspersion et réseaux collectifs de distribution sous pression. Edition Eryrolle, Paris.
- **COTE M., 1998.** Des oasis malades de trop d'eau. Sécheresse vol. 9, n° 2. pp 123- 130.
- **COTE M., 2001.** L'agriculture peut-elle résoudre le problème de la remontée de la nappe », Note, Aix-en-Provence, 16p
- **COTE M., 2006.** Si le Souf m'était conté, comment fait et se défait un paysage. Édition Média-plus, Constantine. 135p.
- **D.R.E., 2015.** Documents techniques, Direction des ressources en eau. Wilaya d'El- Oued.
- **D.S.A., 2005.** La remontée des eaux de la nappe phréatique dans la région d'El-Oued Souf, rapport synthèse.
- **Darpoux R. et Dubley M., 1967** .Les plantes sarclés. Bailliere J.B.et fils, Collection d'enseignement agronomique, 307p.
- **DHW** (Direction d'hydraulique de la Wilaya d'El-Oued), Enquête sur les exploitations et les besoins en AEP dans la wilaya d'El-Oued.
- **DSA** (Direction Des Services Agricoles). Annuaire Statistique de la wilaya d'El-Oued (1999-2015).
- **DUBIEF J., 1964** - Le climat du Sahara. Mém. hors série. Tome I. Institut de recherche Saharienne. Algérie. 312p.
- **Faberio C ET Olalla F., 2001.** Yield size of deficit irrigated potatoes. *Agriculture and water management*. V.48, p.p. 255-266.
- **FAO, 2015.** FAO data base and software: Cropwat 8.0. Rome, Organisation Des Nations Unies Pour L'Alimentation et L'Agriculture.
- **FAOSTATS, 2008.** Année Internationale de la pomme de terre. Rome, Organisation Des Nations Unies Pour L'Alimentation et L'Agriculture.
- **Haverkorte L. et Moussaoui R., 1994.** L'irrigation de la culture de pomme de terre. Centre de recherche d'agrobiologie. Pus bas, 18p.
- **Hawkes J.G, et Francesco Ortega, 1993.** The Early History Of Potato In Europe. *Euphytica*, vol. 70, n.1, p.p. 1-7.
- **Imache, A., Dionnet M., Bouarfa, S., Jamin, J-Y., Hartani T., Kuper M., Le Goulven P.** 2009.

- **ITCMI., 2010.** Fiche technique valorisée des cultures maraichères et industrielles : La culture de pomme de terre. Staoueli, Alger.
- **ITDAS, 2015.** Suivi de l'irrigation de pomme de terre sous pivot artisanal à El Oued. ITDASDjamaà, El Oued.
- **KHECHANA S., 2014.** Perspective et méthode de la gestion intégrée des ressources en eau dans une zone hyper-aride. Application sur la vallée d'Oued-Souf (Sud-Est algérien).
- **KHECHANA. S (2007) :** étude de la gestion intégrée des ressources en eau dans la vallée d'Oued Souf. Mémoire de magister. Université de Annaba. (130P).
- **KHOLLADI M-K., 2005.** SIG pour le suivi de la remontée des eaux de la wilaya d'El Oued Souf, Congrès internationale en Informatique appliquée CiiA'05 du 19 au 21 Novembre 2005 à Bordj Bou Arreridj, 10p.
- **Khris B., 2013.** El Oued : Le nouvel eldorado de l'agriculture saharienne. Liberté, Alger. [En ligne] : www.liberte-algerie.com
- **Labaci S., 2015.** Analyse des performances hydrauliques techniques et économiques des pivots artisanaux du Souf. Mem. ing., Ecole Nationale Supérieure d'agronomie, El Harrach.
- **LEGHRISSE I., 2007.** *la place d'un système ingénierie (ghout) dans la nouvelle dynamique agricole de la région de Souf.* Mémo. Ing. Univ d'Ouargla.78p.
- **Merrouki K. et al., 2011.** Eau d'irrigation et comportement des cultures sous palmier dattier dans oued Righ (sud-est Algérien), université de Tizi Ouzou, 10p. [En ligne] : www.ummo.dz
- **Meziane D., 1991.** Histoire de La Pomme de Terre. Diététique, n.25, 29p.
- **MILOUDI A., 2008.** Mécanismes et remèdes de phénomène de la remontée des eaux dans la région d'Oued Souf, L'impact sur l'environnement de la région, mémoire Magistère Hydrolique. Univ Kasdi Merbah. Ouargla.116p.
- **Mouhouche B. et Bazouche M., 2008.** Etude de l'effet combiné du régime hydrique et de la fertilisation minérale sur la production de la

Références bibliographiques

- pomme de terre. Journée d'étude sur la filière de pomme de terre, INA-Alger, EL Harrach.
- **Najah A., 1971.** Le Souf des oasis. Maison du livre, Alger, 174 p.
 - **O.N.A** (Office National d'Assainissement),2006;2007;2009;2011;2013;2014.
 - **ONM** (Office National Météorologique) Station de Guemar et de Touggourt, données climatiques.
 - **ONRGM, 1999.** Livret des substances utiles non métalliques de l'Algérie. Office National de Recherche Géologique et Minière, Boumerdes.
 - **Purseglove J.W., 1987.** Tropical Crops: Dicotylédons. Harlow, United Kingdom, 719 p. rapports techniques.
 - **Reguieg L., 2008.** Itinéraire technique de la culture de pomme de terre en Algérie. Journée d'étude sur la filière de pomme de terre, INA-Alger, EL Harrach.
 - **Saibi H., 2010.** Les ressources en eau de la vallée du Souf (Sahara Algérien). Editions universitaires européennes, Duducier LandstraBe 99, Allemagne, 200 p.
 - **Serray A., 2014.** La problématique de gestion des excédents hydriques dans la ville d'El-Oued, Impacts environnementaux et recommandations.
 - **Soltner, 1988.** Les grandes productions végétales. Science et techniques agricoles, T.2, p.p.240- 247.
 - **Thibault P., 2003.** L'importance d'une irrigation adéquate dans la culture de pomme de terre. Colloque sur la pomme de terre, Centre de référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec (CRAAQ) ,5p.
 - **Tiercelin J.R., 1998.** Traité d'irrigation .Tech et Doc, Paris, p.p.485-496.
 - **TOUTAIN G., 1979** – Elément d'agronomie saharienne de la recherche au développement INRA,273p.
 - **U.N.E.S.C.O** (Organisation des Nation Unies pour l'Education, la Science et la Culture), **2008.**,Traitement des eaux usées par lagunage fiche technique. Bureau de l'UNESCO à Rabat, Bureau Multi-pays pour le Maghreb.8p.

