

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Hassiba Benbouali de Chlef

Faculté de Technologie

Département de Génie des Procédés

# THÈSE

Présentée pour l'obtention du diplôme de

**DOCTORAT en sciences**

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie chimique

Par

**Mohammed AMOURA**

Thème :

---

**Contribution à l'analyse de la performance d'un système d'irrigation  
de cultures dans la région de Chlef.**

---

Soutenue le 27 /09/2022, devant le jury composé de :

Abdallah OUAGUED	Professeur	Université de Chlef	Président
Mustapha DOUANI	Professeur	Université de Chlef	Rapporteur
Toufik TAHRI	Professeur	Université de Chlef	Co-rapporteur
Mohamed ANNOUN	Professeur	Université de Médéa	Examineur
Tayeb KERMEZLI	MCA	Université de Médéa	Examineur
Sami TOUIL	MCA	Université de Khemis Miliana	Examineur

Année universitaire 2022-2023



## REMERCIEMENTS

Il me est impossible d'exprimer verbalement mes gratitude, pour tout ce que j'ai reçu au cours de ce travail, qui fut pour moi un extraordinaire épanouissement personnel et professionnel.

Chaque situation, chaque moment partagé, chaque apprentissage, tout fut vraiment très marquant. Avant de commencer, je tiens à préciser que je vais sans doute involontairement en oublier certaines. D'avance, je leur pris de bien vouloir m'excusé. Avant toute chose, je remercie ALLAH, le tout puissant, qui m'a donné la force, la santé et le courage de réaliser ce précieux travail.

Le noble devoir dont je voudrais s'acquitter est de remercier du fond du cœur mon promoteur Pr. Mustapha DOUANI professeur à l'UHBC de sa disponibilité, ses idées innovantes et conseils, ainsi que pour son aide précieuse de tous les jours et le temps qu'il a consacré pour la réalisation de ce travail. On ne manquerait pas non plus de dire un grand merci à mon Co-promoteur Pr. Toufik TAHRI professeur à l'UHBC département de génie électrique.

Je remercie le Président de jury, Monsieur Abdallah OUAGUED, professeur à l'université de Chlef d'avoir accepté de présider le jury.

Je remercie également, les membres de jury : Monsieur Mohamed ANNOUN, professeur à l'université de Médéa; Monsieur Tayeb KARMEZLI, maître de conférence à l'université de Médéa; Monsieur Sami TOUIL, maître de conférences à l'université de Khemis Miliana d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Mes remerciements s'adressent également à l'ensemble du personnel (enseignant et responsable) de notre département qui ont contribués à ma formation. Je voudrai exprimer mes reconnaissances envers les amis et collègues du département Génie des Procédés de l'université Hassiba Benbouali de Chlef, qui ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de ma démarche.

Mes remerciements vont également à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail.

## DEDICACES

*A ma mère, A mon père*

*...pour leurs sacrifices et leurs efforts consentis, qu'ils trouvent ici l'expression  
de ma profonde affection.*

*A mes Frères*

*...pour leurs compréhensions et leurs encouragements, qu'ils trouvent ici  
l'expression de ma sincère amitié.*

*A ma chère épouse*

*... pour sa compréhension et son encouragement, et surtout sa patience durant  
tout le temps de mon travail.*

## RESUME

L'objectif de ce travail est d'estimer les besoins en eau d'irrigation dans les cultures maraîchères en se basant sur un système d'irrigation intelligent (SII) par l'exploitation du procédé d'humidification-déshumidification de l'air. En effet, pour s'assurer d'un développement harmonieux des cultures, nous avons élaboré un système (SII) dont les paramètres d'analyse sont principalement l'humidité du sol et sa température. Après préparation du sol et sur la base d'un organigramme, un modèle a été conçu pour l'appliquer à l'irrigation de pomme de terre, variété BARTINA plantée à la station expérimentale de Lard El Beida, Chlef. Les paramètres du système ont été suivis en temps réel durant toute la période de croissance de la plante. Au terme de la végétation et ayant opté pour deux systèmes d'irrigation de deux parcelles, leurs productivités ont été comparées. En termes de rendement de production, il a été établi que le système d'irrigation intelligent a permis d'atteindre une productivité de 124,83% avec une consommation d'eau inférieure (-19,31%), comparativement au système d'irrigation goutte à goutte. Il ressort que le SII est très économe en matière de consommation d'eau pour les cultures maraîchères. Du point de vue analyse granulométrique et en rapport avec la productivité de la parcelle irriguée par le SII, on note que 80,83 % des tubercules de pomme de terre se situe dans la fourchette de dimension acceptable comprise entre 30mm et 55mm. Pour couvrir ces besoins en eau d'irrigation, gérés par le SII, nous avons recouru au procédé de dessalement de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre via la technique d'humidification-déshumidification de l'air dans une serre. Par simulation du procédé, le dimensionnement du condenseur, composant clé, constitué d'un faisceau de tubes, nous avons établi la relation entre sa surface d'échange et la quantité du condensat récupérée dans le réservoir de stockage sur la base d'un modèle mathématique fondé sur le transfert croisé de matière et de chaleur. Ainsi, pour le sol avec les propriétés pédologiques et physicochimiques identifiées dans cette étude, la dimension du condenseur à exploiter pour l'irrigation de l'unité d'aire est de 22 m<sup>2</sup>/ha. Ces résultats très encourageants méritent d'être exploités pour répondre au déficit en eau des régions arides et semi arides.

**Mots-clés:** Système d'irrigation intelligent, rentabilité de parcelles, culture maraîchère consommation d'eau, condensation, région de Chlef.

## ABSTRACT

The objective of this work is to estimate the irrigation water needs in crops gardening based on a smart irrigation system (SIS) by exploiting the air humidification-dehumidification process. Indeed, to ensure the harmonious development of crops, we have developed a system (SIS) whose analysis parameters are mainly soil moisture and temperature. After preparing the soil and based on a flowchart, a model was designed to apply it to the irrigation of the BARTINA variety potato planted at the Lard El Beida experimental station, in Chlef region. The system parameters were monitored in real time throughout the plant's growth period. At the end of the vegetation and having opted for two irrigation systems of two plots, their productivity was compared. In terms of production yield, it was established that the smart irrigation system achieved a productivity of 124.83% with lower water consumption of -19.31%, compared to the system of drip irrigation. It appears that the SIS is very economical in terms of water consumption for crops gardening. From the point of view of particle size analysis and in relation to the productivity of the plot irrigated by the SIS, we note that 80.83% of the potato tubers are within the range of acceptable dimensions between 30mm and 55mm. To cover these irrigation water needs, managed by the SIS, we resorted to the process of desalination of seawater or brackish water by the technique of humidification-dehumidification of the air in a greenhouse. By simulation of the process, the sizing of the condenser, key component, consisting of a bundle of tubes, we established the relationship between its exchange surface and the quantity of condensate recovered in the storage tank on the basis of a mathematic model based on the cross transfer of mass and heat. Thus, for the soil with the same physicochemical properties identified in this study, the size of the condenser to be used for the irrigation of the area unit is 22 m<sup>2</sup>/ha. These very encouraging results deserve to be exploited to respond to the water deficit of arid and semi-arid regions.

**Keywords:** Smart irrigation system, plot productivity, crops gardening, water consumption, condensation, Chlef area.

## ملخص

الهدف من هذا العمل هو تقدير احتياجات مياه الري في محاصيل الخضر بناءً على نظام ري ذكي من خلال استغلال عملية ترطيب الهواء وإزالة الرطوبة. في الواقع، لضمان التنمية المتناسقة للمحاصيل، قمنا بتطوير نظام تكون معايير تحليله أساساً رطوبة التربة ودرجة حرارتها. بعد تحضير التربة وعلى أساس مخطط انسيابي، تم تصميم نموذج لتطبيقه على ري البطاطس، صنف بارتينا المزروع في المحطة التجريبية الأرض البيضاء، بالشلف. تمت مراقبة معلمات النظام في الوقت الفعلي طوال فترة نمو النبات. في نهاية الغطاء النباتي وبعد اختيار نظامين للري لقطعتين تم مقارنة إنتاجيتهما. من حيث عائد الإنتاج، ثبت أن نظام الري الذكي حقق إنتاجية بنسبة 124.83% مع استهلاك أقل للمياه (-19.31%)، مقارنة بنظام الري بالتقطير. يبدو أن نظام الري الذكي اقتصادي للغاية من حيث استهلاك المياه لمحاصيل الخضر. من وجهة نظر تحليل حجم الحبيبات وفيما يتعلق بإنتاجية الأرض المستقيلة بنظام الري الذكي، ويلاحظ أن 80.83% من درنات البطاطس تقع ضمن نطاق الحجم المقبول بين 30 مم و55 مم. لتغطية هذه الاحتياجات لمياه الري، التي يديرها نظام الري الذكي، استخدمنا عملية تحلية مياه البحر أو المياه قليلة الملوحة عبر تقنية ترطيب الهواء وإزالة الرطوبة في الدفيئة. من خلال محاكاة العملية، تحجيم المكثف، المكون الرئيسي، الذي يتكون من حزمة من الأنابيب، أنشأنا العلاقة بين مساحته التبادلية وكمية المكثفات المستردة في خزان التخزين على أساس نموذج رياضي يعتمد على انتقال المادة والحرارة. وبالتالي، بالنسبة للتربة التي تحتوي على نفس الخصائص الفيزيائية والكيميائية المحددة في هذه الدراسة، فإن حجم المكثف المستخدم لري مساحة الوحدة هو 22 م<sup>2</sup>/هكتار. تستحق هذه النتائج المشجعة أن يتم استغلالها للاستجابة لنقص المياه في المناطق القاحلة وشبه القاحلة.

**الكلمات المفتاحية:** نظام ري ذكي، إنتاجية القطعة الأرضية، زراعة الخضار، استهلاك المياه، التكتيف، منطقة الشلف.

## LISTE DES SYMBOLES

Symbole	Désignation	Unité
$A$	surface de transfert de chaleur	(m <sup>2</sup> )
$C_p$	chaleur spécifique	(J/kg °C)
$C_s$	chaleur humide	(J/kg °C)
$D$	diamètre	(m)
$g$	constante gravitationnelle	(m/s <sup>2</sup> )
$H_{air}$	enthalpie de l'air	(J /kg)
$h$	coefficient de transfert thermique par convection	(W/m <sup>2</sup> °C)
$h_{fg}$	chaleur latente de vaporisation	(J/kg)
$h_{fg}^*$	chaleur latente de vaporisation modifiée	(J/kg)
$k$	conductivité thermique	(W/m°C)
$L$	hauteur du tube	(m)
$m$	flux de masse	(kg/s)
$m'$	masse du condensât	(kg)
$N$	nombre de tubes	(----
$P$	pression	(mmHg)
$Pr$	nombre de Prandtl	(----
$Q$	flux de chaleur	(W)
$Re$	nombre de Reynolds	(----
$RH$	l'humidité relative	(%)
$T$	temperature	(°C)
Tol	tolerance	(----
$U$	coefficient global de transfert thermique	(W/m <sup>2</sup> °C)
$u$	vitesse axiale	(m/s)
$v$	vitesse	(m/s)
$Y$	humidité absolue	(Kg vapeur/ Kg d'air sec)
$y$	coordonnée de la paroi	(m)
$X$	fraction massique	(----
$x$	coordonnée	(m)



<i>Symboles grecques</i>		
$\Gamma$	taux de flux de masse par unité de longueur	(kg/m)
$\alpha$	angle	(°)
$\delta$	épaisseur	(m)
$\mu$	viscosité dynamique	(kg/m.s)
$\nu$	viscosité cinématique	(m <sup>2</sup> /s)
$\rho$	masse volumique	(kg/m <sup>3</sup> )
$\tau$	contrainte de cisaillement	(N/m <sup>2</sup> )
$\Pi$	pression osmotique	(mmHg)
<i>Indices</i>		
ave	moyenne	
c	condensation	
cal	calculé	
cr	critique	
db	bulbe sec	
film	film	
I	interface	
in	interne	
out	externe	
l	liquide	
L	longitudinal	
lat	latente	
m	mesuré	
NC	gaz non condensable	
sat	saturation	
sen	sensible	
sw	eau de mer	
T	transversale	
tot	total	
tub	tube	
v	vapeur	
vert	corrigé	

W	paroi
<b><i>Exposants</i></b>	
liq	liquide
vap	vapeur

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure I.1.</b> Répartition des taux de superficies arables dans la région de Chlef	<b>10</b>
<b>Figure I.2.</b> Les Stades de Développement de la Pomme de Terre	<b>12</b>
<b>Figure II.1.</b> Région hydrographique Cheliff – Zahrez	<b>21</b>
<b>Figure II.2.</b> Les systèmes de distribution de l'eau d'irrigation	<b>24</b>
<b>Figure II.3.</b> Schéma d'un système classique d'irrigation au goutte-à-goutte	<b>26</b>
<b>Figure III.1.</b> Schéma technique de perméamètre de Guelph	<b>34</b>
<b>Figure III.2.</b> Représentation schématique d'un infiltromètre double-anneau	<b>35</b>
<b>Figure III.3.</b> Représentation schématique de la méthode de porchet	<b>35</b>
<b>Figure III.4.</b> Illustration du dispositif de Darcy	<b>37</b>
<b>Figure IV.1.</b> Emplacement du site de Lard el-beida Chlef	<b>42</b>
<b>Figure IV.2.</b> Schéma de plantation du champ utilisant des systèmes d'irrigation goutte à goutte	<b>43</b>
<b>Figure IV.3.</b> Photo de la station météo «Vantage Pro 2» de l'Université Chlef	<b>44</b>
<b>Figure IV.4.</b> Sondes de mesure de l'humidité et de la température du sol	<b>44</b>
<b>Figure IV.5.</b> Une SD shield arduino avec horloge	<b>45</b>
<b>Figure IV.6.</b> Organigramme de mesure en continu de température et d'humidité du sol	<b>46</b>
<b>Figure IV.7.</b> Schéma d'interconnexion de composants dans une carte électronique Arduino programmable.	<b>47</b>
<b>Figure V.1.</b> Photo de la serre de dessalement par humidification-déshumidification à ABU DHABI	<b>53</b>
<b>Figure V.2.</b> La serre solaire de dessalement à Al-Hail, Muscat, Oman	<b>53</b>
<b>Figure V.3.</b> Schéma descriptif de la serre solaire à deux évaporateurs	<b>55</b>
<b>Figure V.4.</b> Schéma du fonctionnement de l'unité du condenseur de la serre solaire	<b>58</b>
<b>Figure V.5.</b> Disposition des tubes dans le condenseur de la serre solaire	<b>58</b>
<b>Figure.V.6.</b> Modèle de condensation en film sur la paroi extérieure d'un tube vertical en présence d'un gaz non condensable	<b>60</b>
<b>Figure VI.1.</b> Variation de la température moyenne hebdomadaire de l'air ambiant durant la période de croissance.	<b>69</b>

<b>Figure VI.2.</b> Variation de l'humidité relative moyenne hebdomadaire de l'air durant la période de croissance	<b>70</b>
<b>Figure VI.3.</b> Variation de la pluviométrie avec le temps durant la période de croissance de la plante	<b>71</b>
<b>Figure IV.4.</b> Variation de la température moyenne hebdomadaire du sol durant la période de croissance.	<b>72</b>
<b>Figure IV.5.</b> Variation de l'humidité hebdomadaire moyenne du sol durant la période de croissance.	<b>73</b>
<b>Figure VI.6.</b> L'évolution de la végétation durant tout le cycle de culture	<b>74</b>
<b>Figure VI.7.</b> Analyse comparative de quantités de tubercules produits dans les deux parcelles	<b>75</b>
<b>Figure VI.8.</b> Comparaison de la consommation d'eau entre les deux parcelles durant la période de croissance de plantes.	<b>76</b>
<b>Figure.VI.9.</b> Variation de la surface du condenseur en fonction des besoins journalières en eau d'irrigation	<b>77</b>

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau I.1.</b> Superficie des cultures maraichères (hectares) des principaux pays du monde	<b>6</b>
<b>Tableau I.2.</b> Productions de produits maraichers des principaux pays dans le monde	<b>7</b>
<b>Tableau I.3.</b> Production végétale-Campagne de 2005/2006	<b>8</b>
<b>Tableau I.4.</b> Les sols favorables et non Favorables pour la Pomme de Terre	<b>14</b>
<b>Tableau II.1.</b> Potentialités en eau superficielle du bassin Cheliff – Zahrez	<b>21</b>
<b>Tableau IV.1.</b> analyse physico-chimique du sol	<b>48</b>
<b>Tableau IV.2.</b> Analyse physico-chimique de l'eau	<b>50</b>
<b>Tableau.V.1.</b> Paramètres géométriques de conception de la serre	<b>57</b>

## SOMMAIRE

<b>REMERCIEMENTS</b>	I
<b>DEDICACES</b>	II
<b>RESUME</b>	III
<b>LISTE DES SYMBOLES</b>	VI
<b>LISTE DES FIGURES</b>	IX
<b>LISTE DES TABLEAUX</b>	XI

<b>Introduction Générale</b>	1
------------------------------	---

### **Chapitre I : Les cultures maraîchères et les contraintes de leur développement.**

I.1. Introduction	6
I.2. La culture maraichère dans le bassin méditerranéen	7
I.3. Situation de l'agriculture en Algérie et importance des cultures maraîchères	7
I.4. Evolution des productions des cultures maraîchères en Algérie	9
I.5. Evolution des productions des cultures maraîchères dans la région de Chlef	10
I.6. Filière de pomme de terre	10
I.6.1. Variétés	11
I.6.2. Les stades de développement de la plante	11
I.6.3. Aire géographique	13
I.6.4. Ecologie de la pomme de terre	13
I.6.5. Maladies phytosanitaires de la culture	13
I.6.6. Facteurs de production	13
I.6.6.1. Le sol	13
I.6.6.2. L'eau	14
I.6.7. Les techniques culturales	14
I.6.7.1. La préparation du sol	14
I.6.7.2. Plantation de la culture	15
I.6.7.3. Les soins culturaux	15
I.6.8. Coûts de production	17
I.7. Conclusion	18

## **Chapitre II : Problématique de la disponibilité de l'eau pour l'irrigation**

II.1. Introduction	20
II.2. Situation de l'eau d'irrigation en Algérie	20
II.3. Ressources superficielles dans la région hydrographique (Cheliff –Zahrez)	21
II.3.1. Potentialités de la région	21
II.4. Quantification des besoins en eau d'une culture	22
II.4.1. La réserve en eau du sol	22
II.4.2. La dose d'irrigation	22
II.4.3. Calcul du besoin en eau d'une culture	22
II.4.4. La notion d'évapotranspiration	23
II.5. La distribution de l'eau	23
II.5.1. L'efficacité de l'irrigation	23
II.5.2. Les techniques d'irrigation	24
II.5.2.1. L'irrigation gravitaire	24
II.5.2.2. L'irrigation par aspersion	25
II.5.2.3. L'irrigation localisée ou goutte à goutte	25
II.5.2.4. Principes de l'irrigation au goutte à goutte	26
II.6. Présentation de la zone d'étude	27
II.6.1. Situation géographique du bassin Chélif	27
II.6.2. Situation administrative du bassin Chélif	28
II.6.3. Situation climatique du bassin Chélif	28
II.6.3.1. La pluviométrie	28
II.6.3.2. La température	29
II.6.3.3. Evapotranspiration	29

## **Chapitre III : Les caractéristiques pédologiques du sol et besoins en eau d'irrigation**

III.1. Introduction	31
III.2. Les caractéristiques du sol	31
III.2.1. Le sol et ses propriétés physiques	31
III.2.2. Texture du sol	31
III.2.3. Caractérisation de l'eau dans le sol	32
III.2.4. Propriétés hydrodynamiques du sol	32

III.3. Notions de perméabilité	33
III.3.1. Définition	33
III.3.2. Méthodes de mesure de la perméabilité des sols	33
III.3.2.1. Infiltromètre à disque (infiltromètre à pression contrôlée)	33
III.3.2.2. Perméamètre de Guelph	33
III.3.2.3. Méthode de Muntz ou double anneaux	34
III.3.2.4. Méthode de Porchet	35
III.3.3. Types de perméabilité	36
III.3.4. Loi de Darcy	36
III.4. Conclusion	38

#### **Chapitre IV : Développement d'un système d'irrigation intelligent destiné à la culture de produits maraichers**

IV.1. Introduction	40
IV.2. Exploitation de systèmes d'irrigation intelligents	41
IV.3. Matériels et méthodes	42
IV.3.1. Site et collecte de données	42
IV.3.2. Fonctionnement du système d'irrigation intelligent	45
IV.3.3. Installation de systèmes d'irrigation	47
IV.3.4. Propriétés physiques et hydrodynamiques du sol	47
IV.4. Préparation du sol	48
IV.5. Qualité de l'eau d'irrigation	49
IV.6. Conclusion	50

#### **Chapitre V: Dimensionnement d'une unité pour approvisionnement en eau destinée à l'irrigation par système intelligent**

V.1. Introduction	52
V.2. La serre solaire de dessalement d'eau de mer	52
V.3. Principe du fonctionnement de la serre de dessalement	54
V.4. Impact des conditions climatiques sur la gestion d'eau produite	55
V.5. Conception et mise en œuvre de l'installation	56
V.6. Description du processus du condenseur	57
V.7. Modélisation du phénomène de condensation sur tube	59
V.8. Conclusion	67



## **Chapitre VI : Collecte des données, résultats de simulation et discussion**

VI.1. Introduction	69
VI.2. Conditions météorologiques dans la zone	69
VI.2.1. Température de l'air	69
VI.2.2. Humidité de l'air	70
VI.2.3. Pluviométrie	70
VI.3. Contrôle des paramètres pédologiques	71
VI.3.1. Température du sol	71
VI.3.2. Humidité du sol	72
VI.4. Analyse comparative des deux parcelles	73
VI.4.1. L'évolution de la végétation	73
VI.4.2. Comparaison de la production	74
VI.4.3. Comparaison de la consommation d'eau	75
VI.5. Dimensionnement de la serre destinée à la production d'eau pour l'irrigation	76
<b>Conclusion Générale</b>	79
<b>Références bibliographiques</b>	82
<b>Annexes</b>	

# *Introduction Générale*

## **INTRODUCTION GENERALE**

Il est important de satisfaire la demande en eau des différentes cultures selon les espèces et le stade de leur développement naturel. L'eau est un facteur déterminant dans le processus de croissance des plantes aussi bien par son excès que par son manque compte tenu de son impact sur la sauvegarde de la qualité du sol (fertilisation, perméabilité, etc.). En effet, les cultures correctement irriguées offrent de meilleurs rendements. Or, si la plante ne reçoit pas assez d'eau, le calibre, la qualité et le rendement seront affectés.

Pour estimer les volumes d'eau à apporter, quelques études pédologiques préalables sont indispensables. En fonction du stade végétatif de la culture, de la saison et de la nature du sol, le bilan hydrique permet l'évaluation de la dose d'arrosage. Cette approche donne le cadre directeur de la réflexion sur les aberrations pratiques qu'il y a lieu d'éviter, à savoir :

- L'excès d'arrosage du sol entraînant un lessivage important et l'asphyxie des rhizomes.
- Le manque d'arrosage ayant un effet flétrissant sur la plante.

Située au sud de la méditerranée qui connaît le stress hydrique, l'Algérie connaît de grandes difficultés en matière de production agricole. Cette situation datait depuis des décennies et a conduit à une dépendance alimentaire accrue vis-à-vis de l'étranger en hypothéquant l'avenir des générations futures.

De ce fait, on note que les ressources limitées en eau compromettent le développement du secteur de l'agriculture à grande échelle. Seule une portion peu importante de la superficie irrigable est actuellement suffisamment approvisionnée en eau pour permettre la plantation de cultures stratégiques ; c'est ainsi qu'on ne pratique qu'une culture par an sur la même parcelle qui devrait parfois en porter plusieurs. Dans le pays où l'eau est parfois de qualité médiocre, on mentionne que les efforts consentis depuis l'indépendance pour régler le problème de l'irrigation sont restés en deçà des objectifs.

Pour revitaliser le développement du secteur industriel et des activités agricoles, les besoins en eau sont considérables et ne peuvent qu'augmenter en vue d'améliorer les conditions existantes et faire face aux nouvelles demandes induites par la croissance économique du pays.

A titre d'indication, la Wilaya de Chlef a une capacité moyenne annuelle de production céréalière de 40.000 quintaux [1]. Très faible, la production de la campagne a été une véritable hécatombe dont les effets se ressentent aujourd'hui sur le marché ; Pour une année de référence, la productivité de la Wilaya avoisine les 8 millions de quintaux des cultures agricoles diversifiées [1].

Le développement de l'agriculture est logiquement dépendant de la réalisation de nouvelles infrastructures hydrauliques, de la formation continue du personnel agricole et du perfectionnement des secteurs agricoles (privés, publics). Ce développement nécessite la mise en valeur du potentiel hydraulique en premier lieu avec une politique de gestion des ressources en eau. Toutes les infrastructures de mobilisation de l'eau (barrages, réseaux d'irrigation et d'épuration des eaux usées, dessalement... etc.) doivent être à l'avant-garde pour répondre à l'objectif. En effet, l'irrigation doit être contrôlée par la mise en place d'un plan d'irrigation pour les cultures ayant les mêmes besoins hydriques.

Ces derniers sont à la base de l'établissement du plan permettant de définir la dose d'arrosage en définissant le débit d'eau nécessaire c'est-à-dire le concept de mm/heure d'arrosage. Le programmeur automatique permet de faciliter la gestion de l'arrosage.

Par ailleurs, on note que le système d'arrosage goutte à goutte est un système économe en eau d'une part et qu'il ne contribue guère au lessivage du sol. Cependant, cette installation nécessite un bon système de filtration pour éviter les problèmes de bouchage des goutteurs. Ces systèmes doivent être équipés d'un régulateur de pression pour assurer une répartition uniforme de débit.

Pour faire face à certains problèmes redondants de l'irrigation, l'objet de cette thèse est d'étudier la faisabilité technique d'un système d'irrigation intelligent et économe en eau pour le développement harmonieux de cultures en tenant compte des paramètres météorologiques et pédologiques afin de promouvoir la productivité du sol aussi bien en terme de qualité que de quantité.

Pour ce faire, on abordera dans le premier chapitre, les besoins croissants en matière de produits alimentaires vue la croissance prolifique de la population dans la région de Chlef d'une part et de son intime dépendance avec la disponibilité de l'eau pour le développement de différents produits maraichers d'autre part.

Le **deuxième** chapitre sera consacré à la problématique de la disponibilité de l'eau pour l'irrigation des régions à vocation agricole dans le but de cibler les différentes ressources en eau du bassin du Chélif et la possibilité de leur exploitation dans le secteur agricole.

Pour répondre à la problématique cernée dans le chapitre précédent et ce afin d'assurer la couverture des besoins en eau pour l'agriculture, un choix d'une politique active de mobilisation des ressources en eau disponible ainsi que la mise en œuvre de nouveaux instruments de gestion tels que le système d'irrigation intelligent. Ainsi dans le **troisième**

chapitre, on se focalisera sur la préparation convenable du sol destiné à la plantation de notre culture maraichère.

Comme approche expérimentale dans le **quatrième** chapitre et après avoir opté pour la plantation de pomme de terre, issue d'une souche largement semée dans la région, nous contribuerons à l'élaboration d'un système d'irrigation intelligent pour diagnostiquer de la consommation d'eau d'irrigation durant toute la période de croissance de la plante. Naturellement, cette partie est à entamer sur une station expérimentale pour conduire toutes les expériences. Toutefois, pour apporter une réponse irréfutable de l'intérêt du système d'irrigation intelligent, nous comptons procéder à la comparaison du rendement de ce dernier à celui d'une parcelle irriguée par gouttes à gouttes traditionnel.

Pour réaliser ces expériences, un arsenal de matériels composé de: une station météorologique ; des tensiomètres ; des électrovannes ; des compteurs d'eau ; deux réservoirs d'eau ; des pompes hydrauliques, et des manomètres, s'est avéré nécessaire.

Pour distribuer l'eau sans pertes notables, notre parcelle est équipée d'autres accessoires tels que des tuyaux en polyéthylène, des raccords, des adaptateurs, des sprinklers (goutteurs) et des sondes.

Les données météorologiques (température de l'air, humidité relative, pression atmosphérique, intensité du rayonnement solaire, vitesse et direction du vent) sont collectées à intervalles réguliers au niveau de la station météorologique sur un enregistreur de données amovible.

Concernant les valeurs de la température et l'humidité du sol, elles sont scrutées par des sondes et enregistrées sur une SD Sheild Arduino. Ce dispositif a été programmé in situ, en tenant compte des conditions de développement ordinaire (teneur du sol en eau). Au besoin, des valeurs relevées sont à la base de la commande d'électrovannes lesquelles sont pilotées par un programme rédigé en langage Arduino.

Au terme de la récolte et en guise de comparaison des deux systèmes d'irrigation utilisés, notre étude sera focalisée sur :

- La consommation d'eau d'irrigation,
- Le rendement des deux parcelles,
- La taille moyenne des tubercules récoltés.

Pour des régions assez arides et après avoir déterminé le besoin en eau, on se proposera dans le **cinquième** chapitre d'analyser la possibilité d'exploiter un procédé d'humidification-

déshumidification pour s'approvisionner en eau d'irrigation. Cette étude théorique nous permettra de dimensionner les composants de la station de dessalement de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre et ce indépendamment de la localité de plantation.

L'ensemble de travail sera couronné d'une conclusion reflétant :

- L'opportunité de l'utilisation des procédés de traitement d'eau par voie solaire dans l'agriculture ;
- L'intérêt de l'installation d'un système d'irrigation intelligent déterminant rigoureusement les besoins exacts des plantes cultivées pour assurer un développement harmonieux de la végétation en vue de l'obtention d'un produit de qualité avec des rendements meilleurs ;
- La possibilité d'opter pour des alternatives basées sur les données locales que l'agriculteur pourrait exploiter pour l'approvisionnement en eau tout en réduisant le coût de production.

*Chapitre I : Les cultures  
maraîchères et les  
contraintes de leur  
développement*

## I.1. Introduction

Le maraichage reste l'une des spéculations les plus cultivées à travers les différents continents. Nous constatons, de ce fait, une évolution progressive dans le temps de la superficie mondiale réservée aux cultures maraîchères. Cette évolution a été plus particulièrement marquée durant la dernière décennie.

De plus, la production mondiale de ces cultures maraîchères a connu une nette progression au cours du temps en enregistrant une quantité de l'ordre de 1141 millions de tonnes en 2000 pour atteindre une valeur de 1719 millions de tonnes en 2013, ce qui représente une augmentation annuelle d'environ 4%. Ceci est en rapport direct avec l'élévation des superficies cultivées qui ont largement dépassé les 11 millions d'hectares en 2013 [2].

Les produits maraîchers sont largement consommés ce qui a incité les différents pays à consacrer davantage de superficies étendues pour ce type de culture afin de satisfaire la demande de leur population. Le tableau I.1 donne une indication sur les superficies cultivées des principaux pays producteurs.

**Tableau I.1.** Superficie des cultures maraîchères (hectares) des principaux pays du monde [3]

N°	Pays	Superficie (ha)	N°	Pays	Superficie (ha)
01	Chine	24 422 301	07	Vietnam	939 213
02	Inde	8 649 190	08	Iran	868 475
03	Nigéria	1 897 003	09	La Russie	791 516
04	Turquie	1 117 618	10	Egypte	753 942
05	USA	1 050 648	24	Algérie	334 129
06	Indonésie	1 015 293			

Nous remarquons à travers ce tableau que la Chine occupe la première place dans le monde avec une superficie estimée à plus de 24 millions d'hectares [4]. La troisième place est occupée par un pays africain à savoir le Nigéria. Ce dernier représente un potentiel important dans tout le continent africain avec une superficie de près de 2 millions ha. Enfin, l'Algérie se positionne en 24<sup>ème</sup> place avec une superficie de moins du demi-million d'hectares, ce qui reste assez faible par rapport à sa superficie globale.

Par ailleurs, la lecture du tableau I.2 montre que la production mondiale des cultures maraîchères a atteint 1,72 milliards de tonnes en 2013 [3].



**Tableau I.2.** Productions de produits maraichers des principaux pays dans le monde. [3]

N°	Pays	Production (Tonnes)	N°	Pays	Production (Tonnes)
01	Chine	583 321 399	07	Russie	15 485 353
02	Inde	121 015 200	08	Viet Nam	14 975 501
03	USA	34 279 961	09	Mexique	13 238 236
04	Turquie	28 280 809	10	Italie	13 049 171
05	Iran	23 651 582	17	Algérie	6 788 809

De même, nous constatons que l'Algérie, malgré sa faible superficie cultivée en maraîchage, se positionne parmi les vingt premiers pays producteurs dans le monde en occupant la 17<sup>ème</sup> place avec une production de 6.8 millions de tonnes en 2015.

### **I.2. La culture maraîchère dans le bassin méditerranéen**

L'importance de la production maraîchère dans le bassin méditerranéen n'est pas un fruit du hasard. Dans cette région, les conditions climatiques sont propices à ce type de cultures. Outre l'effet de la présence de la mer Méditerranéenne, ce bassin est bordé, par endroits, par de hautes montagnes qui en font une région à climat très divers d'où résulte une production très diversifiée. C'est d'ailleurs cette diversification climatique qui a rendu la région l'un des points mondiaux de diversification le plus important pour les plantes maraîchères.

A côté du potentiel de cultures maraîchères de plein champ, le bassin méditerranéen possède, en outre, un potentiel considérable en cultures protégées sous serre ou sous abri. Dans cette zone, les dépenses en climatisation sont minimales [5]. Dans ces résultats de travaux, GHERSI, signale aussi que l'importance des cultures maraîchères en Méditerranée est essentiellement liée à sa grande hétérogénéité et à l'existence d'autant de filières maraîchères dans ces pays producteurs [4].

Dans cette région, l'Algérie occupe la 5<sup>ème</sup> place avec un volume de production avoisinant les 7 millions de tonnes.