Références bibliographiques

- **U.N.E.S.C.O., 1972.** Projet Reg 100. Etude des ressources en eau du Sahara septentrional. Rapport sur les résultats du projet. Paris.84p.
- **Ugent D. et al., 1982.** Archeological Potato Tuber Remains from Casma Valley of Peru .New York Botanical Garden Press.
- **UNDESA., 2010.,** Décennie internationale d'action (2005-2010), « l'eau la source de vie ».4p.
- **Vander Zaag P., 1980.** Programme National de Pomme de Terre Allocution d'inauguration, Ruhengeri. <http://agronomie.info/fr/les-besoins-en-elements-mineraux-de-la-pomme-de-terre>
- **Voisin A. R., 2004.** Le Souf : Monographie. Ed. El Walid, 319 p.
- **W. F. Bouma, 1978.** Breeding to maximize the physiological potential of potatoes for yield. EAPR 7th Trienal Conference Survey, p.p. 23-33.
- **Zouioui D., 2006.**Le déséquilibre d'une nappe aquifère et ses conséquences au Souf . Université de Badji Mokhtar, Annaba. [en ligne] : www.sifee.org.

Les annexes

Les annexes

Annexe 01 : Capture d'écran de la base de données sous Excel issue des enquêtes sur terrain

N°	date d'enquête	wilaya	commune	municipalité (arrondissement)	adresse de l'exploitant	Nom de l'exploitant	Surf (ha)	S.N.C	S.N.C C.V	statut de l'exploitant	Date de création	Statut de l'exploitant	C.M plein champ											
													Engrais-phosphorés											
													engrais minéral	engrais organique	produit phytosanitaires	type de fertilisant								
Quantité (kg/ha)	Coût/da	Quantité	Coût/da	Quantité (l)	Coût/da	injection																		
1	20-01-2023	El Oued	Magrane	Lachoual		Hemmi Amar	7			Déjà		Non	3	8	800	12000	360000	12	20000	60	2500	4	20000	injection
2	20-01-2023	El Oued	Magrane	Lachoual		Souad Brahim Saïd	3			Déjà		Non	1	4	800	12000	300000	15	22000	45	2500	3	15000	injection
3	20-01-2023	El Oued	Magrane	Hanouta		Cherapsa Saleh	7			Déjà		Non	3	8	750	12000	360000	12	140000	80	2500	3	15000	injection
4	28-01-2023	El Oued	Magrane	Hanouta		Messaoudi Sbraoui	4			Déjà		Non	2	3	1000	12000	360000	14	25000			4	19000	injection
5	05-02-2023	El Oued	Magrane	Bella		Laleb Mlioud	4			Déjà		Non	1	4	850	12000	360000	16	22000	70	2700	2	5500	injection
6	05-02-2023	El Oued	Magrane	Dhanouia		Ben Ali Amara	5			Déjà		Non	3	6	900	12000	360000	14	120000			3	14000	injection
7	11-02-2023	El Oued	Magrane	Hamadine		Messaoudi Najem	10			Déjà		Non	2	4	800	12000	360000	12	36000			2	9000	injection
8	11-02-2023	El Oued	Magrane	Lalandou		Lebbihi Mohammed	7			Déjà		Non	3	8	800	12000	360000	13	140000			3	15000	injection
9	25-02-2023	El Oued	Magrane	Lalandou		Nizarat Ahmed	7			Déjà		non	1	2	1000	12000	360000	12	140000			4	20000	injection
10	25-02-2023	El Oued	Magrane	Lalandou		Youssef Mahmoud	5			Déjà		Non	2	4	700	12000	360000	10	80000			3	9500	injection
11	25-02-2023	El Oued	Magrane	Bella		Mlioud	6			Déjà		Non	3	8	900	12000	360000	11	21000			4	21000	injection

Annexe 02 : Capture d'écran de la base de données sous Excel issue des enquêtes sur terrain

Palmier Dattier															Tomate									
sup (t/ha)	main d'œuvre	rendement (q/ha)	dose de sem (pl/ha)	cout (da/ha)	Engrais-phosphorés				système d'irrigation	Durée d'irrigation	Période d'irrigation	sup (t/ha)	main d'œuvre	rendement (q/ha)	dose de sem (pl/ha)	cout (da/ha)	Engrais-phosphorés							
					engrais minéral	engrais organique	produit phytosanitaires	type de fertilisant									engrais minéral	engrais organique	produit phytosanitaires	type de fertilisant				
Quantité	Coût/da	Quantité	Coût/da	Quantité (kg/ha)	Coût/da	Quantité	Coût/da	injection																
1.6	3	70	100	140000	12	2000	20	2600	20	submersion	4	fois/semaine	2	3	800	12000	360000	12	20000	60	2600	4	20000	injection
1	1	86	100	120000	3	7600	80	2600	20	goutte à goutte	6	fois/semaine	2	10	800	12000	360000			46	2600	20	16000	injection
1.4	3	80	100	120000	12	2000	20	2600	20	submersion	4	fois/semaine	1.6	3	760	12000	360000	12	140000	80	2600	3	1600	injection
2	1	76	100	100000	10	6600	80	2400	20	localité	4	fois/semaine												
2	1	86	100	120000	10	7600	20		20	localité	4	fois/semaine	2.6	16	880	12000	36000	18	22000	70	2700	2	6600	injection
0.3	2	70	100		12	2000	20		20	submersion	6	fois/semaine												
2	3	70	100	120000	6	8000	20	2600	20	g p g	6	sep-juin	6	3										
1.8	2	80	100	140000	12	2000			20	submersion	4	sep-juin												
1.6	2	76	100	160000	12	2000	20	2600	20	submersion	4	fois/semaine						10	8000			1	6600	injection
1	1	76	100	120000	12	7000	80	2600	20	g p g	4	fois/semaine												
1	3	70	100	100000	10	8000	70	2600	20	g p g	6	sep-juin												

Annexe 03 : Capture d'écran de la base de données sous Excel issue des enquêtes sur terrain

Eau de la nappe										Production										Fiche caractéristique des forages									
L'eau de l'OPM		Nbr		Profondeur (m)		Niveau de la nappe (m)		Niveau de la nappe (m)		Travaux de sol		sur le réservoir		sur le marche		pour des essais		pour des échantillons		Date		Exploitant		Statut		Ya-El reu-reapprofondissement		Objectif de réalisation	
01	puits+forage	admission	6.6	Non	2006	2018	1	30	12	1.6	Non	1	20000	oui	oui					2006	Eljedidi dhaoui	habouh	locataire	2006	288	48	66	Non	pour l'irrigation par eau artésienne et reprise de surface
2	puits + 01 forage	g + g	3.76	Non	2004	2018	2	24	12	1.6	Non	1	20000	oui	oui					2018	Akhdou	habouh	locataire	2018	323	42	42	non	pour l'irrigation par eau artésienne et reprise de surface

Annexe 04 : Capture d'écran de la base de données sous Excel issue des enquêtes sur terrain

Caractéristiques techniques du forage										coût de l'investissement										fiche de caractérisation des calendriers d'arrosage													
Utilisation régime de la pompe		Bassin		durée de forage de la pompe		l'arrêt de la pompe (12 derniers mois)		la connaissance de prix de revient de ce forage		la finance de projet de forage		Facture de forage à 12 derniers mois (MAD)		la connaissance de la norme de fabrication de nappes		fréquence de pompage (12 derniers mois)		fruits (production) (12 derniers mois)		date		Belleur		N° de forage		propriétaire		Temps de fonctionnement (mois de forage)		Temps de l'arrêt de forage (h)		Temps de fonctionnement de forage pendant une semaine (h)	
oui	à plein régime	à plein régime	à plein régime	oui	Non	24h/24h	12h/24h	24h/24h	mois	oui	Non	20000 à 28000	Non	01 ou 2 fois	2500 à 4500	2000 à 6000	24	0	7	188	Bid Aoun	Locataire	24	0	7	188							
oui	à plein régime	à plein régime	à plein régime	oui	Non	24h/24h	12h/24h	24h/24h	mois	oui	Non	20000 à 28000	Non	01 ou 2 fois	2000 à 6000	2000 à 6000	24	0	7	188	Akhdou	Locataire	24	0	7	188							

Les annexes

Annexe 05 : Capture d'écran des résultats d'enquêtes sur terrain

N°	NOM ET PRENOM	NATURE JUDICIAIRE	SAT	SAU	Type d'irrigation				Nbre de puits	Palmier-Arbo	pomme de terre
					Loc	sup	Piv	sup			
1	Dou Mebrouk	Privé	3.50	2.35	oui	0.85	oui	1.50	2	0.85	1.00
2	Hala Saleh	EAI	8.00	6.75	oui	3.50	oui	3.25	2	2.50	0.00
3	Douyem Messaoud	EAI	12.00	10.90	oui	4.90	oui	6.00	6	3.90	1.00
4	Mereghni Ahmed	Privé	8.70	8.50	oui	2.50	oui	6.00	2	1.90	2.00
5	Alouan Ali	EAI	9.00	9.90	oui	3.90	oui	6.00	2	2.90	2.00
6	Alouan Lakhdar	EAI	9.00	8.90	oui	2.90	oui	6.00	2	1.90	2.00
7	Ben Ahmed Laid	EAI	9.00	8.80	oui	3.80	oui	5.00	4	3.30	3.00
8	Rachdan Ali	EAI	9.00	9.00	oui	3.00	oui	6.00	5	2.50	3.00
9	Regouta Rachid	EAI	9.00	9.50	oui	3.50	oui	6.00	2	3.00	2.00
10	Reguig Ezzeddine	EAI	9.00	8.40	oui	2.40	oui	6.00	2	1.90	2.00
11	Aouaoua nacer	EAI	11.00	9.90	oui	4.90	oui	5.00	5	3.90	2.00
12	Lechibi Ahmed	EAI	10.00	10.00	oui	4.00	oui	6.00	2	3.00	2.00
13	Mehda Laroussi	EAI	9.00	7.24	oui	3.24	oui	4.00	2	2.00	1.00
14	Mereghni Taher	EAI	9.00	9.00	oui	3.00	oui	6.00	2	2.00	3.00

Annexe 06 : Capture d'écran du calcul des consommations et des efficacités

Pomme de terre															
Sup T(Ha)	Sup Irr(Ha)	sup irr (ha)	système d'irrigation	débit déclaré	débit mesuré au forage	Q mesuré à l'entrée de la parcelle m3/h	Q mesuré à l'entrée de la parcelle l/s	Efficienc e	Taux de perte %	Durée d'irrig h/jou	Nombre d'irrigation par campagne	Priode d'irrigation	dose d'irrigation mm	dose d'irrigation m3	sup irr (ha)
3.5	2.35	1	pivot	8.00	6.76	21.83	6.06	0.90	10.33	10	90	fvrier-juin/sep-dec	1964.38	19643.80	0.85
9.00	8.80	3	pivot	9.00	7.49	25.28	7.02	0.94	6.30	8	95	fvrier-juin/sep-dec	1921.41	19214.14	3.3
4.18	3.50	1	pivot	8.00	6.43	21.23	5.90	0.92	8.30	9	85	fvrier-juin/sep-dec	1624.31	16243.14	1
3.20	2.90	1	pivot	7.00	5.83	17.89	4.97	0.85	14.79	10	81	fvrier-juin/sep-dec	1448.95	14489.53	1
5.14	3.70	1.5	pivot	7.00	6.48	22.62	6.28	0.97	3.12	8	90	fvrier-juin/sep-dec	1628.41	16284.08	1.2
3.95	2.10	1	pivot	9.00	5.35	16.45	4.57	0.85	14.58	10	89	fvrier-juin/sep-dec	1464.48	14644.85	0.6
2.25	1.85	1	Pivot	7.00	6.88	20.42	5.67	0.82	17.51	9	88	fvrier-juin/sep-dec	1617.05	16170.52	0.6

Les annexes

Annexe 07 : Capture d'écran des mesures de débits

consommation - Excel (Échec de l'activation du produit)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		Calcul le débit d'eau pompé au forage à partir du fût					Calcul le débit d'eau à l'entrée de la parcelle à partir du fût			
2										
3		Dou Mebrouk	(l)Volume	(s)Temps	(l/s) Débit		Dou Mebrouk	(l)Volume	(s)Temps	(l/s) Débit
4		Répétitions	208.2	31.52	6.61		Répétitions	208.2	34.52	6.03
5	208.2		30.18	6.90		208.2		33.25	6.26	
6	208.2		30.68	6.79		208.2		35.25	5.91	
7		Moyenne	208.2	30.79	6.76		Moyenne	208.2	34.34	6.06
8										
9		Ben Ahmed Laid	(l)Volume	(s)Temps	(l/s) Débit		Ben Ahmed Laid	(l)Volume	(s)Temps	(l/s) Débit
10		Répétitions	208.2	28.62	7.27		Répétitions	208.2	30.22	6.89
11	208.2		27.18	7.66		208.2		30.55	6.82	
12	208.2		27.54	7.56		208.2		28.17	7.39	
13		Moyenne	208.2	27.78	7.49		Moyenne	208.2	29.65	7.02
14										
15		Mereghni Taher	(l)Volume	(s)Temps	(l/s) Débit		Mereghni Taher	(l)Volume	(s)Temps	(l/s) Débit
16		Windows تنهيط	208.2	32.35	6.44			208.2	35.17	5.92