### **I.3. Situation de l'agriculture en Algérie et importance des cultures maraîchères**

La superficie agricole totale de l'Algérie (SAT) est évaluée aux environs de 41 millions d'hectares, soit 17% de la superficie territoriale. La surface agricole utile (SAU) réservée à la culture de diverses spéculations s'étend à 8 millions d'hectares, soit 20% de la SAT [6]. Par contre, les terres improductives couvrent l'essentiel du territoire national algérien avec un taux

estimé à 80% [2]. Le déficit des précipitations et leurs irrégularités, surtout au moment de l'activité végétative, sont autant d'éléments explicatifs de la faible expansion de la surface utile pour l'agriculture. A cela, s'ajoute le phénomène d'érosion qui dégrade le sol suite aux pratiques agricoles inappropriées. Ce phénomène affecte environ 4 millions d'hectares de terres agricoles, soit 50% de la SAU. De plus, l'érosion hydrique touche 72% des terres cultivées en Algérie [7].

L'Algérie se caractérise par un milieu naturel très diversifié. Cependant, en matière agricole, elle enregistre chaque année un déficit de production important. Près de 75% de ses besoins à l'échelle nationale sont couverts par des importations [2].

**Tableau I.3.** Production végétale-Campagne de 2005/2006.

<b>Produits</b>	<b>Superficies (ha)</b>	<b>Productions (qx)</b>
<b>Céréales d'hiver et d'été</b>	2 671 951	40 177 450
<b>Légumes secs</b>	66 866	440 690
<b>Cultures maraichères</b>	372 096	59 291 430
<b>Cultures industrielles</b>	20 555	2 627 900
<b>Fourrage naturels et artificiels</b>	888 691	11 143 780
<b>Agrumes</b>	62 902	6 803 450
<b>Vignes</b>	97 063	3 980 180
<b>Olivier</b>	29 995 980	2 647 330
<b>Dattes</b>	154 372 (ha) soit 17 093 630 palmier	4 921 880
<b>Figues (fraîches+ sèches)</b>	6 165 020	919 270
<b>Fruits (noyaux et pépins)</b>	280 387	9 809 810

Sur le plan géographique, l'agriculture algérienne est surtout concentrée dans la région nord du pays où l'on trouve les meilleures terres et les conditions climatiques les plus favorables.

Le maraîchage occupe la seconde position après les grandes cultures (3 millions ha) avec une superficie estimée à plus de 350.000 ha [2]. Cette culture est concentrée dans les zones du littoral et du sub-littoral mais aussi dans les plaines intérieures [3].

Les principales zones productrices de maraîchage sont : Alger, Ain Defla, Boumerdes, Biskra, Chlef, Mascara, Mostaganem, Skikda, Tipaza, El Tarf, El Oued, Tlemcen et Ain Temouchent. Dans les régions sahariennes, les cultures légumières ont connu un développement remarquable passant de 5300 ha en 1975 à 35000 ha cultivés en 1997 [2].

Malgré ce potentiel naturel, l'agriculture algérienne se caractérise par une faiblesse et une irrégularité de ses rendements. Le secteur agricole concentre, aujourd'hui, près de 21 % de l'emploi total et assure 12 % du produit intérieur brut (PIB). Les importations de produits alimentaires représentent environ 2,5 milliards de dollars par an. Devant cette situation, l'Etat Algérien a été obligé de reconsidérer la place de l'agriculture dans l'économie nationale [8].

La mise en place d'une nouvelle politique agricole repose sur des actions de grande ampleur parmi lesquelles, l'extension des superficies irriguées, la valorisation des eaux superficielles et l'amélioration des revenus des agriculteurs via des soutiens financiers (à la culture, à l'irrigation, aux actions de plantations, à l'utilisation des biens favorisant l'intensification).

#### **I.4. Evolution des productions des cultures maraîchères en Algérie**

L'Algérie, au même titre que les autres pays producteurs de maraichage, donne beaucoup plus d'importance à ce type de cultures. Durant, ces dernières décennies, une politique agricole mise en œuvre a contribué à l'utilisation de nouveaux moyens de production parmi lesquels nous citons le développement de la plasticulture, l'utilisation des semences hybrides à haut rendement, l'irrigation par goutte à goutte, etc. [9]. Cette politique a pour but la motivation des agriculteurs à la plantation et à la production et par voie de conséquence la réduction de la facture des importations en devises surtout dans les conjonctures de crise économique. Les superficies cultivées en cultures maraîchères ont connu une évolution progressive au cours de la dernière décennie (2000-2013) pour atteindre 335 milles ha en 2013 contre 283 milles ha en 1987. Ceci représente environ 5% de la SAU [9]. L'augmentation de la superficie agricole utile en ces cultures s'explique plus particulièrement par l'accroissement des superficies bonifiées dans les zones steppiques et désertiques, en l'occurrence, dans les wilayas de Biskra, Ghardaïa et Adrar [6].

Cette augmentation en superficie a entraîné en corollaire une élévation importante de la production nationale en maraichage. Cette production a été triplée par rapport à la superficie cultivée en passant de 2.5 millions de tonnes en 2000 à près de 7 millions de tonnes en 2013 [3]. Nous remarquons donc une nette progression de la production nationale en maraichage durant ces trente dernières années.

Cette évolution régulière dans le temps de la superficie réservée aux cultures maraîchères et de la production a marqué par contre un rendement irrégulier en ces cultures qui pourrait être expliquée par la présence d'un bon nombre de problèmes d'ordre phytosanitaire,

approvisionnement d'eau d'irrigation...etc. En effet, durant ces dernières années, le rendement est passé de 10.5 tonnes par hectare en 1986 pour doubler en atteignant 20 tonnes à l'hectare en 2013 [3].

### I.5. Evolution des productions des cultures maraîchères dans la région de Chlef

La wilaya de Chlef correspond à l'une des plus importantes régions à vocation maraîchère. Elle est caractérisée principalement par une tradition agricole depuis l'époque coloniale. Elle dispose globalement de 262.511 hectares de superficie agricole qui représentent 64,43% de la superficie totale de la wilaya, alors que la S.A.U. est de 203.230 ha, soit 77,41% de la S.A.T. La superficie irriguée est de 25.000 ha, soit 12,30% de la SAU [1], dont près de 8.725 ha consacrés aux cultures de la pomme de terre qui occupe une superficie de 4.045 ha représentant un taux de 46,36% de la superficie globale. Elle est considérée comme une culture de base après les céréales, compte tenu des traditions locales de sa consommation. Avec cette superficie, les cultures maraîchères se positionnent en troisième rang par rapport à l'ensemble des cultures pratiquées.

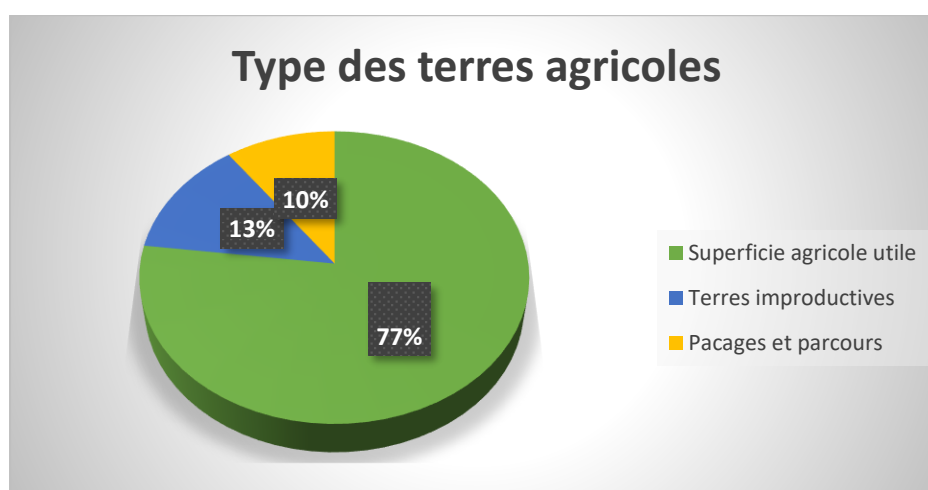


Figure I.1. Répartition des taux de superficies arables dans la région de Chlef [10].

- Superficie Totale (SAT) = 262.511 ha (65,43% de la superficie totale de la wilaya)
- Superficie agricole utilisée (SAU) = 203.230 ha (77% de la superficie des terres agricoles dont : 25 000 ha irrigués, 25 714 ha de pacages et parcours, 33 567 ha des terres improductives

### I.6. Filière de pomme de terre

La pomme de terre fait partie des grandes cultures stratégiques qui bénéficient toujours d'un soutien. Au niveau de la wilaya de Chlef, sa production est devenue un axe prioritaire de la politique entrant dans le programme de développement agricole. La superficie réservée à

cette culture était de 4.326 ha pour la campagne 2015/2016 avec capacité de production s'élevant à 1.311.730 quintaux. Par ailleurs, on note qu'une quantité de 1.097.400 quintaux pour la campagne de 2007/2008.

Cette augmentation sensible est due à plusieurs facteurs parmi les plus importants : la mobilisation des moyens, l'utilisation rationnelle de l'eau, l'application de nouvelles techniques et leur maîtrise par les producteurs ainsi que le choix adéquat des variétés appropriées.

### **I.6.1. Variétés**

Les variétés de la pomme de terre sont extrêmement élevées. Chaque variété possède une description technique basée sur de nombreux caractères morphologiques et quelques traits physiologiques facilitant son identification visuelle [11]. Toutefois, certains caractères descriptifs peuvent légèrement varier en fonction de l'époque et du lieu de culture. Les objectifs de production poursuivis dépendent du type de culture [11].

- **Pomme de terre primeur:** la limitation du nombre de tubercules au profit de leur grosseur et d'une extrême précocité. Les principales variétés utilisées sont Nicola, Diamant, Roseval, Yesmina, Timate et Charlotte.
- **Pomme de terre plant:** Le nombre élevé de tubercules de calibre moyen avec une bonne précocité.
- **Pomme de terre de consommation (marché du frais):** Un nombre élevé de tubercules d'un calibre moyen à grand, sans toutefois dépasser le calibre supérieur. Les variétés les plus utilisées sont Desirée, Bartina, Spunta, Diamant, Lisetta et Kondor.
- **Pomme de terre de consommation (transformation industrielle):** Le rendement élevé en tubercules riches en amidon.

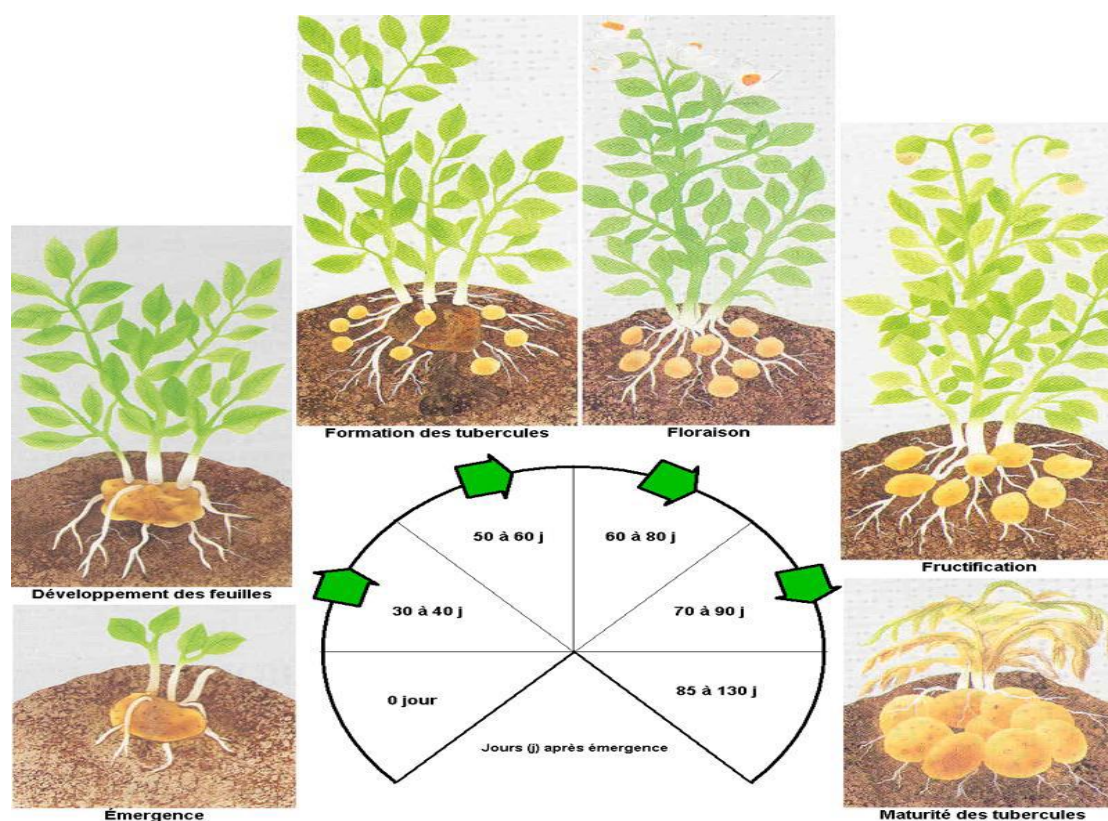
### **I.6.2. Les stades de développement de la plante**

Pour les variétés traditionnellement cultivées en Afrique de l'ouest, le cycle moyen de la plante varie de 90 à 110 jours. La plante passe par différents stades qui demandent des interventions spécifiques. Il est donc important de bien les discerner (H. Hack,). La pomme de terre peut être reproduite par graine (reproduction sexuée) ou par multiplication végétative.

La reproduction par graine est très peu pratiquée dans le milieu agricole. Les tubercules de pomme de terre qui lui confèrent sa valeur alimentaire et économique sont les plus couramment utilisés comme semence. Son cycle de croissance est très court (trois à quatre mois). Il peut être divisé en plusieurs stades conditionnés par des facteurs génétiques et

environnementaux. La figure I.2 illustre les principales étapes de son cycle de développement. Ces stades sont énumérés de façon détaillée ci-dessous :

- La germination et l'émergence de la plantule ;
- Le développement des feuilles (30 à 40 jours après l'émergence (J.A.E.) ;
- La formation des tubercules et l'émergence de l'inflorescence (50 à 60 J.A.E.) ;
- La floraison et le développement des tubercules (60 à 80 J.A.E.) ;
- La poursuite du développement des tubercules (70 à 90 J.A.E.) ;
- La sénescence des feuilles et l'arrêt de développement des tubercules (85 à 130 J.A.E.).



**Figure I.2.** Les Stades de Développement de la Pomme de Terre. [11]

Il faut mentionner que la phase du développement de la masse des tubercules est décalée par rapport au développement de la végétation. Les tubercules continuent donc à croître pendant la phase de sénescence.

La formation du tubercule est optimale lorsque la température est inférieure à 18°C et que les jours sont courts (12 h). Au contraire, le développement de l'appareil végétatif est favorisé par des températures élevées (> 25°C) et des jours longs (entre 14 h et 18 h). Le plant de pomme de terre se caractérise par un système racinaire superficiel, sensible aux températures élevées.

### **I.6.3. Aire géographique**

La pomme de terre est une plante cosmopolite. On la rencontre aussi bien en zone équatoriale, tropicale que tempérée. Les principales zones de productions sont l'Asie, l'Europe, l'Amérique et l'Afrique. En Algérie, les principales zones de productions sont la région d'El Oued, Mascara, Saida et Ain Defla.

### **I.6.4. Ecologie de la pomme de terre**

Pour chaque plante, il existe un optimum de condition thermique pour sa croissance végétative. L'optimum de germination des semences est de 12-15°C, alors que l'optimum de croissance est de 16 à 20°C. La végétation est favorisée par des températures élevées et des jours longs. La tubérisation est plutôt favorisée durant des jours courts. Les tubercules risquent de geler à partir du moment où les températures deviennent négatives.

De par ses caractéristiques physico-chimiques telles que sa texture, son degré d'aération, son aptitude au réchauffement, sa capacité de rétention d'eau, le sol contribue à l'évolution de la composition chimique des tubercules. Pour sa bonne croissance, la pomme de terre a besoin d'un sol moins lourd et bien drainé [12].

### **I.6.5. Maladies phytosanitaires de la culture**

La pomme de terre est sujette aux attaques parasitaires. Ainsi, elle peut contracter un ensemble de maladies fongiques ou bactériennes qui affectent tout ou une partie de la plante (racines, tiges, feuilles, tubercules) pendant la phase de végétation et/ou pendant la phase de conservation des tubercules. Les maladies présentent les aspects les plus divers, allant de la nécrose isolée du système végétatif, de l'altération superficielle à la pourriture destructive des tubercules. Elles sont provoquées par des agents fongiques (le mildiou, le rhizoctone brun, la gale argentée...) et bactériens (la jambe noire, la pourriture molle...) très différents à dissémination aérienne ou tellurique.

### **I.6.6. Facteurs de production**

#### **I.6.6.1. Le sol**

Les superficies cultivées en pomme de terre varient de quelques ares à plus d'un hectare au sein des exploitations. Ainsi, on peut conclure du tableau I.4 que la pomme de terre se cultive mieux sur les sols légers.

**Tableau I.4.** Les sols favorables et non Favorables pour la Pomme de Terre.

<b>Sol favorable</b>	<b>Sol défavorable</b>
Léger à mi-lourd	Compacté
Profond	Mal drainé
pH 6-7	Caillouteux
Alimentation en eau constante	-----

### **I.6.6.2. L'eau**

La pomme de terre est une espèce qui exige un apport important d'eau surtout pendant la croissance et la tubérisation. Deux types de ressource en eau sont exploités par les producteurs sur les sites de production :

- **Les eaux de surface** : Ce sont les retenues d'eau artificielles, les cours d'eau permanents ou intermittents. Tous les périmètres aménagés exploitent ce type de ressource ;
- **Les eaux souterraines** : A plus ou moins faibles profondeurs (puisards, puits, forages). Sur certains sites de production, des problèmes de tarissement précoce de la ressource en eau se posent aux producteurs qui ont parfois du mal à conduire leurs cultures jusqu'à maturation complète.