Les annexes

Annexe 09 : Capture d'écran du calcul des besoins en eau de culture de pomme de terre par cropwat

CULTURE HORS RIZ DONNÉE
(Fichier:C:\ProgramData\CROPWAT\data\crops\cropwat pomme de terre.CRO)

Culture:	Potato	Date de plantation:	05/02	Récolte:	15/05
Phase	initiale	croissa	mi-	arri	total
Durée (jours)	20	25	35	20	100
Kc Valeurs	0.50	-->	1.15	0.75	
Profondeur d'enracin	0.10	-->	0.30	0.30	
Épuisement maximum	0.25	-->	0.25	0.25	
Réponse du rendement	0.45	0.80	0.80	0.30	1.10
Hauteur de culture (0.60		

SOL DONNÉE
(Fichier:C:\ProgramData\CROPWAT\data\soils\FAO\LIGHT.SOI)

Nom du sol: Light (sand)

Données générales sur le sol:

Eau disponible totale (CC - PF)	60.0	mm/mètre
Taux d'infiltration maximum de l'eau de	40	mm/jour
Profondeur maximum d'enracinement	900	centimètres
Épuisement de la teneur en eau initiale	0	%
Eau disponible initiale	60.0	mm/mètre

BESOINS EN EAU DES CULTURES

Station ETo: Guemar El-Oued	Culture: Potato
Station Pluie: Guemar El-Oued	Date de plantation: 05/02

Mois	Décade	Phase	Kc coeff	ETc mm/jour	ETc mm/dec	Pluie eff. mm/dec	Bes. Irr. mm/dec
Fév	1	Init	0.50	1.15	6.9	1.5	5.7
Fév	2	Init	0.50	1.31	13.1	1.3	11.9
Fév	3	Crois	0.53	1.61	12.9	1.7	11.1
Mar	1	Crois	0.76	2.54	25.4	2.4	22.9
Mar	2	Crois	1.04	3.82	38.2	2.8	35.4
Mar	3	Mi-sais	1.19	5.31	58.4	2.7	55.6
Avr	1	Mi-sais	1.19	6.35	63.5	2.7	60.8
Avr	2	Mi-sais	1.19	7.28	72.8	2.6	70.1
Avr	3	Arr-sais	1.16	7.40	74.0	2.3	71.8
Mai	1	Arr-sais	0.96	6.36	63.6	1.9	61.7
Mai	2	Arr-sais	0.79	5.50	27.5	0.8	26.7
					456.3	22.6	433.9

Les annexes

Annexe 10 : Capture d'écran du calendrier d'irrigation des cultures de la pomme de terre saisonnière

CALENDRIER D'IRRIGATION DES CULTURES

Station ETo: Guemar El-Oued Culture: Potato Date de plantation: 05/02
 Station Pluie: Guemar El-Oued Sol: Light (sand) Date de récolte: 15/05

Baisse Rdt: 0.0 %

Crop scheduling options

Echéance: Irriguer à 100 % épuisement
 Apport: Recharger à 100 % de la capacité au champ
 Eff. au champ 70 %

Format Tableau: Calendrier irrigation

Date	Jour	Phase	Pluie mm	Ks fract.	Etr %	Epuis. %	Irr. mm	NeDéficit mm	Perte mm	Irr. Br mm	Débit l/s/ha
6 Fév	2	Init	0.0	1.00	100	35	2.3	0.0	0.0	3.3	0.19
8 Fév	4	Init	0.0	1.00	100	33	2.3	0.0	0.0	3.3	0.19
10 Fév	6	Init	0.0	1.00	100	30	2.3	0.0	0.0	3.3	0.19
12 Fév	8	Init	0.0	1.00	100	32	2.6	0.0	0.0	3.8	0.22
14 Fév	10	Init	0.0	1.00	100	30	2.6	0.0	0.0	3.8	0.22
16 Fév	12	Init	0.0	1.00	100	29	2.6	0.0	0.0	3.8	0.22
18 Fév	14	Init	0.0	1.00	100	27	2.6	0.0	0.0	3.8	0.22
20 Fév	16	Init	0.0	1.00	100	26	2.6	0.0	0.0	3.8	0.22
22 Fév	18	Init	0.0	1.00	100	30	3.2	0.0	0.0	4.6	0.27
24 Fév	20	Init	0.0	1.00	100	28	3.2	0.0	0.0	4.6	0.27
26 Fév	22	Croiss.	0.0	1.00	100	27	3.2	0.0	0.0	4.6	0.27
28 Fév	24	Croiss.	0.0	1.00	100	26	3.2	0.0	0.0	4.6	0.27
2 Mar	26	Croiss.	0.0	1.00	100	39	5.1	0.0	0.0	7.2	0.42
4 Mar	28	Croiss.	0.0	1.00	100	38	5.1	0.0	0.0	7.2	0.42
6 Mar	30	Croiss.	0.0	1.00	100	36	5.1	0.0	0.0	7.2	0.42
8 Mar	32	Croiss.	0.0	1.00	100	35	5.1	0.0	0.0	7.2	0.42
10 Mar	34	Croiss.	0.0	1.00	100	34	5.1	0.0	0.0	7.2	0.42
12 Mar	36	Croiss.	0.0	1.00	100	49	7.6	0.0	0.0	10.9	0.63
14 Mar	38	Croiss.	0.0	1.00	100	47	7.6	0.0	0.0	10.9	0.63
16 Mar	40	Croiss.	0.0	1.00	100	46	7.6	0.0	0.0	10.9	0.63
18 Mar	42	Croiss.	0.0	1.00	100	44	7.6	0.0	0.0	10.9	0.63
20 Mar	44	Croiss.	0.0	1.00	100	43	7.6	0.0	0.0	10.9	0.63
21 Mar	45	Croiss.	0.0	1.00	100	29	5.3	0.0	0.0	7.6	0.88
22 Mar	46	Mi-sais	0.0	1.00	100	29	5.3	0.0	0.0	7.6	0.88
23 Mar	47	Mi-sais	1.4	1.00	100	29	5.3	0.0	0.0	7.6	0.88
24 Mar	48	Mi-sais	0.0	1.00	100	29	5.3	0.0	0.0	7.6	0.88
25 Mar	49	Mi-sais	0.0	1.00	100	29	5.3	0.0	0.0	7.6	0.88
26 Mar	50	Mi-sais	0.0	1.00	100	29	5.3	0.0	0.0	7.6	0.88
27 Mar	51	Mi-sais	1.4	1.00	100	29	5.3	0.0	0.0	7.6	0.88
28 Mar	52	Mi-sais	0.0	1.00	100	29	5.3	0.0	0.0	7.6	0.88
29 Mar	53	Mi-sais	0.0	1.00	100	29	5.3	0.0	0.0	7.6	0.88
30 Mar	54	Mi-sais	0.0	1.00	100	29	5.3	0.0	0.0	7.6	0.88
31 Mar	55	Mi-sais	0.0	1.00	100	29	5.3	0.0	0.0	7.6	0.88
1 Avr	56	Mi-sais	0.0	1.00	100	35	6.3	0.0	0.0	9.1	1.05
2 Avr	57	Mi-sais	0.0	1.00	100	35	6.3	0.0	0.0	9.1	1.05
3 Avr	58	Mi-sais	1.3	1.00	100	35	6.3	0.0	0.0	9.1	1.05
4 Avr	59	Mi-sais	0.0	1.00	100	35	6.3	0.0	0.0	9.1	1.05
5 Avr	60	Mi-sais	0.0	1.00	100	35	6.3	0.0	0.0	9.1	1.05
6 Avr	61	Mi-sais	0.0	1.00	100	35	6.3	0.0	0.0	9.1	1.05
7 Avr	62	Mi-sais	1.3	1.00	100	35	6.3	0.0	0.0	9.1	1.05
8 Avr	63	Mi-sais	0.0	1.00	100	35	6.3	0.0	0.0	9.1	1.05
9 Avr	64	Mi-sais	0.0	1.00	100	35	6.3	0.0	0.0	9.1	1.05
10 Avr	65	Mi-sais	0.0	1.00	100	35	6.3	0.0	0.0	9.1	1.05
11 Avr	66	Mi-sais	0.0	1.00	100	40	7.3	0.0	0.0	10.4	1.20
12 Avr	67	Mi-sais	0.0	1.00	100	40	7.3	0.0	0.0	10.4	1.20
13 Avr	68	Mi-sais	1.3	1.00	100	40	7.3	0.0	0.0	10.4	1.20
14 Avr	69	Mi-sais	0.0	1.00	100	40	7.3	0.0	0.0	10.4	1.20

Les annexes

Annexe 11: Capture d'écran du calendrier d'irrigation des cultures de la pomme de terre saisonnière

15 Avr	70	Mi-sais	0.0	1.00	100	40	7.3	0.0	0.0	10.4	1.20
16 Avr	71	Mi-sais	0.0	1.00	100	40	7.3	0.0	0.0	10.4	1.20
17 Avr	72	Mi-sais	1.3	1.00	100	40	7.3	0.0	0.0	10.4	1.20
18 Avr	73	Mi-sais	0.0	1.00	100	40	7.3	0.0	0.0	10.4	1.20
19 Avr	74	Mi-sais	0.0	1.00	100	40	7.3	0.0	0.0	10.4	1.20
20 Avr	75	Mi-sais	0.0	1.00	100	40	7.3	0.0	0.0	10.4	1.20
21 Avr	76	Mi-sais	0.0	1.00	100	41	7.4	0.0	0.0	10.6	1.22
22 Avr	77	Mi-sais	0.0	1.00	100	41	7.4	0.0	0.0	10.6	1.22
23 Avr	78	Mi-sais	1.1	1.00	100	41	7.4	0.0	0.0	10.6	1.22
24 Avr	79	Mi-sais	0.0	1.00	100	41	7.4	0.0	0.0	10.6	1.22
25 Avr	80	Mi-sais	0.0	1.00	100	41	7.4	0.0	0.0	10.6	1.22
26 Avr	81	Fin	0.0	1.00	100	41	7.4	0.0	0.0	10.6	1.22
27 Avr	82	Fin	1.1	1.00	100	41	7.4	0.0	0.0	10.6	1.22
28 Avr	83	Fin	0.0	1.00	100	41	7.4	0.0	0.0	10.6	1.22
29 Avr	84	Fin	0.0	1.00	100	41	7.4	0.0	0.0	10.6	1.22
30 Avr	85	Fin	0.0	1.00	100	41	7.4	0.0	0.0	10.6	1.22
1 Mai	86	Fin	0.0	1.00	100	35	6.4	0.0	0.0	9.1	1.05
2 Mai	87	Fin	0.0	1.00	100	35	6.4	0.0	0.0	9.1	1.05
3 Mai	88	Fin	0.9	1.00	100	35	6.4	0.0	0.0	9.1	1.05
4 Mai	89	Fin	0.0	1.00	100	35	6.4	0.0	0.0	9.1	1.05
5 Mai	90	Fin	0.0	1.00	100	35	6.4	0.0	0.0	9.1	1.05
6 Mai	91	Fin	0.0	1.00	100	35	6.4	0.0	0.0	9.1	1.05
7 Mai	92	Fin	0.9	1.00	100	35	6.4	0.0	0.0	9.1	1.05
8 Mai	93	Fin	0.0	1.00	100	35	6.4	0.0	0.0	9.1	1.05
9 Mai	94	Fin	0.0	1.00	100	35	6.4	0.0	0.0	9.1	1.05
10 Mai	95	Fin	0.0	1.00	100	35	6.4	0.0	0.0	9.1	1.05
11 Mai	96	Fin	0.0	1.00	100	31	5.5	0.0	0.0	7.9	0.91
12 Mai	97	Fin	0.0	1.00	100	31	5.5	0.0	0.0	7.9	0.91
13 Mai	98	Fin	0.8	1.00	100	31	5.5	0.0	0.0	7.9	0.91
14 Mai	99	Fin	0.0	1.00	100	31	5.5	0.0	0.0	7.9	0.91
15 Mai	Fin	Fin	0.0	1.00	0	0					

Totaux:

Irrigation brute totale	643.9 mm	Précipitations totales	22.5 mm
Irrigation nette totale	450.8 mm	Précipitations efficaces	0.0 mm
Pertes totales d'irrigation	0.0 mm	Pertes totales de précipitation	22.5 mm
Utilisation réelle d'eau par c	450.8 mm	Déficit d'eau à la récolte	0.0 mm
Utilisation potentielle d'eau	450.8 mm	Besoins en eau réels	450.8 mm
Efficienc e calendrier d'irrigation	100.0 %	Efficienc e des précipitations	0.0 %
Inefficacit e calendrier d'irrigation	0.0 %		

Baisses du rendement:

Phase	A	B	C	D	Saison
Baisses de l'ETC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %
Facteur Réponse du rendement	0.45	0.80	0.80	0.30	1.10
Baisse du rendement	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %
Baisse cumulée du rendement	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %

Les annexes

Annexe 12 : Capture d'écran du calcul des besoins en eau du palmier dattier par cropwat

BESOINS EN EAU DES CULTURES

Station ETo: Guemar El-Oued
Station Pluie: Guemar El-Oued

Culture: Date palms
Date de plantation: 05/02

Mois	Décade	Phase	Kc coeff	ETc mm/jour	ETc mm/dec	Pluie eff. mm/dec	Bes. Irr. mm/dec
Fév	1	Init	0.80	1.85	11.1	1.5	6.2
Fév	2	Init	0.90	2.36	23.6	1.3	22.4
Fév	3	Init	0.90	2.71	21.7	1.7	19.9
Mar	1	Init	0.90	2.99	29.9	2.4	27.5
Mar	2	Init	0.90	3.31	33.1	2.8	30.3
Mar	3	Init	0.90	4.01	44.1	2.7	41.4
Avr	1	Init	0.90	4.80	48.0	2.7	45.3
Avr	2	Init	0.90	5.50	55.0	2.6	52.3
Avr	3	Init	0.90	5.76	57.6	2.3	55.3
Mai	1	Init	0.90	5.99	59.9	1.9	58.0
Mai	2	Init	0.90	6.28	62.8	1.6	61.2
Mai	3	Init	0.90	6.74	74.2	1.2	73.0
Jui	1	Init	0.90	7.33	73.3	0.8	72.5
Jui	2	Init	0.90	7.86	78.6	0.4	78.1
Jui	3	Crois	0.89	7.63	76.3	0.3	76.0
Jui	1	Crois	0.87	7.19	71.9	0.2	71.8
Jui	2	Crois	0.85	6.87	68.7	0.0	68.7
Jui	3	Mi-sais	0.83	6.54	71.9	0.2	71.7
Aoû	1	Mi-sais	0.83	6.35	63.5	0.4	63.1
Aoû	2	Mi-sais	0.83	6.17	61.7	0.6	61.1
Aoû	3	Mi-sais	0.83	5.75	63.3	1.0	62.2
Sep	1	Mi-sais	0.83	5.34	53.4	1.6	51.8
Sep	2	Mi-sais	0.83	4.92	49.2	2.0	47.2
Sep	3	Mi-sais	0.83	4.27	42.7	2.1	40.6
Oct	1	Mi-sais	0.83	3.57	35.7	2.2	33.5
Oct	2	Mi-sais	0.83	2.89	28.9	2.3	26.6
Oct	3	Mi-sais	0.83	2.64	29.1	2.4	26.7
Nov	1	Mi-sais	0.83	2.43	24.3	2.5	21.7
Nov	2	Mi-sais	0.83	2.15	21.5	2.7	18.9
Nov	3	Mi-sais	0.83	1.86	18.6	2.5	16.1
Déc	1	Mi-sais	0.83	1.51	15.1	2.0	13.2
Déc	2	Mi-sais	0.83	1.19	11.9	1.6	10.3
Déc	3	Arr-sais	0.82	1.25	13.7	2.7	11.0
Jan	1	Arr-sais	0.82	1.33	13.3	4.4	8.9
Jan	2	Arr-sais	0.81	1.35	13.5	5.6	7.9
Jan	3	Arr-sais	0.81	1.60	17.6	4.3	13.3
Fév	1	Arr-sais	0.80	1.85	7.4	1.0	6.2
					1545.8	70.3	1471.9

Les annexes

Annexe 13 : Capture d'écran du calendrier d'irrigation du palmier dattier

CALENDRIER D'IRRIGATION DES CULTURES

Station ETo: Guemar El-Oued Culture: Date palms Date de plantation: 05/02
 Station Pluie: Guemar El-Oued Sol: Light (sand) Date de récolte: 04/02

Baisse Rdt: 0.0 %

Crop scheduling options

Echéance: Irriguer à 100 % épuisement
 Apport: Recharger à 100 % de la capacité au champ
 Eff. au champ 70 %

Format Tableau: Calendrier irrigation

Date	Jour	Phase	Pluie mm	Ks fract.	Etr %	Epuis. %	Irr. mm	NeDéficit mm	Perte mm	Irr. Br mm	Débit l/s/ha
4 Mar	28	Init	0.0	1.00	100	52	63.0	0.0	0.0	90.0	0.37
24 Mar	48	Init	0.0	1.00	100	51	61.6	0.0	0.0	88.1	0.51
8 Avr	63	Init	0.0	1.00	100	52	62.4	0.0	0.0	89.1	0.69
20 Avr	75	Init	0.0	1.00	100	52	61.9	0.0	0.0	88.4	0.85
1 Mai	86	Init	0.0	1.00	100	51	61.3	0.0	0.0	87.5	0.92
12 Mai	97	Init	0.0	1.00	100	54	64.5	0.0	0.0	92.2	0.97
22 Mai	107	Init	0.0	1.00	100	52	62.9	0.0	0.0	89.9	1.04
31 Mai	116	Init	0.0	1.00	100	50	60.1	0.0	0.0	85.8	1.10
9 Jui	125	Init	0.0	1.00	100	54	65.2	0.0	0.0	93.1	1.20
17 Jui	133	Init	0.2	1.00	100	52	61.9	0.0	0.0	88.4	1.28
25 Jui	141	Croiss.	0.0	1.00	100	51	61.6	0.0	0.0	87.9	1.27
4 Jui	150	Croiss.	0.0	1.00	100	56	66.7	0.0	0.0	95.2	1.22
13 Jui	159	Croiss.	0.0	1.00	100	53	63.7	0.0	0.0	91.0	1.17
22 Jui	168	Croiss.	0.0	1.00	100	51	61.2	0.0	0.0	87.4	1.12
1 Aoû	178	Mi-sais	0.0	1.00	100	54	65.1	0.0	0.0	93.0	1.08
11 Aoû	188	Mi-sais	0.0	1.00	100	52	62.9	0.0	0.0	89.8	1.04
21 Aoû	198	Mi-sais	0.0	1.00	100	51	60.7	0.0	0.0	86.7	1.00
1 Sep	209	Mi-sais	0.0	1.00	100	52	61.8	0.0	0.0	88.3	0.93
13 Sep	221	Mi-sais	1.0	1.00	100	50	60.2	0.0	0.0	86.0	0.83
27 Sep	235	Mi-sais	1.1	1.00	100	51	61.2	0.0	0.0	87.4	0.72
16 Oct	254	Mi-sais	0.0	1.00	100	52	62.5	0.0	0.0	89.2	0.54
11 Nov	280	Mi-sais	0.0	1.00	100	52	62.1	0.0	0.0	88.7	0.39
25 Déc	324	Fin	0.0	1.00	100	51	61.2	0.0	0.0	87.4	0.23
4 Fév		Fin	0.0	1.00	0	34					