### **I.6.7. Les techniques culturales**

La culture de la pomme de terre présente une très grande souplesse lorsqu'il s'agit de l'introduire dans la rotation. Elle peut succéder chronologiquement aux plantes sarclées ou aux céréales ou en jachère à condition de prendre les précautions visant à détruire les taupins et les vers blancs. Elle convient parfaitement comme tête de rotation.

#### **I.6.7.1. La préparation du sol**

Point de départ de la culture, sa bonne réalisation conditionne la réussite de toutes les actions ultérieures et en particulier la réussite ou l'échec de la mécanisation de la culture. La pomme de terre est une plante à développement rapide (90 à 120 jours), très exigeante quant à la préparation du sol.

Il est donc important de favoriser le développement des racines. Pour cela, le sol doit être ameubli sur une profondeur de 15 à 20 cm. La couche meuble ne doit pas présenter de grosses mottes (inférieure à 20 mm) afin d'obtenir un bon développement des plantes et un grossissement régulier.



### **I.6.7.2. Plantation de la culture**

La plantation doit suivre immédiatement les opérations de préparation du sol, afin d'éviter le dessèchement du lit par le soleil ou son tassement par les pluies et ce naturellement en fonction de la saison de plantation. Ces dernières sont possibles de fin septembre à début janvier en fonction de la disponibilité du plant, de l'eau d'irrigation ainsi que des parcelles à cultiver. La densité à l'hectare ne doit pas être discutée à partir du tonnage de semence, mais du nombre de tubercules nécessaires pour obtenir le meilleur rendement. Toutes les planteuses sont d'ailleurs conçues pour réglage, non sur le poids mais sur la distance entre moyenne entre plants, dans la moyenne des cas : 44 000 plants/ ha [11]. Des trous de 7 à 15 cm sont creusés à la daba sur les planches suivant des écartements de 30 x 30 cm. Les sections de tubercules sont déposées au fond des trous et recouvertes d'une fine couche de terre. Compte tenu des recommandations en vue de la mécanisation de la culture, la distance à adopter entre rangs sera 75 cm.

La date de plantation est fonction de la zone de production, des conditions climatiques, de la variété cultivée et enfin de la nature du sol. Cependant il faut retenir que les dates de plantation s'étalent de janvier (régions non gélives) à avril (régions des hauts plateaux). Le tubercule est déposé dans la raie tracée par le soc de rayonneuse (plantation manuelle) ou de la planteuse à 3 ou 5 cm de profondeur puis recouvert par un léger buttage. Les tubercules se trouvent alors à une profondeur de 12 à 15cm.

### **I.6.7.3. Les soins culturaux**

- a) **Le buttage** : Il a pour but essentiel d'assurer une bonne nutrition de la plante, de favoriser le grossissement des tubercules et de faciliter l'arrachage mécanique. Il contribue également à protéger les tubercules contre les attaques de mildiou et de teigne. Un buttage définitif peut être effectué dès la plantation, particulièrement en terre sableuse se réchauffant rapidement. Mais en règle générale, deux buttages sont nécessaires au cours du cycle végétatif de la culture surtout en terre ayant tendance à s'entasser (sols argileux ou limoneux). Le dernier buttage doit être réalisé au plus tard lorsque la végétation atteint 15 à 20 cm de hauteur, afin de ne pas ralentir sa croissance en sectionnant éventuellement des racines et des stolons.
- b) **L'irrigation** : Une irrigation bien conduite doit satisfaire les besoins en eau de la culture en quantité et au moment voulu. L'irrigation par aspersion ou par goutte à goutte sont les techniques les plus adaptées à cette culture. En effet les arroseurs « basse pression »

appels communément « sprinklers » du fait de leur faible débit permettent d'apporter sous forme de pluviométrie un volume d'eau horaire variant de 3 à 10 mm.

- c) **Le désherbage** : La lutte mécanique contre les adventices donne de bon résultat, même pour les mauvaises herbes à problèmes, grâce à un large interligne de culture. Le désherbage chimique s'effectue avant la levée ou plus tard au moment de la levée de la plante.
- d) **La fertilisation** : En raison de son développement rapide, la pomme de terre exige une bonne fumure d'origine organique et/ou minérale. Le fumier doit être apporté suffisamment tôt (3 mois avant plantation) afin d'éviter les inconvénients d'une décomposition irrégulière avec une minéralisation trop tardive de l'azote organique. Par hectare, les normes applicables en fumier bovin sont de 20 tonnes en sols riches en matière organique et de 25 tonnes en sols dépourvus. En règle générale une tonne de fumier apporte en moyenne 1 à 2 kg d'azote, 2 à 3 kg d'acide phosphorique et 3 à 5 kg de potasse. La fumure minérale a pour rôle d'assurer à la plante une alimentation correspondant à ses besoins. Les apports d'engrais doivent tenir compte des quantités d'éléments disponibles dans le sol (déterminées avant plantation au laboratoire) et des exportations occasionnées par la culture. A titre d'information, la pomme de terre exporte par tonne de tubercules en moyenne : 3,2 kg d'N, 1,6 kg de  $P_2O_5$ , 6 kg de  $K_2O$ , 0,4 de MgO et 0,3 kg de S.
- e) **Protection phytosanitaire** : Les traitements fongiques en cours de végétation sont dirigés surtout contre le mildiou (*Phytophthora infestans*) et exceptionnellement contre l'alternaria (*Alternaria solani*). La lutte contre le mildiou et l'alternaria repose sur un suivi rigoureux de la variation des conditions climatiques locales d'une part et sur une surveillance vigilante de la plante d'autre part. Les traitements sont toujours préventifs, c'est-à-dire qu'ils doivent être effectués avant l'apparition des premiers signes de la maladie.
- f) **Défanage** : Pour éviter le grossissement excessif des tubercules et parfois leur infestation par les maladies virales, il est recommandé de pratiquer un défanage avant la récolte.
- g) **Récolte** : Le tubercule, bien protégé en terre avec une humidité suffisante est brusquement mis hors sol pour être soumis aux différents chocs (exposition au soleil, milieu ambiant plus sec.). Si la récolte manuelle limite les brutalités, par contre la récolte

mécanique peut provoquer des dégâts très importants ; De ce fait, la conduite des arracheuses doit être l'affaire de véritables spécialistes, sachant bien régler leurs machines, souvent plusieurs fois dans la journée lors de la récolte. Un pré-calibrage doit être réalisé aux champs pour séparer tous les tubercules dont le calibre est inférieur à 28 mm et supérieure à 5 mm. Cette opération permet de faciliter le calibrage dans les centres de collecte surtout lorsque ce dernier est dépourvu de calibreuse mécaniques.

- h) **La conservation ou stockage** : Seules quelques structures coopératives et privées disposent de magasins frigorifiques pour la conservation de la pomme de terre. La majorité des producteurs entrepose leurs récoltes au maximum pendant quelques semaines dans des casiers ou sous des hangars de fortune à même le sol, le temps de les écouler soit à bord champ, soit le plus souvent sur le marché urbain le plus proche. Certains producteurs arrivent à conserver leurs productions pendant quelques mois dans des caves mais les pertes sont assez importantes.

### **I.6.8. Coûts de production**

La préparation de la terre coûte 10 000 DA/ha, ce qui normalement consiste à la travailler à l'aide d'une herse à disques et/ou d'un cultivateur rotatif. Du fait que la structure du sol est pauvre, une préparation intensive est nécessaire.

La consommation de pommes de terre de semence en Algérie est autour de 250 000 tonnes, dont environ 125 000 tonnes sont importées. Le facteur qui fait la plus grande différence est la provenance des semences ; sont-elles importées ou d'origine locale ? En effet, les semences importées reviennent à 210 000 DA/ha alors que celles d'origine locale reviennent à 90 000 DA/ha, ce qui fait une grosse différence.

Le coût de plantation est de 6 000 DA par ha, ce qui est faible. De façon générale, les semences sont plantées manuellement mais, du fait des coûts croissants de la main d'œuvre, les gros producteurs en particulier passent au plantage mécanique simple.

Le coût des engrais est d'à peu près 100 000 DA/ha, c.à.d. 1 000€/ha. Comparé à l'application d'engrais aux Pays-Bas, autour de € 400/ha. Leur coût en Algérie est extrêmement élevé compte tenu du manque de fertilité du sol. Parfois, un excès d'engrais est appliqué faute d'informations techniques.

Le coût des produits des mauvaises herbes se fait souvent encore manuellement. Concernant la prévention des maladies, les coûts sont de 60 €/ha.

L'irrigation des champs en Algérie est un facteur dont le coût est considérable. Le coût concerne l'irrigation par sprinklers est d'environ 350 €/ha. Le coût actuel de la récolte manuelle en Algérie est de 55 000 DA/ha (€ 550/ha). Par ailleurs, le coût du transport des champs aux installations de stockage s'élève à 35 000 DA/ha.

De ces faits, on note que les coûts totaux de production fluctuent entre 480 000 DA et 600 000 DA/ha, en fonction de la provenance des semences (locales ou importées). Si on les compare à ceux d'autres zones de production majeures dans le monde, ces coûts sont dans la fourchette pratiquée. Toutefois, le facteur déterminant est le rendement par ha, lequel aux Pays-Bas, en Belgique et en France (nord) est plus du double ; Les aspects qualité qui ne sont pas encore pris en compte sont aussi bien meilleurs dans les zones mentionnées.

## **I.7. Conclusion**

A travers l'analyse présentée dans le cadre de ce chapitre et dans le cadre du développement local de cette filière, il se dégage que deux contraintes sont à aplanir et pour lesquelles il est impératif d'apporter des solutions :

- **Le foncier** : Ce problème se pose pour certaines exploitations agricoles installées sur les biens domaniaux qui sont les plus fertiles. Cette contrainte constitue un blocage pour le développement agricole de ces exploitations.
- **L'eau** : Il y a nécessité d'activer l'aménagement du périmètre du moyen Chélif qui permettra l'irrigation de 2.200 hectares. Pour une gestion rationnelle de l'eau, il est proposé l'application de systèmes d'irrigation économes d'eau tout en évitant l'irrigation traditionnelle.

*Chapitre II :*  
*Problématique de la*  
*disponibilité de l'eau pour*  
*l'irrigation*

## **II.1. Introduction**

Compte tenu de l'activité anthropique (industrielle, rejets urbains et agricole), l'eau se trouve menacée aussi bien dans sa qualité que dans sa quantité. Malgré la construction de nouveaux barrages et le recours aux procédés de dessalement, les études prévisionnelles ont montré que l'Algérie enregistrera un déficit en eau de 1 milliard de m<sup>3</sup> d'ici l'an 2025 [13]. La bonne gestion de l'eau est l'un des principaux piliers du développement durable. L'agriculture constitue l'un des gros consommateurs des ressources hydriques d'où l'intérêt d'accroître substantiellement les apports en eau en diversifiant les sources.

## **II.2. Situation de l'eau d'irrigation en Algérie**

Malgré les conditions de déficit en eau, le secteur de l'agriculture continue à occuper les premières places en matière de demande d'eau. Comme l'indique le rapport de synthèse, sur l'agriculture en Algérie, publié en 2015 [14], seuls 8,5 millions hectares sont irrigués, soit 12 % de la surface agricole totale dont 78% de cette eau provient des eaux souterraines alors que 13% proviennent des eaux superficielles [15]

La gestion des périmètres irrigués s'améliore peu à peu avec leur prise en charge par l'ONID (Office Nationale de l'Irrigation et de Drainage). Deux types d'exploitations agricoles irriguées sont à distinguer :

- Les grands périmètres irrigués(GPI) relevant de l'État et gérés par l'ONID. Ces périmètres sont irrigués par des barrages et des forages dans le nord du pays, alors que dans le sud, l'irrigation est assurée à partir des forages profonds dans les grandes nappes de l'albien [16]. Leur superficie est de l'ordre de 200000 ha. Les cultures pratiquées dans les GPI sont l'arboriculture (64,6 %), le maraîchage (28,5%), les cultures industrielles (6,1 %) et le reste en céréales et fourrages.
- Les petites et moyennes hydrauliques (PMH) constituées de petits périmètres et aires d'irrigation (productions privés).

Bien qu'encourageante, la mesure de l'extension des surfaces irriguées en PMH (petites et moyennes hydrauliques) pour le développement de l'agriculture a provoqué un accroissement considérable des forages individuels et des surexploitations dangereuses de certaines nappes souterraines. On mentionne que la tarification sur l'eau agricole est faible [16].

### II.3. Ressources superficielles dans la région hydrographique (Cheliff –Zahrez)

Cette région hydrographique est subdivisée en 02 grands ensembles Cheliff et Zahrez, contenant 05 bassins hydrographiques. Dans l'aire géographique que couvre ce bassin s'inscrit l'Oued Cheliff, le plus long cours d'eau du pays avec un réseau hydrographique de 6 500 km ; ils façonnent le paysage de cette région et drainent les eaux de surface du bassin (Figure II.1).

Pour avoir une idée de l'importance des barrages dans la mobilisation des eaux de surface mais aussi de la limite de cette possibilité, il faut préciser que sur la base des données existantes, les apports totaux du bassin Cheliff -Zahrez, sont estimés selon le ministère des ressources en eau à 1650 hm<sup>3</sup>.

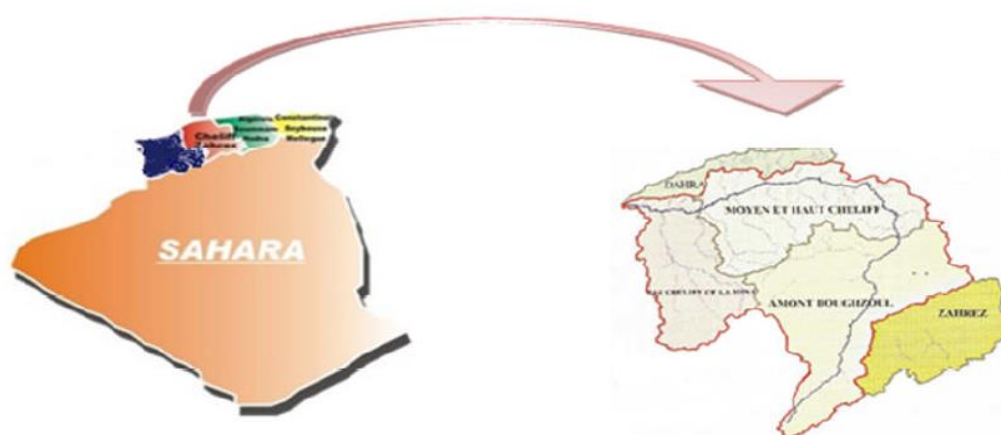


Figure II.1. Région hydrographique Cheliff – Zahrez [17].

#### II.3.1. Potentialités de la région

La région hydrographique Cheliff- Zahrez régularise un volume de 733.5 hm<sup>3</sup>/an par quatorze barrages en exploitation. Les potentialités en eau superficielle de la région hydrographique Cheliff –Zahrez sont illustrées au niveau du tableau II.1.

Tableau II.1. Potentialités en eau superficielle du bassin Cheliff – Zahrez [17].

N° Code	Bassins versants	Superficie Km <sup>2</sup>	Apport Période globale (hm <sup>3</sup> /an)	Apport Période sèche (hm <sup>3</sup> /an)	Taux de réduction en %
01	Chélif	43 750	1540	1078	30
07	Zahrez	9102	110	77	30

Actuellement, et afin de répondre aux différentes demandes en eau pour tous les usages (alimentation en eau potable, irrigation et industrie), 16 barrages sont d'ores et déjà en

exploitation et totalisent une capacité de stockage de 1 646,18 hm<sup>3</sup>, régularisant ainsi un volume total de 554,60 hm<sup>3</sup>/an et d'un taux d'envasement moyen de 17,29%.

A l'avenir, nous estimons que les 25 barrages en exploitation, en construction et en projet permettront un contrôle de 71% des apports du grand bassin.

## **II.4. Quantification des besoins en eau d'une culture**

### **II.4.1. La réserve en eau du sol**

Le sol est le réservoir d'eau où la plante va puiser ses éléments nutritifs. Ce réservoir est naturellement alimenté par les pluies. Tel que définie en pluviométrie, la quantité d'eau que peut contenir un sol s'exprime en mm (1 litre/m<sup>2</sup>). Seule une partie de cette eau est utilisable par la plante : c'est **la réserve utile (Ru)**.

La réserve d'eau dépend du type de sol : un sol sableux retient moins d'eau qu'un sol limoneux, qui lui-même retient moins d'eau qu'un sol argileux. Cette quantité impose la période s'écoulant entre deux arrosages. En effet, la réserve d'eau disponible est fonction croissante du système racinaire développé des plantes. De ce fait et pour assurer de bons rendements, le sol doit contenir en permanence de l'eau facilement utilisable. En excès par rapport à la réserve utile, l'eau se perd par infiltration ou ruissellement. La réserve facilement utilisable du sol permet de déterminer la dose d'irrigation qui exprime la quantité d'eau que l'on doit apporter à intervalles d'irrigation.