Totaux:

Irrigation brute totale	2050.5 mm	Précipitations totales	71.0 mm
Irrigation nette totale	1435.3 mm	Précipitations efficaces	68.2 mm
Pertes totales d'irrigation	0.0 mm	Pertes totales de précipitatio	2.7 mm
Utilisation réelle d'eau par c1544.0 mm		Déficit d'eau à la récolte	40.4 mm
Utilisation potentielle d'eau 1544.0 mm		Besoins en eau réels	1475. mm
Efficiencier calendrier d'irriga	100.0 %	Efficiencier des précipitations	96.1 %
Inefficacitier calendrier d'irri	0.0 %		

Baisses du rendement:

Phase	A	B	C	D	Saison
Baisses de l'ETC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %
Facteur Réponse du rendement	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Baisse du rendement	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %
Baisse cumulée du rendement	0.0	0.0	0.0	0.0	%

Les annexes

Annexe 15 : Capture d'écran du calendrier d'irrigation de la culture de tomate

CALENDRIER D'IRRIGATION DES CULTURES

Station ETo: Guemar El-Oued Culture: Tomato Date de plantation: 05/02
 Station Pluie: Guemar El-Oued Sol: Light (sand) Date de récolte: 29/06

Baisse Rdt: 0.0 %

Crop scheduling options

Echéance: Irriguer à 100 % épuisement
 Apport: Recharger à 100 % de la capacité au champ
 Eff. au champ 70 %

Format Tableau: Calendrier irrigation

Date	Jour	Phase	Pluie mm	Ks fract.	Etr %	Epuis. %	Irr. mm	NeDéficit mm	Perte mm	Irr. Br mm	Débit l/s/ha
9 Fév	5	Init	0.0	1.00	100	31	5.7	0.0	0.0	8.1	0.19
14 Fév	10	Init	0.0	1.00	100	33	7.1	0.0	0.0	10.1	0.23
20 Fév	16	Init	0.0	1.00	100	35	8.8	0.0	0.0	12.6	0.24
26 Fév	22	Init	0.0	1.00	100	34	10.0	0.0	0.0	14.2	0.27
4 Mar	28	Init	0.0	1.00	100	32	10.5	0.0	0.0	15.1	0.29
11 Mar	35	Croiss.	0.0	1.00	100	37	13.7	0.0	0.0	19.6	0.32
18 Mar	42	Croiss.	0.0	1.00	100	38	16.0	0.0	0.0	22.8	0.38
23 Mar	47	Croiss.	1.4	1.00	100	35	15.7	0.0	0.0	22.4	0.52
28 Mar	52	Croiss.	0.0	1.00	100	37	18.1	0.0	0.0	25.9	0.60
2 Avr	57	Croiss.	0.0	1.00	100	44	22.6	0.0	0.0	32.3	0.75
6 Avr	61	Croiss.	0.0	1.00	100	40	21.8	0.0	0.0	31.1	0.90
11 Avr	66	Croiss.	0.0	1.00	100	50	28.7	0.0	0.0	41.0	0.95
15 Avr	70	Croiss.	0.0	1.00	100	44	26.5	0.0	0.0	37.8	1.09
19 Avr	74	Mi-sais	0.0	1.00	100	44	26.5	0.0	0.0	37.8	1.09
23 Avr	78	Mi-sais	1.1	1.00	100	46	27.9	0.0	0.0	39.9	1.15
27 Avr	82	Mi-sais	1.1	1.00	100	47	28.3	0.0	0.0	40.4	1.17
1 Mai	86	Mi-sais	0.0	1.00	100	50	29.8	0.0	0.0	42.5	1.23
5 Mai	90	Mi-sais	0.0	1.00	100	49	29.7	0.0	0.0	42.4	1.23
9 Mai	94	Mi-sais	0.0	1.00	100	49	29.7	0.0	0.0	42.4	1.23
13 Mai	98	Mi-sais	0.8	1.00	100	52	31.0	0.0	0.0	44.2	1.28
16 Mai	101	Mi-sais	0.0	1.00	100	40	24.1	0.0	0.0	34.4	1.33
19 Mai	104	Mi-sais	0.0	1.00	100	40	24.1	0.0	0.0	34.4	1.33
22 Mai	107	Mi-sais	0.0	1.00	100	42	25.3	0.0	0.0	36.1	1.39
25 Mai	110	Mi-sais	0.0	1.00	100	43	25.9	0.0	0.0	36.9	1.43
28 Mai	113	Mi-sais	0.0	1.00	100	42	25.3	0.0	0.0	36.1	1.39
31 Mai	116	Fin	0.0	1.00	100	43	25.9	0.0	0.0	36.9	1.43
3 Jui	119	Fin	0.4	1.00	100	44	26.1	0.0	0.0	37.3	1.44
6 Jui	122	Fin	0.0	1.00	100	44	26.5	0.0	0.0	37.9	1.46
9 Jui	125	Fin	0.0	1.00	100	44	26.5	0.0	0.0	37.9	1.46
13 Jui	129	Fin	0.2	1.00	100	57	34.4	0.0	0.0	49.2	1.42
17 Jui	133	Fin	0.2	1.00	100	57	34.2	0.0	0.0	48.8	1.41
21 Jui	137	Fin	0.0	1.00	100	56	33.4	0.0	0.0	47.7	1.38
25 Jui	141	Fin	0.0	1.00	100	50	30.1	0.0	0.0	43.1	1.25
29 Jui	Fin	Fin	0.0	1.00	100	38					

Totaux:

Irrigation brute totale	1099.5 mm	Précipitations totales	26.1 mm
Irrigation nette totale	769.7 mm	Précipitations efficaces	20.8 mm
Pertes totales d'irrigation	0.0 mm	Pertes totales de précipitation	5.3 mm
Utilisation réelle d'eau par c	813.0 mm	Déficit d'eau à la récolte	22.6 mm
Utilisation potentielle d'eau	813.0 mm	Besoins en eau réels	792.2 mm
Efficienc e calendrier d'irriga	100.0 %	Efficienc e des précipitations	79.5 %

Les annexes

Annexe 16: Capture d'écran du calendrier d'irrigation de la culture de tomate

Inefficacité calendrier d'irri	0.0	%				
Baisses du rendement:						
Phase	A	B	C	D	Saison	
Baisses de l'ETc	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%
Facteur Réponse du rendement	0.50	0.60	1.10	0.80	1.05	
Baisse du rendement	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%
Baisse cumulée du rendement	0.0	0.0	0.0	0.0		%