### **II.4.2. La dose d'irrigation**

Par définition, la dose d'irrigation est la quantité d'eau que le sol va pouvoir retenir lors d'un arrosage ou d'une pluie et que les plantes pourront ensuite utiliser. De cette manière, on voit qu'on n'est pas obligé d'irriguer les plantes tous les jours.

Un sol sec en surface ne signifie pas forcément que la plante n'a pas d'eau à sa disposition. De même un arrosage très fréquent n'est pas automatiquement intéressant car il n'oblige pas la plante à développer ses racines en profondeur : si l'arrosage s'arrête une journée, la plante souffre. Il est donc préférable d'obliger la plante à explorer le sol en profondeur pour qu'elle puisse bénéficier d'une plus grande réserve. Pour cela, on doit espacer les arrosages en augmentant progressivement la dose.

### **II.4.3. Calcul du besoin en eau d'une culture**

Les besoins d'une plante cultivée en eau dépendent du climat de la région (plus ou moins chaud et sec) qu'on caractérise par l'évapotranspiration potentielle (ETP). On la calcule en



mesurant l'évapotranspiration d'un gazon de référence et elle s'exprime en mm (ou en litres par m<sup>2</sup>). Elle ne donne pas directement le besoin en eau d'une culture particulière et dépend des caractéristiques climatiques de la région ; du coefficient  $k_c$  donné par des tables relevant des sciences agronomiques.

#### II.4.4. La notion d'évapotranspiration

- **L'évaporation** : L'eau s'évapore à la surface du sol sous l'effet conjugué de la température, de l'humidité de l'air du milieu et de la vitesse du vent. Elle s'exprime en mm ou en litres d'eau par m<sup>2</sup> de sol.
- **La transpiration de la plante** : La transpiration est le moteur de la plante : elle lui permet de puiser les éléments nutritifs du sol. Les racines absorbent l'eau du sol mais la plus grande partie de cette eau ne reste pas dans la plante : elle se dissipe en vapeur au niveau des feuilles. Ce processus s'appelle la transpiration et la quantité d'eau transpirée par la plante s'exprime en mm. Si la plante a des difficultés pour puiser l'eau du sol (Faible Réserve Facilement Utilisable), elle diminuera sa transpiration en fermant des orifices situés sur les feuilles qu'on appelle les stomates. La fermeture des stomates entraîne un ralentissement de la photosynthèse et donc la production de matière sèche : la plante souffre et le rendement est affecté.
- **L'évapotranspiration d'une culture** : C'est l'effet conjugué de l'évaporation du sol et de l'eau utilisée par les plantes lors de la transpiration. Elle correspond à la quantité d'eau utilisée par la plante et son environnement qui dépend des principaux stades de développement de la plante.

#### II.5. La distribution de l'eau

Le besoin de pompage est fonction des besoins en eau des cultures, mais aussi du type de distribution de l'eau utilisée lors de l'irrigation : Ainsi, la distribution est donc un paramètre important de l'efficacité de l'irrigation.

##### II.5.1. L'efficacité de l'irrigation

L'ETP, définie précédemment, correspond au besoin de la culture. Mais il faut tenir compte des pertes en eau au cours de l'irrigation qui obligent à augmenter la quantité d'eau à fournir. On parle alors de l'efficacité de l'irrigation : il s'agit du rapport entre la quantité d'eau qui parvient effectivement à la plante et la quantité d'eau fournie par le système de pompage.

$$\text{Efficacité} = \frac{\text{Quantité reçue par la plante}}{\text{Quantité d'eau pompée}}$$

Les pertes, dépendant de la méthode de distribution de l'eau employée, sont dues à des infiltrations des canaux d'irrigation, à une mauvaise répartition de l'eau, etc. affectent naturellement cette efficacité.

## II.5.2. Les techniques d'irrigation

Principalement, on distingue trois techniques de distribution de l'eau d'irrigation (Figure II.2) :

- Une distribution gravitaire ou de surface,
- Une distribution localisée (goutte à goutte),
- Une distribution par aspersion.

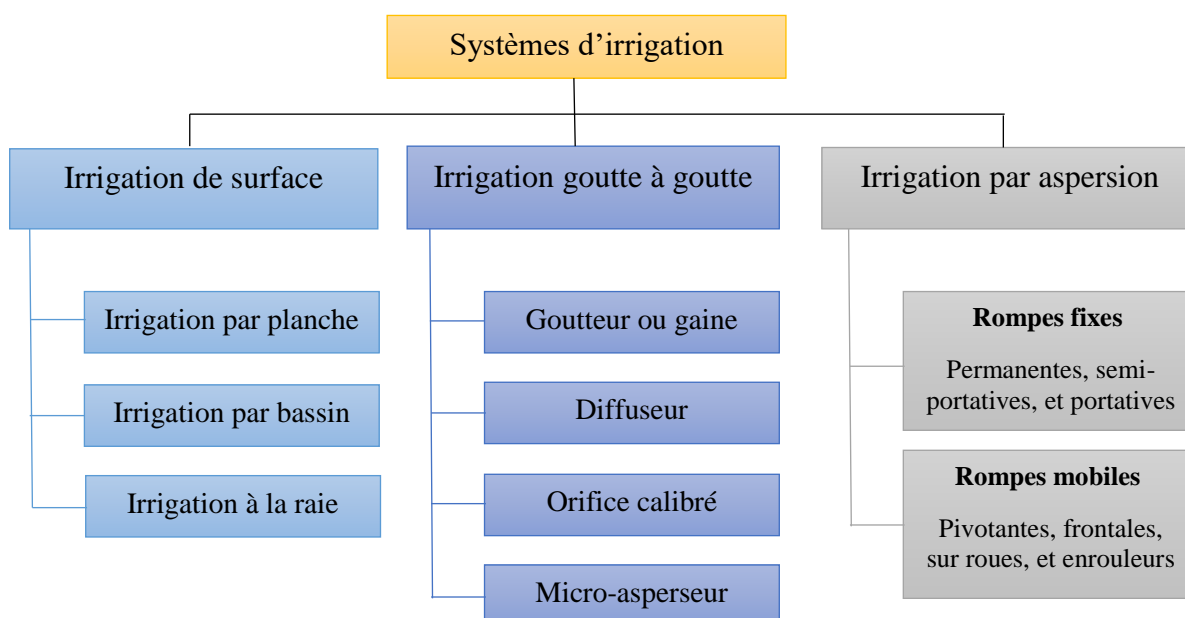


Figure II.2. Les systèmes de distribution de l'eau d'irrigation.

### II.5.2.1. L'irrigation gravitaire

L'irrigation de surface ou l'irrigation gravitaire consiste à répartir l'eau directement sur la parcelle cultivée par ruissellement sur le sol dans des sillons (méthode d'irrigation à la raie), par nappe (on parle d'irrigation par planche ou calant) ou encore par submersion contrôlée (irrigation par bassin). Etant le plus utilisé à travers le monde et peu coûteux, c'est le mode d'irrigation le plus ancien (et donc assez rudimentaire). Traditionnellement, les pertes par infiltration et la difficulté de contrôler les débits délivrés conduisent à un gaspillage d'eau et à un arrosage hétérogène.

-1) L'irrigation par planche et par bassin : Ces techniques sont utilisées pour les cultures semées à plat telles que les céréales, le trèfle, la luzerne, les plantes fourragères etc.

-2) L'irrigation à la raie : Cette technique est utilisée pour les cultures semées en billon telle que la betterave à sucre et la pomme de terre.

-3) L'irrigation partielle de la rhizosphère : Le principe est d'irriguer uniquement la moitié de la racine de la plante, et ceci de manière alternée. Cela permet aussi de limiter l'augmentation de la salinité des sols pour l'irrigation au long terme.

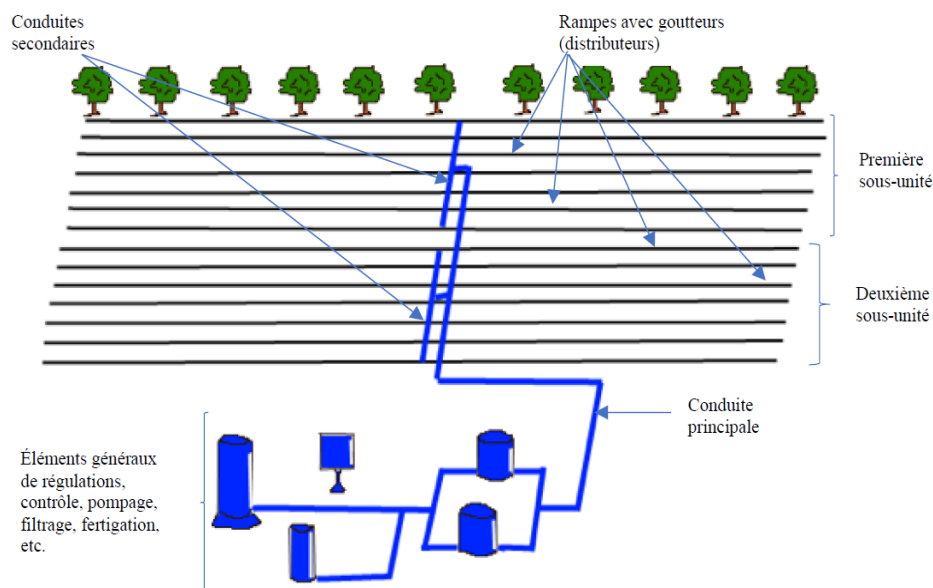
### **II.5.2.2. L'irrigation par aspersion**

Ce système arrose les plantes grâce à une pluie artificielle: l'eau sous pression est amenée à la parcelle par des canalisations ; l'aspersion est réalisée grâce à des asperseurs rotatifs que l'on appelle "sprinklers". Ce type d'irrigation convient à toutes les cultures. L'avantage de l'aspersion est de s'adapter à presque tous les types de sols et presque tous les types de cultures. Son efficacité est de 80 %. Sur des petits périmètres où l'installation ne doit pas être déplacée, l'irrigation demande peu de main d'œuvre. L'investissement est très élevé. Ce type d'irrigation nécessite une formation préalable.

### **II.5.2.3. L'irrigation localisée ou goutte à goutte**

Dès les débuts de la culture irriguée, les agriculteurs et les professionnels de l'irrigation se sont mis à la recherche de technologies ayant pour but de rentabiliser davantage l'utilisation de l'eau dans l'agriculture. La percée de l'irrigation au goutte-à-goutte se fit d'abord en Israël, puis aux Etats-Unis. L'initiative en est attribuée à M. Simcha Blass, qui mit au point des tuyaux poreux filtrants, de goutteurs Woodpecker (à museau), de goutteurs compensateurs de pression, de dispositifs anti-fuites, de mécanismes anti-siphon et de techniques de prévention du colmatage.

L'irrigation au goutte-à-goutte est une technologie d'irrigation moderne qui a modifié les techniques agronomiques et élargi les horizons de l'agriculture. La technique du goutte-à-goutte a amélioré l'efficacité de l'utilisation de l'eau en irrigation et amorcé le développement de la fertigation (distribution intégrée d'eau et d'engrais) (Figure II.3). Elle facilite l'application de l'eau et des éléments nutritifs aux cultures, "à la cuillère près", et son adaptation aux variations des besoins tout au long de la saison agricole. Appliquée aux cultures abritées, elle combine les avantages de l'hydroponie (culture hors sol) et favorise l'amélioration de la surveillance, de l'automatisation et du contrôle de l'irrigation, ainsi que la diversification des technologies de filtrage.



**Figure II.3.** Schéma d'un système classique d'irrigation au goutte-à-goutte [18]

#### II.5.2.4. Principes de l'irrigation au goutte à goutte

En général, le goutte-à-goutte, l'irrigation par aspersion, les systèmes de rampes mobiles ou pivotantes font partie des techniques d'irrigation sous pression, dans lesquelles la distribution de l'eau d'irrigation est assurée par une force motrice exploitant une source d'énergie extérieure ou un écoulement gravitaire. Souvent, cette eau est distribuée par un système de canalisations fermées.

L'irrigation au goutte-à-goutte comprend la micro irrigation (irrigation localisée), qui inclut les micro asperseurs et les micro jets. L'eau circulant dans les micro asperseurs, les micro jets et gicleurs se répand dans le sol à travers la rhizosphère. Les termes de micro irrigation ou micro aspersion, goutte-à-goutte, arrosage de précision et irrigation localisée sont parfois utilisés de façon interchangeable dans la littérature, bien que chacun d'entre eux possède un sens légèrement différent.

En micro irrigation, l'eau est diffusée par les goutteurs, les micro-asperseurs et les micro-jets. Ainsi, les goutteurs déposent de l'eau par gouttelettes ou en filet. Dans les micro-asperseurs, l'eau sort de l'émetteur à un débit plus important suivant un jet orienté. Les micro-jets font gicler, atomisent ou brumisent l'eau dans l'atmosphère autour des émetteurs.

L'irrigation au goutte-à-goutte se distingue, entre autres par l'humidification localisée du sol tout en mouillant la surface adjacente à l'émetteur. L'eau est appliquée par plusieurs émetteurs minuscules, 5000 à 30000 par hectare. Le pourcentage de la zone humectée et le volume de sol mouillé dépendent des propriétés du sol, de son degré d'humidité initial, du

volume d'eau apporté et du débit de l'émetteur. Dans les installations souterraines, la surface du sol reste sèche. La technique du goutte-à-goutte possède de nombreux avantages sur les autres systèmes d'irrigation :

- La micro-aspersion augmente l'efficacité de l'utilisation de l'eau par l'amélioration des conditions de développement des cultures irriguées ;
- La contribution à la réduction des pertes d'eau par évaporation ;
- La réduction de la zone arrosée diminue le développement des mauvaises herbes ;
- L'équilibrage du rapport air-eau : En comparaison avec une terre arrosée par aspersion ou par submersion, le bulbe humecté par l'irrigation au goutte-à-goutte contient habituellement plus d'air ;
- L'apport simultané d'engrais, d'eau et d'éléments nutritifs économise le travail lié à la mécanisation pour l'épandage des engrais ;
- L'ajustement de l'apport (eau et éléments nutritifs) aux besoins variables des cultures au cours de leur développement ;
- La facilité de l'automatisation des systèmes d'irrigation ;
- L'adaptation aux différentes conditions topographiques des sols (terrains en pente raide, terrains compacts à faible taux d'infiltration et des terrains sableux à faible capacité de rétention d'eau) ;
- L'insensibilité à la circulation du vent ;
- La consommation d'énergie est relativement plus faible vis-à-vis des autres techniques d'irrigation sous pression (aspersion et systèmes d'irrigation mécanisés) ;
- L'absence de nécrose des feuilles par le sel et les engrais contenus dans l'eau d'irrigation.

## **II.6. Présentation de la zone d'étude**

### **II.6.1. Situation géographique du bassin Chélif**

Du point de vue superficielle, le bassin du Chélif est le bassin hydrographique le plus vaste en Algérie ; Il représente plus de 77 % de la superficie totale du bassin Chélif-Zahrez avec une superficie de 43750 km<sup>2</sup>. Il s'étend entre les longitudes 0° 7' et 3° 31' Est et les latitudes 33° 53' et 36° 26' Nord et est limité au nord par les monts du Dahra et au sud par l'Atlas saharien. Il comprend, du nord au sud la vallée du Chélif, le massif de l'Ouarensis, les hauts plateaux allant de Saïda à Tiaret, les plaines de Nahr Ouassel et Ain Oussera. Il est compartimenté naturellement en trois grands sous bassins versants :

- Le bassin du Chélif-amont du barrage de Boughzoul ;
- Le bassin du Haut et du Moyen Chélif ;

- Le bassin du Bas Chélif et de la Mina.

## **II.6.2. Situation administrative du bassin Chélif**

Sur le plan du découpage administratif, la région hydrographique englobe trois Wilayas entières (Chlef, Tissemsilt et Relizane) et neuf Wilayas en partie (Ain Defla, Médéa, Djelfa, Laghouat, Tiaret, Saida, Mascara et Mostaganem.). Ces onze Wilayas forment le bassin hydrographique du Chélif avec une population de 2 598 240 habitants.

## **II.6.3. Situation climatique du bassin Chélif**

Le climat du Chélif se caractérise par des étés chauds et secs peu orageux et des hivers doux et humides et peut être appelé méditerranéen semi-aride.

### **II.6.3.1. La pluviométrie**

La région hydrographique Chélif est équipée d'un réseau pluviométrique de 127 postes et 29 stations hydrométriques géré par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

La Carte pluviométrique et tranches de précipitation moyenne (période 1968-2001), établie à partir des séries chronologiques de longue durée couvrant la période 1968/1969-2001/2002 fait bien ressortir les traits essentiels de la répartition des précipitations dans la région d'étude:

1. Dans le bassin du Haut et Moyen Chélif ; une concentration des précipitations sur les versants Sud des monts du Dahra et du Zaccar, avec une moyenne interannuelle de plus de 600 mm (stations 011803 Sidi Medja et 011806 El Anneb). Les précipitations se réduisent dans la plaine du Haut et Moyen Chélif où elles varient entre 300 et 400 mm, et dans le sud du bassin où elles atteindraient plus de 500 mm.
2. Pour le bassin versant du Bas Chélif et de la Mina, il illustre clairement l'augmentation de la concentration des précipitations proportionnellement à l'altitude de 200 mm à 500 mm ; les versants Nord-ouest des monts de Tiaret ouverts au vent de la mer sont les plus arrosés, avec une moyenne interannuelle de plus de 400 mm (Sidi Bakht (013103) et Tiaret ANRH (012917)). Les précipitations se réduisent dans la plaine du Bas Chélif où elles varient entre 200 et 350 mm.
3. La région bassin Amont Boughzoul est cernée en gros par la tranche d'eau moyenne précipitée 300-350mm dont le tracé suit étroitement la limite des versants Sud-tellien, sauf au Nord, au niveau de limite de l'Ouarsenis où intervient le rôle important de l'altitude, où la limite remonte jusqu'à 500 mm. Et plus au Sud par l'isohyète 150mm.

### **II.6.3.2. La température**

Les données existantes sont celles des stations gérées par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) et par l'office national de météorologie. Ces données relevées à partir des cartes de températures moyennes mensuelles sont éditées récemment par l'ANRH.

- Les températures moyennes annuelles les plus élevées sont enregistrées dans les plaines du Haut - Moyen Chélif et Bas Chélif ; Elles varient entre 18,4°C et 18,7°C (station Ain Defla, Chlef ,Bekhada et Relizane).
- Les plus basses sont enregistrées dans les altitudes. Elles varient entre 13,5°C et 13,7°C (station de Aflou et Ouzera), avec une diminution progressive allant du bassin Aval Boughzoul au bassin Amont Boughzoul.
- Les valeurs extrêmes (19,6°C et 13,2°C) sont enregistrées respectivement à la station de Sidi M. Benaouda et Theniet El Had

Selon les données des stations en question, il s'avère que, contrairement aux précipitations, les saisons caniculaires sont bien tranchées : la saison chaude de Mai à Octobre, mois durant lesquels les températures moyennes mensuelles sont supérieures à la moyenne annuelle, alors que la saison froide s'étale de Novembre à Avril. Le maximum des températures est atteint en Août ou Juillet autour de 26°C à 28°C et le minimum se situe en janvier ou Février de 3°C à plus de 10°C.

### **II.6.3.3. Evapotranspiration**

Les données des évapotranspirations sont relevées à partir des cartes des évapotranspirations mensuelles et annuelles éditées par les services de l'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH).

L'évaluation de l'évapotranspiration potentielle suit la marche des saisons avec un minimum de l'ordre de 25mm (Haut et moyen Chélif), 37mm (Bas Chélif et Mina), et 31mm (Chélif à l'amont de barrage de Boughzoul) pendant le mois Janvier. Le mois de Juillet connaît une valeur maximale de l'ordre de 232mm à la station de Ksar Chellala (Bassin Chélif).

## **II.7. Conclusion**

Dans le domaine de l'agriculture, il est intéressant de noter qu'une solution au manque de l'eau dans les régions arides, ne réside pas nécessairement dans la production davantage de quantités d'eau, mais de gérer le plus parcimonieusement possible le capital existant en matière d'eau dans l'irrigation.

*Chapitre III : Les  
caractéristiques  
pédologiques du sol et  
besoins en eau d'irrigation*



### **III.1. Introduction**

L'hydrodynamique de l'écoulement de l'eau à travers les différentes couches constitutives du sol varient selon son état de saturation relative en eau et de ses caractéristiques physicochimiques et pédologiques. Pour une meilleure compréhension des phénomènes circulatoires de l'eau et de leurs régimes, l'établissement d'une fiche technique couvrant l'aspect pédologique et physicochimique, à des profondeurs végétales, est une étape incontournable en vue de déterminer les besoins hydriques, minéraux et organiques nécessaires au développement des plantations. En priorité et dans le cadre de ce travail, on se concentrera sur l'importance d'une gestion rationnelle des quantités d'eau destinées à l'irrigation pour la préservation des ressources hydriques.

Ainsi, on s'intéressera à l'étude des constituants chimiques du sol et de ses propriétés physiques d'une part et à sa texture en mettant particulièrement l'accent sur sa perméabilité intrinsèque en exploitant les modèles d'écoulement des fluides à travers les milieux poreux d'autre part.

### **III.2. Les caractéristiques du sol**

#### **III.2.1. Le sol et ses propriétés physiques**

Le sol est une interface entre la lithosphère et l'atmosphère. Il résulte de la désagrégation physique d'un substrat en minéraux hérités et de leur altération chimique sous l'effet de l'eau et de la matière organique pour donner de la matière plus ou moins transformée, stabilisée qui constitue les couches supérieures du solum [19].

Physiquement, c'est un système complexe de matières qui est présent sous forme de trois états : liquide, gazeux et solide. L'état liquide est représenté majoritairement par l'eau alors que l'état gazeux par l'air du sol. L'état solide est constitué de grains minéraux, de taille variable, provenant de la désagrégation, de l'altération des roches sous-jacentes et d'une fraction organique minoritaire.

Il s'ensuit que l'identification de ses paramètres physicochimiques est d'une importance capitale et primordiale dans tout projet de plantation de cultures.

#### **III.2.2. Texture du sol**

De manière globale, la texture du sol traduit la composition granulométrique de la terre fine. La distribution granulométrique des particules est souvent corrélée à la densité du sol, à sa porosité, au champ d'écoulement interstitiel préférentiel de l'eau et de l'air et à sa capacité

de rétention pour l'eau [21]. Habituellement, trois catégories sont considérées : les argiles ( $< 2 \mu\text{m}$ ), les limons ( $2- 50 \mu\text{m}$ ) et les sables ( $50 - 2000 \mu\text{m}$ ). Ainsi, on définit la structure du sol par la répartition dans l'espace de la matière solide et du degré de vide, siège de présence de fluides (eau et air). Cette répartition conditionne l'ensemble des propriétés physiques fondamentales du sol, à savoir l'aération et capillarité d'eau [22]. Par ailleurs, la porosité du sol est une caractéristique définie par le rapport entre le volume du vide et le volume total de l'échantillon analysé. Habituellement, trois classes de sol peuvent être distinguées : microporeux, mésoporeux et macroporeux [23].

### **III.2.3. Caractérisation de l'eau dans le sol**

Compte tenu de ses propriétés physicochimiques, l'eau joue un rôle très important dans tous les phénomènes biologiques se produisant dans le sol. Dans le sol, elle est disponible sous quatre formes distinctes [24] : le niveau de saturation en eau, la capacité de champ, le point de flétrissement (PF) et le niveau extra sec.

L'eau est retenue principalement dans l'espace poreux interstitiel ou adsorbée suite à ses interactions avec les minéraux. Sa quantité dépend de plusieurs facteurs : la nature des constituants du sol, sa texture et des conditions climatiques [25].

Elle est exprimée en volume d'eau (masse d'eau) rapporté au volume de matériau (masse de matériau respectivement). Ses valeurs varient entre la teneur en eau résiduelle (valeur minimale) et la teneur en eau à la saturation (valeur maximale). On note que la valeur maximale est de l'ordre de 35% à 50% pour un sol sableux, de 40% à 60% pour un sol silteux et de 30% à 65% pour un sol argileux.

### **III.2.4. Propriétés hydrodynamiques du sol**

L'eau qui arrive au sol par pluie, par voie d'irrigation, ou par remontée à partir d'une nappe, est tributaire de ses mouvements. Hormis les phénomènes de ruissellement et de drainage latéral, les mouvements de l'eau dans le sol relèvent de deux processus opposés :

- **Processus d'infiltration gravitaire:** Il s'agit des mouvements descendants de l'eau par gravité, qui sont liés à la perméabilité du sol.
- **Processus de diffusion capillaire:** A travers les espaces finement poreux et par capillarité, l'eau se déplace en tous sens depuis les zones humides vers les zones plus sèches, tendant à égaliser en tout point l'humidité de sol [27].

L'écoulement de l'eau dans un milieu poreux est régi par des forces de nature différente selon que ce milieu est saturé ou non saturé. Deux propriétés intrinsèques du sol sont nécessaires pour simuler les écoulements : la courbe de rétention et la conductivité hydraulique.

- **La courbe de rétention:** Elle représente la relation univoque entre l'humidité volumique et le potentiel de pression.
- **La conductivité hydraulique K:** l'un des paramètres qui explique la dynamique des mouvements de l'eau dans le sol et qui représente la capacité du sol à laisser circuler l'eau.

### **III.3. Notions de perméabilité**

#### **III.3.1. Définition**

La perméabilité d'un milieu est une grandeur physique macroscopique reflétant la capacité d'un milieu solide à se laisser pénétrer et traverser par un fluide sous l'effet d'un gradient de pression [28].

#### **III.3.2. Méthodes de mesure de la perméabilité des sols**

La connaissance des mécanismes de transferts d'eau, dans la zone non saturée, au-dessus du niveau de la nappe, permet d'apporter des solutions aux problèmes liés à la dispersion de produits contaminants et à leur confinement en vue de leur élimination du sol. Dans le domaine de l'agriculture et en relation avec l'irrigation, de tels mécanismes nous permettront de choisir le mode approprié de drainage des eaux libres en recourant au concept de la conductivité hydraulique. Ce paramètre est déterminé in situ par diverses techniques d'infiltration dont on cite :

##### **III.3.2.1. Infiltromètre à disque (infiltromètre à pression contrôlée)**

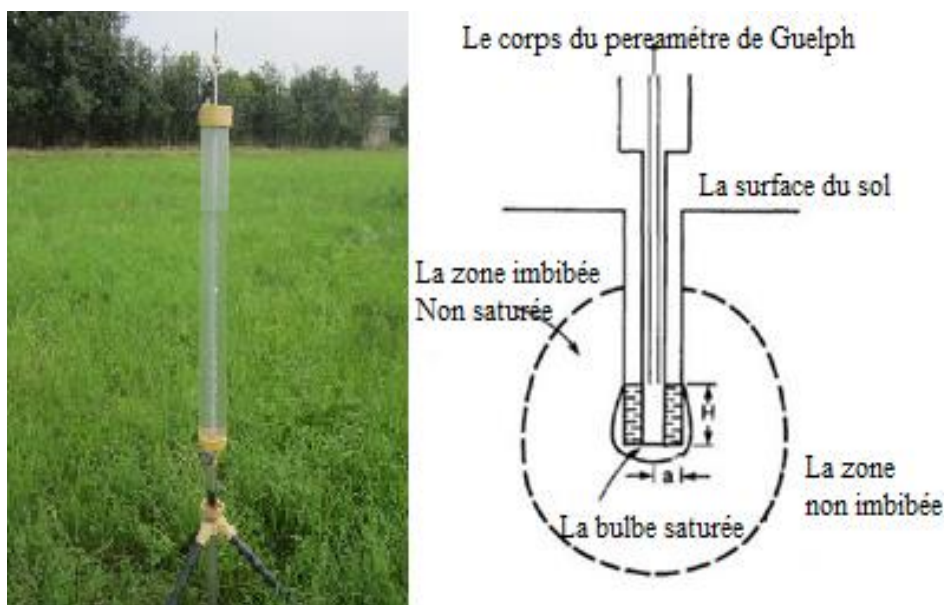
Il présente la spécificité de permettre une exploration des variations des paramètres obtenus en fonction de la pression en conditions de non saturation. Pour inconvénient, ce dispositif ne permet d'opérer que dans les gammes de potentiel assez réduites.

La plupart de ces infiltromètres se compose d'une embase circulaire, mise en contact avec la surface du sol, surmontée d'un réservoir d'alimentation et d'un système de dépressurisation [30].

##### **III.3.2.2. Perméamètre de Guelph**

C'est le dispositif expérimental utilisé dans l'approche de Reynolds dans la mesure de la perméabilité dans les zones non saturées.

Du point de vue de sa conception, c'est un perméamètre dont la charge est régulée, par un vase de Mariotte qui permet la mesure d'un flux d'eau passant au travers d'une crépine cylindrique et par le fond d'un trou, creusé dans le sol (figure III.1). Le principe de la mesure consiste à créer, dans un sol non saturé, un bulbe saturé en appliquant une charge hydraulique constante dans le fond d'un trou de tarière. Le régime permanent est atteint lorsque le débit qui s'écoule devient constant [26].



**Figure III.1.** Schéma technique de perméamètre de Guelph.

La mesure du débit nécessite au moins deux charges hydrauliques différentes afin de pouvoir analyser les données. En plus de la vitesse de l'infiltration, ce dispositif permet d'évaluer le potentiel d'écoulement matriciel et la capacité d'absorption du sol.

### III.3.2.3. Méthode de Muntz ou double anneaux

C'est une méthode adaptée pour des terrains de faible perméabilité. Elle permet la mesure de la capacité d'infiltration. Le dispositif expérimental est constitué de deux anneaux cylindriques concentriques enfoncés dans le sol. En général, le diamètre de l'anneau extérieur est le double de celui de l'anneau intérieur (Figure III.2).

Le principe de cet infiltromètre consiste à mesurer le débit d'eau infiltrée sous une charge hydraulique donnée dans l'anneau interne. Le flux vertical y étant maintenu grâce à l'anneau externe (anneau de garde) où est imposée la même charge hydraulique [20].

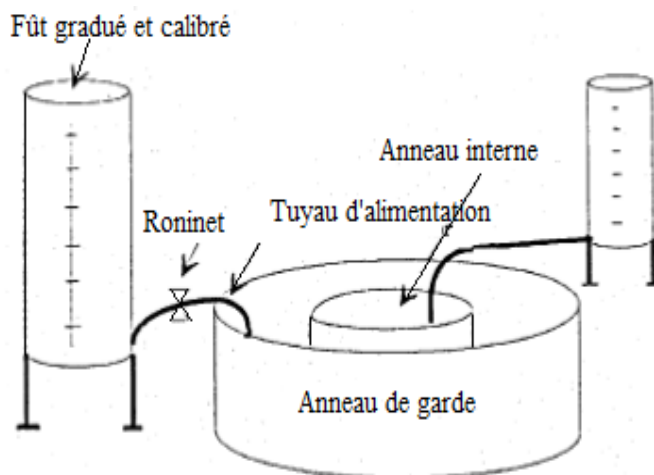


Figure III.2. Représentation schématique d'un infiltromètre double-anneau.

#### III.3.2.4. Méthode de Porchet

La méthode de Porchet (Figure III.3) porte le nom de son concepteur qui l'a mise au point pour déterminer la perméabilité in situ dont le principe consiste à suivre la variation du niveau de l'eau dans le récipient gradué après son remplissage.

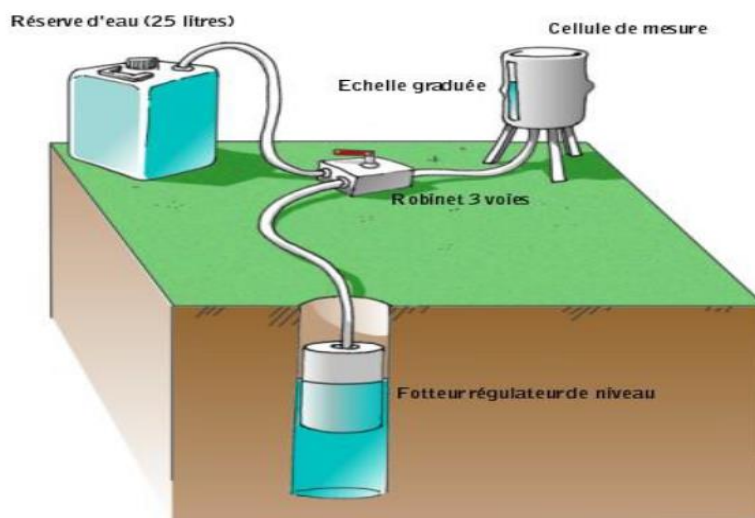


Figure III.3. Représentation schématique de la méthode de porchet [31]

Aux États-Unis, on utilise une méthode ressemblante appelée « *percolation rate* » ou test de percolation.

Cette méthode peut être réalisée à :

- Niveau variable où on suit l'abaissement du niveau de l'eau en fonction du temps dans le trou.
- Niveau constant là où le principe est de suivre le volume d'eau à apporter dans le trou pour pouvoir garder un niveau d'eau constant.