Les annexes

Annexe 17 : Capture d'écran du calcul des besoins en eau de céréale par cropwat

CULTURE HORS RIZ DONNÉE
(Fichier:C:\ProgramData\CROPWAT\data\crops\FAO\W-WHEAT.CRO)

Culture: Winter Wheat f.f. Date de plantation: 0502-20-23 Récolte: 24-06-2023

Phase	initiale	croissa	mi-	arri	total
Durée (jours)	15	90	20	15	140
Kc Valeurs	0.70	-->	1.15	0.25	
Profondeur d'enracin	0.30	-->	1.50	1.50	
Épuisement maximum	0.55	-->	0.55	0.90	
Réponse du rendement	0.20	0.60	0.50	0.40	1.00
Hauteur de culture (1.00		

SOL DONNÉE
(Fichier:C:\ProgramData\CROPWAT\data\soils\FAO\LIGHT.SOI)

Nom du sol: Light (sand)

Données générales sur le sol:

Eau disponible totale (CC - PF)	60.0	mm/mètre
Taux d'infiltration maximum de l'eau de	40	mm/jour
Profondeur maximum d'enracinement	900	centimètres
Épuisement de la teneur en eau initiale	0	%
Eau disponible initiale	60.0	mm/mètre

BESOINS EN EAU DES CULTURES

Station ETo: Guemar El-Oued Culture: Winter Wheat f.f.
Station Pluie: Guemar El-Oued Date de plantation: 05-02-2023

Mois	Décade	Phase	Kc coeff	ETc mm/jour	ETc mm/dec	Pluie eff. mm/dec	Bes. Irr. mm/dec
Fév	1	Init	0.70	1.61	9.7	1.5	8.5
Fév	2	Crois	0.70	1.84	18.4	1.3	17.1
Fév	3	Crois	0.73	2.19	17.5	1.7	15.8
Mar	1	Crois	0.77	2.57	25.7	2.4	23.3
Mar	2	Crois	0.82	3.03	30.3	2.8	27.5
Mar	3	Crois	0.88	3.91	43.0	2.7	40.3
Avr	1	Crois	0.93	4.97	49.7	2.7	47.0
Avr	2	Crois	0.98	6.00	60.0	2.6	57.4
Avr	3	Crois	1.03	6.61	66.1	2.3	63.8
Mai	1	Crois	1.08	7.21	72.1	1.9	70.3
Mai	2	Crois	1.14	7.92	79.2	1.6	77.6
Mai	3	Mi-sais	1.16	8.68	95.5	1.2	94.3
Jui	1	Arr-sais	1.15	9.39	93.9	0.8	93.1
Jui	2	Arr-sais	0.76	6.68	66.8	0.4	66.3
Jui	3	Arr-sais	0.34	2.91	11.6	0.1	11.5
					739.6	26.0	713.8

Les annexes

Annexe 18 : Capture d'écran du calendrier d'irrigation des cultures de céréale

CALENDRIER D'IRRIGATION DES CULTURES

Station ETo: Guemar El-Oued Culture: Winter Wheat f.f. Date de plantation: 05-02-2023
 Station Pluie: Guemar El-Oued Sol: Light (sand) Date de récolte: 24-06-2023

Baisse Rdt: 0.0 %

Crop scheduling options

Échéance: Irriguer à 100 % épuisement
 Apport: Recharger à 100 % de la capacité au champ
 Eff. au champ 70 %

Format Tableau: Calendrier irrigation

Date	Jour	Phase	Pluie mm	Ks fract.	Etr %	Epuis. %	Irr. mm	NeDéficit mm	Perte mm	Irr. Br mm	Débit l/s/ha
13 Fév	9	Init	0.6	1.00	100	55	13.4	0.0	0.0	19.1	0.25
23 Fév	19	Croiss.	0.9	1.00	100	58	18.0	0.0	0.0	25.7	0.30
5 Mar	29	Croiss.	0.0	1.00	100	57	21.7	0.0	0.0	31.0	0.36
15 Mar	39	Croiss.	0.0	1.00	100	57	25.4	0.0	0.0	36.3	0.42
24 Mar	48	Croiss.	0.0	1.00	100	55	28.0	0.0	0.0	40.0	0.51
2 Avr	57	Croiss.	0.0	1.00	100	63	35.9	0.0	0.0	51.4	0.66
10 Avr	65	Croiss.	0.0	1.00	100	61	38.4	0.0	0.0	54.9	0.79
17 Avr	72	Croiss.	1.3	1.00	100	58	39.4	0.0	0.0	56.2	0.93
24 Avr	79	Croiss.	0.0	1.00	100	60	43.3	0.0	0.0	61.9	1.02
1 Mai	86	Croiss.	0.0	1.00	100	59	45.7	0.0	0.0	65.3	1.08
8 Mai	93	Croiss.	0.0	1.00	100	59	48.6	0.0	0.0	69.4	1.15
15 Mai	100	Croiss.	0.0	1.00	100	62	53.2	0.0	0.0	76.1	1.26
22 Mai	107	Mi-sais	0.0	1.00	100	62	56.2	0.0	0.0	80.2	1.33
28 Mai	113	Mi-sais	0.0	1.00	100	57	51.5	0.0	0.0	73.5	1.42
3 Jui	119	Mi-sais	0.4	1.00	100	60	53.8	0.0	0.0	76.8	1.48
9 Jui	125	Mi-sais	0.0	1.00	100	62	55.9	0.0	0.0	79.9	1.54
20 Jui	136	Fin	0.0	1.00	100	84	75.7	0.0	0.0	108.2	1.14
24 Jui	Fin	Fin	0.0	1.00	100	10					

Totaux:

Irrigation brute totale	1005.9 mm	Précipitations totales	26.0 mm
Irrigation nette totale	704.1 mm	Précipitations efficaces	24.0 mm
Pertes totales d'irrigation	0.0 mm	Pertes totales de précipitatio	1.9 mm
Utilisation réelle d'eau par c	736.7 mm	Déficit d'eau à la récolte	8.6 mm
Utilisation potentielle d'eau	736.7 mm	Besoins en eau réels	712.7 mm
Efficienc calendrier d'irriga	100.0 %	Efficienc des précipitations	92.5 %
Inefficacit calendrier d'irri	0.0 %		

Baisses du rendement:

Phase	A	B	C	D	Saison
Baisses de l'ETc	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %
Facteur Réponse du rendement	0.20	0.60	0.50	0.40	1.00
Baisse du rendement	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %
Baisse cumulée du rendement	0.0	0.0	0.0	0.0	%