### III.3.3. Types de perméabilité

Il existe plusieurs types de perméabilité. On peut citer entre autres :

- **Perméabilité géométrique (intrinsèque ou spécifique):** c'est le volume du fluide qui sature complètement un milieu et qui traverse par unité de temps une surface sous l'effet d'un gradient de charge.
- **Perméabilité relative (conductivité hydraulique relative à un fluide):** Elle correspond à la vitesse d'infiltration d'un fluide dans le sol. En condition saturée, elle s'exprime d'une manière générale comme suit :

$$K = k(g/\nu) \quad (\text{III.3})$$

Où  $k$  : la perméabilité intrinsèque a les dimensions d'une surface ( $L^2$ );  $g$ : l'accélération de la pesanteur ( $L/T^2$ ) et  $\nu$ : la viscosité cinématique du fluide ( $L^2T$ )

- **Perméabilité effective :** Elle mesure la capacité du milieu à transmettre un fluide en même temps qu'un autre fluide.
- **Perméabilité équivalente :** Dans le cas des sols sédimentaires, les différentes couches superposées présentent des perméabilités différentes. Dans un milieu formé de  $n$  strates, chaque strate étant constituée d'un matériau supposé homogène et isotrope, le coefficient de perméabilité est donné par la formule suivante :

$$k_e = \sqrt{k_h k_v} \quad (\text{III.4})$$

Avec :

$k_h$  : la perméabilité horizontale moyenne (arithmétique) sur l'ensemble des couches définie comme suit :

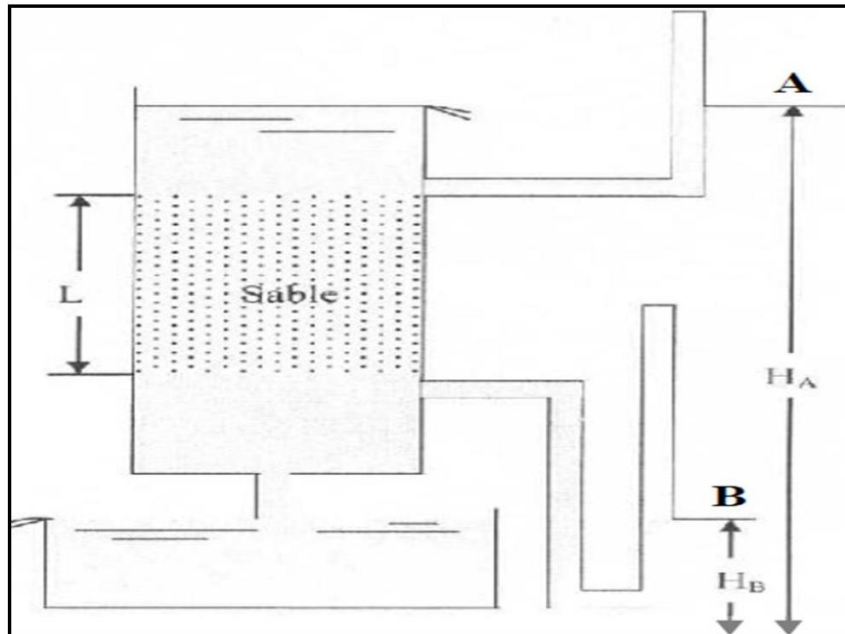
$$K_h = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_{h,i} \quad (\text{III.5})$$

Et  $k_v$  : la perméabilité verticale moyenne (harmonique) sur l'ensemble des couches définie par :

$$\frac{1}{K_v} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{k_{v,i}} \quad (\text{III.6})$$

### III.3.4. Loi de Darcy

Henry Darcy propose une loi expérimentale à la suite d'observation d'écoulements d'eau sous pression dans une conduite verticale remplie de sable. Son dispositif expérimental lui a permis de maintenir une charge hydraulique constante entre les niveaux haut et bas de l'échantillon durant le test tel qu'illustré schématiquement sur la figure III.4.



**Figure III.4.** Illustration du dispositif de Darcy [28]

A travers le milieu, le débit de l'écoulement,  $Q$ , est donné par la loi de Darcy :

$$Q = H \cdot A \cdot \frac{\Delta h}{L} \quad (\text{III.1})$$

Avec  $Q$ : le débit d'écoulement ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$H$  : la conductivité hydraulique ;

$\frac{\Delta h}{L}$  : le gradient hydraulique entre deux points distants d'une longueur  $L$  ;

$A$  : la section droite de l'échantillon par rapport au sens de l'écoulement.

Sous forme différentielle et en termes de vitesse d'écoulement, la loi de Darcy s'écrit :

$$V = \frac{Q}{A} = -\frac{K}{\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial x} \quad (\text{III.2})$$

Avec :  $K$ : le coefficient de proportionnalité ( $\text{m}^2$ );

$\mu$  : la viscosité dynamique ( $\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$ ) ;

$\frac{\partial P}{\partial x}$  : gradient de pression ( $\text{Pa}/\text{m}$ )

$K$  est une grandeur définissant la perméabilité du sol, elle est en rapport direct avec la vitesse de circulation du fluide dans l'espace interstitiel constitué de grains. La détermination de la perméabilité du sol est très complexe. Pratiquement, on détermine expérimentalement la perméabilité à la saturation  $K$  à partir d'essais in situ en exploitant la loi de Darcy [29].

$I=H_c/L$  ; dont  $H_c$  est la différence de charge ( $H_A-H_B$ ) et  $L$  représente la longueur de la couche du sable et le rapport entre les deux «  $I$  » est appelé pente motrice et égale à 1 dans des conditions près de saturation.

#### **III.4. Conclusion**

Les sols sont essentiellement hétérogènes et il est toujours très difficile d'en déterminer la perméabilité avec une précision appréciable. Il est bien plus délicat d'obtenir des renseignements certains pour la perméabilité verticale.

La résolution des équations des écoulements dans le milieu poreux est d'une complexité hors pair car les paramètres sont difficiles à évaluer. Les résultats obtenus sont difficilement validables. Pour tous ces problèmes, on recourt à des méthodes expérimentales simplifiées pour estimer les grandeurs caractérisant le sol.

Après avoir énuméré les différentes techniques de mesure, une analyse au laboratoire Fertilizer utilisant des échantillons du sol exploité dont le résultat est regroupé dans le chapitre suivant.



*Chapitre IV :*  
*Développement d'un*  
*système d'irrigation*  
*intelligent destiné à la*  
*culture de produits*  
*maraîchers*

## **IV.1. Introduction**

Outre les problèmes liés aux problèmes de la disponibilité des souches de pomme de terre, souvent importées, inadaptées aux conditions climatiques pour les deux saisons de plantation, l'augmentation de la productivité des parcelles demeure une alternative prometteuse par la mise en place de moyens efficaces de gestion de l'eau, choix de types d'engrais, préparation du sol par labour approprié, etc.

Si le déficit hydrique est expliqué par la diminution des apports en eau relevés durant plusieurs décennies, la gestion durable de l'eau demeure l'un des principaux axes du développement durable pour répondre aux besoins de la population qui connaît une croissance démographique assez importante.

Pour contribuer à la réduction de l'impact de ce déficit qui risquerait de s'aggraver, on s'est focalisé sur l'élaboration et à l'application d'un système d'irrigation intelligent, économe en eau dans les cultures maraichères. Par ailleurs, l'analyse de l'intérêt du système retenu a été axée sur la comparaison de son rendement à ce obtenu par un système d'irrigation traditionnel à savoir le système goutte à goutte.

Pour estimer les volumes d'eau à apporter, quelques mesures sont indispensables en fonction de la nature du sol d'une part et des besoins de cultures d'autre part. Le bilan hydrique permet l'évaluation des entrées et des sorties et donc d'évaluer la quantité d'eau d'irrigation nécessaire en fonction du stade de la culture, de la saison et de la nature du sol. Cette approche donne un cadre de réflexion qui permet avant tout d'éviter les grandes erreurs :

- Un excès d'irrigation entraînant un lessivage important avec pour conséquence une asphyxie racinaire.
- Un manque d'irrigation affecte le développement végétatif de la plante.

Il appert que l'irrigation doit être rigoureusement contrôlée. Il se dégage qu'un plan d'irrigation, associant des cultures ayant les mêmes besoins est primordial pour adapter l'irrigation en fonction de l'installation. En effet, un programmeur permet de faciliter la gestion et le contrôle de l'irrigation. En général, le système d'irrigation goutte à goutte est un système économe en eau, vis-à-vis du système d'irrigation traditionnel.

Si les problèmes de bouchage des goutteurs sont fréquents, les systèmes goutte à goutte devront être équipés d'un régulateur de pression pour une répartition homogène et uniforme du débit d'eau dans la parcelle.

Comme approche expérimentale pour le diagnostic de la consommation d'eau d'irrigation, on s'est focalisé spécialement sur la région de Chlef (Algérie), où nous avons pris la station expérimentale de Lard El-Beida de l'Université de Hassiba Benbouali de Chlef (Algérie), comme pilote pour la production de la pomme de terre.

## **IV.2. Exploitation de systèmes d'irrigation intelligents**

De nombreux systèmes d'irrigation intelligents (S.I.I.) étaient disponibles et ont été utilisés pour calculer les besoins en eau des cultures en se basant sur les données climatiques. Habituellement, l'irrigation intelligente était intégrée à des contrôleurs intelligents et utilisait des données climatiques pour programmer la consommation de l'eau d'irrigation. Les fonctions du contrôleur d'irrigation devaient commander les électrovannes dans le processus d'irrigation. Les technologies d'irrigation intelligentes étaient considérées comme un outil prometteur pour réaliser des économies d'eau dans les espaces verts en vue de réduire la pollution diffusée des sources [32]. Les S.I.I. intègrent de nombreuses disciplines pour produire une amélioration significative de la gestion des ressources et de la production végétale [33]. Il existait de nombreux fabricants de systèmes de contrôle d'irrigation intelligents, existants ou en train d'émerger sur le marché. En effet, pour évaluer l'efficacité des systèmes intelligents et de résoudre la plupart des problèmes liés aux pratiques d'irrigation [34], une étude comparative récente entre S.I.I. a été menée à Cary, en Caroline du Nord [32].

Cette nouvelle méthode de gestion d'eau utilise différents modèles mathématiques et mesure l'erreur entre la valeur détectée en régime permanent et la valeur souhaitée [35]. Les dernières avancées technologiques ont rendu les capteurs d'eau du sol disponibles pour un fonctionnement efficace et automatique. A titre informatif, on note que ces capteurs sont généralement connectés à un circuit électrique qui exploite un solénoïde fixé à chaque vanne [36].

Le nouvel S.I.I. était en cours d'évaluation à la ferme expérimentale de Dookie, en Égypte, et les premiers résultats indiquent une économie d'eau allant jusqu'à 43% (moyenne de 38%) par rapport aux méthodes de contrôle de l'irrigation conventionnelles [37]. Hussein M et al. ont présenté les arguments en faveur de la conservation de l'eau à l'aide de la technologie d'application des S.I.I. et de l'importance d'utilisation d'un système intelligent avec des systèmes d'irrigation par aspersion d'une part et goutte à goutte d'autre part dans des cultures de plein champ avec différentes techniques de planification dans des régions arides [38]. Dans le but de réduire la consommation excessive en irrigation, de nombreux fabricants ont mis au

point des systèmes d'irrigation intelligents qui ont conduit à la promotion de la qualité de services rendus par les fournisseurs d'eau [39]. Davantage, on mentionne que beaucoup de systèmes d'irrigation intelligents calculent la quantité d'eau exploitée en se basant sur les données climatiques [40,41]. Ces systèmes se distinguent par leur précision et leur fiabilité.

Playan et Mateos ont expliqué la nécessité de moderniser et d'optimiser les systèmes d'irrigation pour contribuer à accroître la productivité de l'eau dans le contexte de rareté de la ressource hydrique [42]. De tels systèmes maintiennent l'humidité du sol dans la plage souhaitée, supposée optimale ou adéquate, pour assurer aussi bien la croissance des plantes que de leur qualité végétative [43]. La performance de l'irrigation intelligente dépend généralement de systèmes utilisant des capteurs électroniques modernes, capables de collecter des données, d'analyser et de prendre des décisions pour manager l'irrigation. Ces dispositifs transmettaient les décisions aux dispositifs de contrôle électroniques, qui contrôlent le système d'arrosage par aspersion ou goutte à goutte. Certains chercheurs ont utilisé des capteurs de tensiomètres dans la planification de l'irrigation goutte à goutte [44]. Au cours des dernières années, les contrôleurs d'irrigation ont été développés par un certain nombre de fabricants dans le but de réduire la consommation d'eau d'irrigation [45].

### **IV.3. Matériels et méthodes**

#### **IV.3.1. Site et collecte de données**

Cette étude a impliqué le choix du champ à exploiter pour la mise en œuvre et la conduite des expériences nécessaires. A ce titre, nous avons opté pour la station expérimentale de Lard El-Beida, dont les coordonnées géographiques du site sont 36° 09' de latitude Nord, 1° 20' de longitude Est et à 168 m d'altitude par rapport au niveau moyen de la mer (Fig. IV.1).

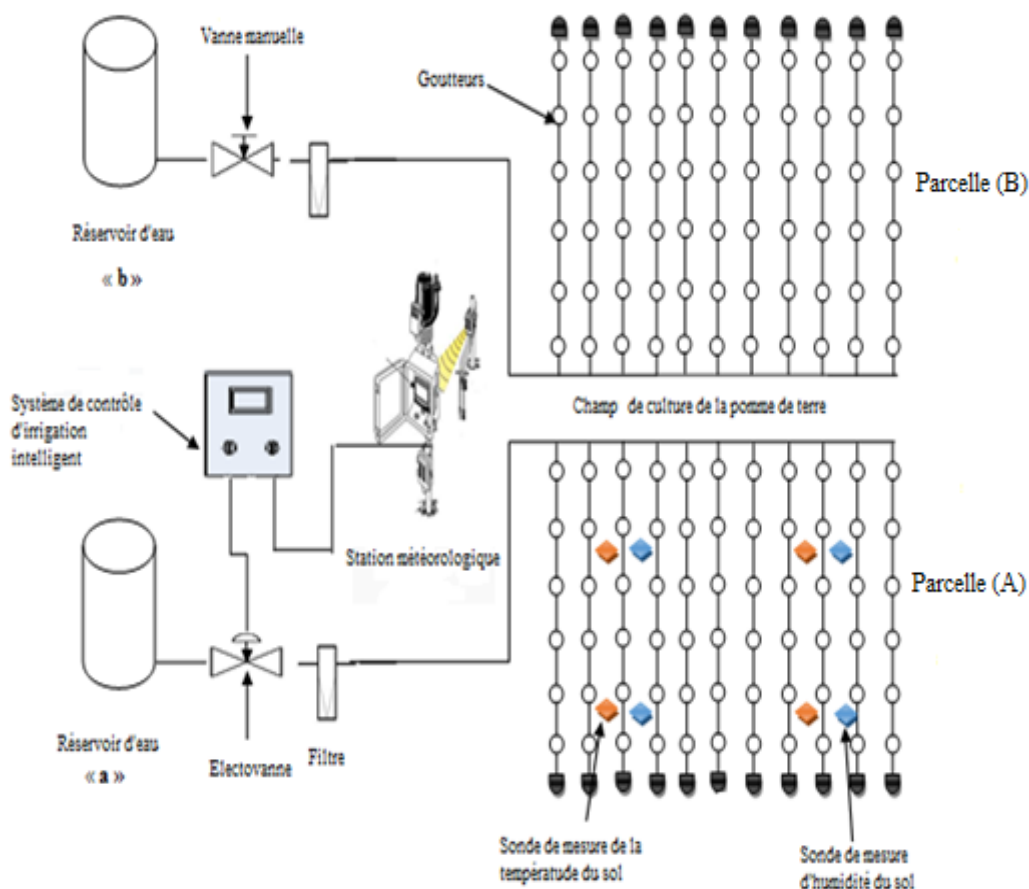


**Figure IV.1.** Emplacement du site de Lard El-beida, Chlef.

Pour réaliser nos expériences, un arsenal de matériels composé de : une station météo, des compteurs d'eau, deux réservoirs d'eau, des pompes hydrauliques, des tuyaux en

polyéthylène, des sondes de température et d'humidité ont été mis en place. Pour assurer un écoulement sans fuites, d'autres accessoires sont nécessaires tels que des tuyaux en polyéthylène, des raccords en T, des adaptateurs, des raccords, et des sprinklers (goutteurs).

Le champ expérimental a été subdivisé en deux parcelles, en adoptant le schéma d'irrigation présenté dans la Figure IV.2 pour pouvoir comparer les résultats obtenus par la méthode d'irrigation traditionnelle et ceux de notre système.



**Figure IV.2.** Schéma de plantation du champ utilisant des systèmes d'irrigation goutte à goutte : -parcelle (A) : S.I.I , -Parcelle (B) : traditionnel.

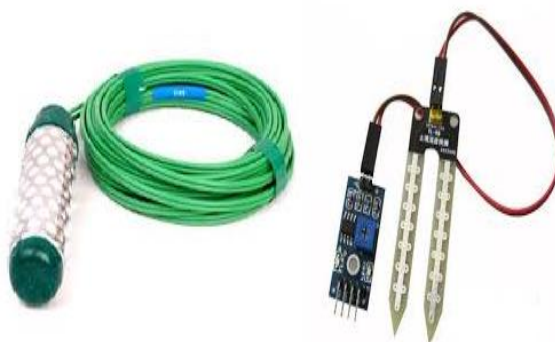
Pour collecter les données météorologiques relatives à la température de l'air, l'humidité relative, la pression atmosphérique, le rayonnement solaire global, la vitesse du vent et sa direction, nous avons installé in situ une station météo "Vantage Pro 2" et ce à compter du 1 Janvier 2018 jusqu'à la fin de l'expérimentation. Ces données ont été enregistrées à des intervalles de 15 minutes sur un enregistreur de données amovible qu'on a placé à une hauteur de 2,5 m au-dessus du sol. Une photo descriptive de la position des différents équipements est donnée par la figure IV.3.



**Figure IV.3.** Photo de la station météo «Vantage Pro 2» de l'Université Chlef à la station expérimentale de Lard El-Beida

Cet enregistreur est utilisé pour exploiter avec précision les données collectées par la station météorologique ; ces kits comprennent un enregistreur de données et un système d'exploitation "Weather Link". L'enregistreur fonctionne en mode connecté à un PC, soit en mode déconnecté où les données climatiques sont visualisées en temps réel sur la console.

Concernant la température et l'humidité du sol, elles sont mesurées par des sondes (Fig. IV.4) placées à une profondeur de 0,10 m, et qui sont enregistrées sur une Sheild Arduino (Fig IV.5).



**Figure IV.4.** Sondes de mesure de l'humidité et de la température du sol.

Ce dispositif a été programmé in situ, en tenant compte des conditions naturelles de développement de la plante (teneur minimale du sol en eau). Pour simplifier la mesure instantanée sur les sondes, leur calibrage préalable était indispensable.



**Figure IV.5.** Une shield arduino avec horloge.

### **IV.3.2. Fonctionnement du système d'irrigation intelligent**

Pour un meilleur fonctionnement du système d'irrigation intelligent, il est plus intéressant d'accéder à toutes les variables en temps réel. Notre système se compose principalement d'une carte Arduino qui contrôle le fonctionnement des électrovannes. Cette carte peut être programmée in situ en fixant les consignes favorables à savoir la capacité de rétention du sol et les conditions de flétrissement. Les capteurs pourraient détecter les variations locales de la température et de l'humidité du sol. L'ouverture et la fermeture des électrovannes dépendent de la différence entre la valeur mesurée et les consignes. Ces quantités mesurées sont ensuite utilisées pour la programmation d'irrigation des parcelles. L'organigramme de fonctionnement du procédé intelligent est donné par la Figure IV.6.

Pour des raisons de disponibilité des composants électroniques propres au système d'irrigation intelligent, nous avons conçu une installation qui nous permet d'accéder à toutes les variables, en temps réel. Il comprend essentiellement des contrôleurs électroniques numériques, des capteurs ainsi qu'une carte électronique Arduino programmable (Fig. IV.7). Etant câblée, la plate-forme détecte les variations climatiques locales via différents capteurs, en mesurant la température et l'humidité du sol pour s'en servir à l'irrigation des différentes zones de culture.

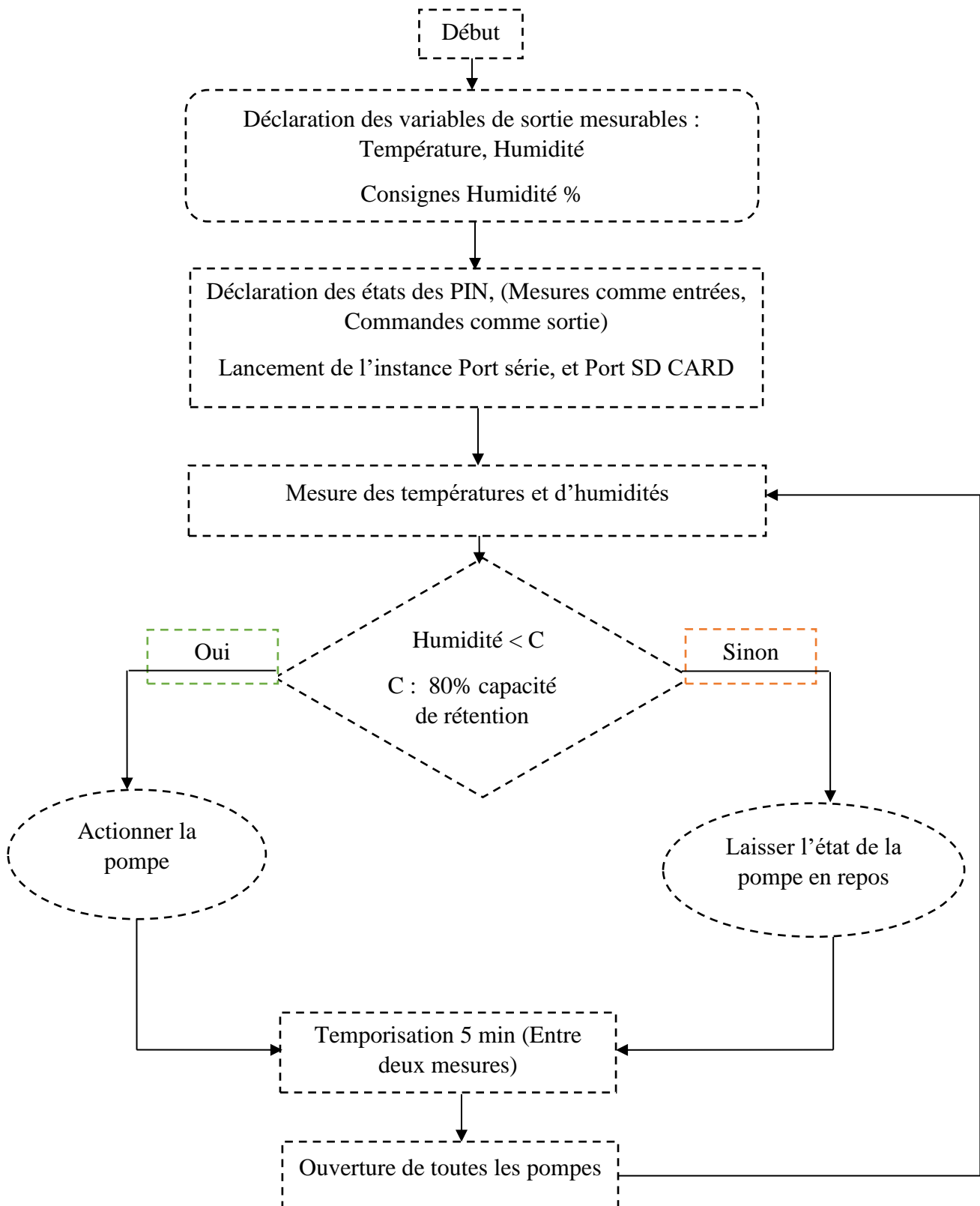
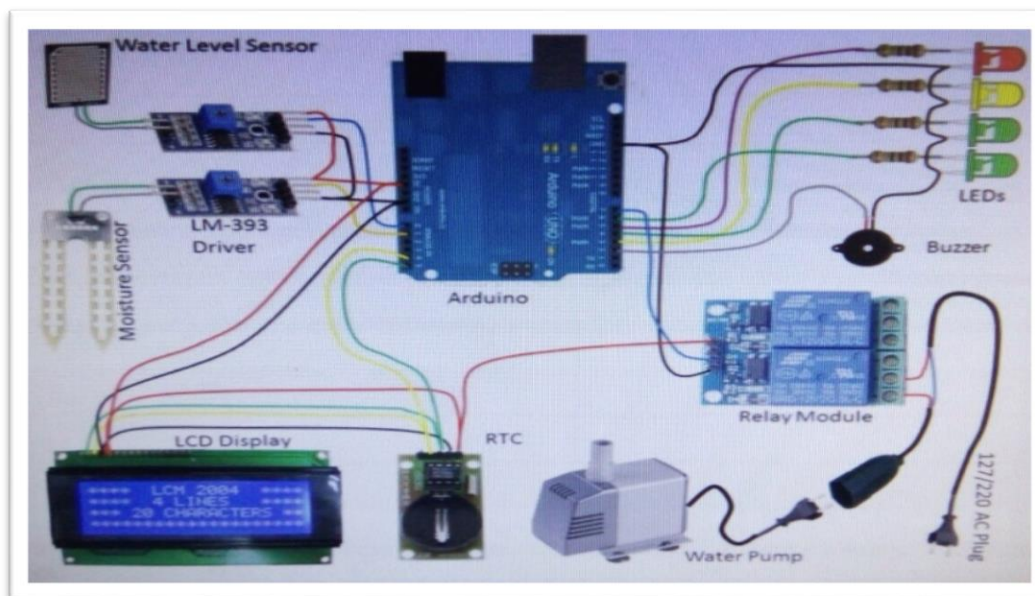


Figure IV.6. Organigramme de mesure en continu de température et d'humidité du sol





**Figure IV.7.** Schéma de capelage avec les circuits périphériques de la carte électronique Arduino programmable.

### IV.3.3. Installation de systèmes d'irrigation

Le champ octroyé dans le cadre de la réalisation de nos expériences a été subdivisé en deux parcelles, de superficies identiques, comme indiqué sur la Figure IV.2.

Dans la parcelle (A), on a prévu que les cultures seraient automatiquement irriguées via le système d'irrigation intelligent : alors que dans la parcelle (B), elles seraient irriguées de façon traditionnelle. Ces deux systèmes d'irrigation ont été conçus pour comparer la consommation d'eau pendant toute la période de leur développement en optant pour une distribution uniforme de l'irrigation. Nous précisons que les lignes d'irrigation goutte à goutte sont espacées en moyenne de 1.00 m et les goutteurs d'une même ligne sont espacés de 0,30 m. Pour chaque système, nous avons installé un compteur d'eau afin de quantifier la consommation lors de l'opération d'irrigation. De plus, en cas de défaillance du compteur d'eau, ces quantités sont directement lues sur des règles graduées placées verticalement sur les réservoirs.

### IV.3.4. Propriétés physiques et hydrodynamiques du sol

La caractérisation du sol a été effectuée sur la base de certains paramètres physico-chimiques. Ainsi, pour les identifier, une opération de carottage a été réalisée sur les parcelles par le laboratoire agronomique FERTIAL (Engrais Algériens) et les résultats des analyses sont présentés dans le tableau IV.1. Outre sa haute fertilité, nous mentionnons que le sol est très lourd et argileux, avec un mauvais drainage interne d'une part et une capacité de rétention

élevée d'autre part (eau et engrais). D'après les valeurs du pH obtenues, il ressort que le sol est alcalin, ce qui peut poser des problèmes d'assimilation des micro-éléments.

Au cours de leur développement régulier, les besoins des cultures en phosphore et potassium sont absorbés suite à l'amendement du sol par l'apport d'engrais caractérisés par un rapport K/Mg normal. Il n'y a pas de risque sérieux induit par une carence en Mg. Cependant, le faible rapport de C/N indique que le sol est pauvre en substances organiques. Par conséquent, il pourrait advenir une asphyxie des racines des plantes.

Par ailleurs, on note que le sol contient de l'azote libre qui serait issu des précédents épandages d'engrais minéraux, mais sa teneur en carbonates reste élevée. Afin de résoudre ce problème, il est possible d'atténuer la teneur du sol en C/N par ajout de compost après épandage de 50 kg/ha d'urée ou l'équivalent d'un autre engrais azoté. (Tableau IV.1).

**Tableau IV.1.** Analyse physico-chimique du sol

Sable 40%	Limon 28%	Argile 32%			
Texture: Argileuse					
Conductivité (1/5 mS/cm)	0,26	Non salé	CE	0,26	mS/cm
pH eau (1/2.5)	8,8	Très alcalin	pH	8,8	
C/N	6,83	Faible	C/N	6,83	
	%	p.p.m.			
Carbonates	20,95	209500,00	CaCO <sub>3</sub>	20,95	%
Calcaire actif	-	-	C.actif	-	%
Matière organique	1,41	14100,00	MO	1,41	%
Azote Total	0,12	1200,00	N	0,12	%
	meq/100gr	p.p.m.			
Phosphore (Olsen)	0,07	20,8	P	20,8	p.p.m.
Potassium échangeable	0,4	172,0	K	0,4	meq/100gr
Magnésium échangeable	1,9	228,6	Mg	1,9	meq/100gr
Calcium échangeable	15,5	3106,2	Ca	15,5	meq/100gr
Sodium échangeable	0,3	59,8	Na	0,3	meq/100gr

#### IV.4. Préparation du sol

Dans ce cadre, le défoncement des parcelles est réalisé à une profondeur de 70 à 80 cm, durant la période du mois de Septembre. L'opération du disquage est effectuée selon la nature des sols soit deux fois et plus, au début du mois de janvier. Pour un terrain de dimensions 46m X 30m, on l'a subdivisé en deux parcelles :

- 1) Parcelle « A », destinée à l'irrigation intelligente,
- 2) Parcelle « B », destinée à l'irrigation traditionnelle.

L'épandage d'engrais a été effectué manuellement en utilisant de l'engrais N.P.K 15.15.15, dont la quantité utilisée est à raison de 3.50 quintaux par hectare, répartie sur deux cycles de croissance de la culture (au semis et après désherbage).

Pour éliminer les mauvaises herbes, nous avons opté deux techniques de désherbage :

- 1) désherbage manuel effectué durant la mi-mars dès l'apparition de premières mauvaises herbes ;
- 2) désherbage chimique utilisant le MITOZINE50, avec une dose de 1 kg par hectare.

Par des mesures préventives contre la prolifération du mildiou (*phytophthora infestans*) et du Rhizoctone dans les conditions météo humides et chaudes, on a procédé par traitement chimique en le pulvérisant et ce afin de lutter contre tout aléa influant sur les objectifs recherchés dans le cadre de ce travail expérimental.

Après le défanage, on a prévu d'attendre impérativement 2 semaines avant de récolter pour que la peau des tubercules soit suffisamment ferme (prélever manuellement des échantillons de pommes de terre avant la récolte pour s'assurer de la fermeté de la peau).

Cependant, plus la récolte est tardive et plus le risque de dégâts sur les tubercules par le ver fil de fer, les limaces et le drycore est grand.

L'arrachage à la main a été fait à partir du 24 juin de cette année, date de la maturation totale de la pomme de terre en temps légèrement sec. Les tubercules pourris ont été éliminés immédiatement.

#### **IV.5. Qualité de l'eau d'irrigation**

De par leur composition, la qualité de l'eau d'irrigation affecte certainement la qualité chimique du sol, et par conséquent sur la plupart des cultures. La qualité de l'eau d'irrigation a été déterminée par une analyse chimique au laboratoire de Fertial Spa. Les facteurs les plus importants de l'eau dans l'agriculture sont les suivants: pH, Salinité, Sodium (Degré d'Adsorption du Sodium ou S.A.R), Carbonate et bicarbonates en relation avec les teneurs en Ca & Mg (dureté de l'eau). Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux d'irrigation utilisées à l'irrigation des deux périmètres étudiés sont indiqués dans le tableau IV.2.

**Tableau IV.2.** Résultats de l'analyse physico-chimique de l'eau

Propriétés de l'eau d'irrigation utilisée au niveau de la station expérimentale	
pH	7,96
Conductivité (mS/cm)	1,130
Carbonate (mg/l)	0,00
Bicarbonate (mg/l)	21
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	0,960
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	112,00
Na <sup>+</sup> (mg/l)	136,80
K <sup>+</sup> (mg/l)	4,050
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	36,730
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	105,500
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	73,000
S.A.R (Sodium Absorption Ratio). (mg/l)	2,913
Sel total (g/l)	0,723

La composition chimique de l'eau utilisée dans l'irrigation indique que :

- L'eau du forage, stockée dans le réservoir de la station expérimentale de Lard El-Beida, est une eau moyennement salée avec une conductivité électrique (C.E) de 0.113 S/m et un S.A.R de 2.913 mg/l, présentant ainsi, un risque de salinisation très élevé du sol conséquemment à une irrigation prolongée.
- Le pH =7.96, ceci est dû à la teneur de l'eau en ions de Na<sup>+</sup>.

#### **IV.6. Conclusion**

Après avoir identifié les paramètres caractérisant aussi bien le sol que l'eau destinée à l'irrigation qui ont conduit à affirmer que notre sol est légèrement alcalin et compte tenu de la préparation préalable du sol par un labour peu profond pour la culture de pomme de terre et en vue de s'assurer de sa croissance harmonieuse en fonction des variables météorologiques, on est passé au stade de l'évaluation des besoins en eau sur la base de l'exploitation du procédé d'humidification-déshumidification développé par TAHRI et al. [46]. Cette étude ne serait achevée qu'après avoir dimensionné l'unité de production de l'eau d'irrigation en supposant que notre région connaît des périodes de sécheresse assez longues en fonction de saison de culture. Cette partie est entreprise dans le chapitre suivant.

*Chapitre V :*  
*Dimensionnement d'une*  
*unité pour*  
*approvisionnement en eau*  
*destinée à l'irrigation par*  
*système intelligent*

## **V.1. Introduction**

Compte tenu de la raréfaction de l'eau destinée à l'irrigation, particulièrement dans les zones arides, le recours aux procédés de dessalement de l'eau de mer, utilisant de l'énergie renouvelable telle que l'énergie solaire, éolienne et géothermique est une alternative fort prometteuse pour répondre aux besoins sans cesse croissants. Le développement de tels procédés continue à faire l'objet de plus en plus de travaux de recherches vu leur intérêt économique (énergétiques) et environnemental et même social pour éviter la délocalisation des populations.

En effet, le dessalement solaire a suscité beaucoup d'intérêts dans les pays à taux d'ensoleillement élevé tels que les pays du Maghreb et ceux du Moyen-Orient. Le dessalement peut être assimilé à des distillateurs solaires dont les plus répandus sont ceux à effet de serre. Ils présentent l'avantage d'être d'une conception simple, facile à réaliser, autonomes et nécessitant peu d'entretien. Cependant, le défi majeur demeure l'amélioration du rendement de ces procédés alors que leur production nominale est de l'ordre de 2.5 à 3 litres par m<sup>2</sup> par jour.

Les procédés de dessalement solaire dits par humidification-déshumidification sont axés sur les phénomènes d'évaporation et de condensation qui ont lieu dans des compartiments distincts séparés. De tels systèmes sont de conception plus complexe mais ils sont plus performants économiquement. Ils sont jugés fort intéressants lorsque la demande en eau douce est décentralisée. Les différents éléments (notamment l'évaporateur et le condenseur) peuvent être améliorés et optimisés davantage en agissant sur le mode de contact entre phases. Il y a lieu de rappeler que l'air est souvent exploité en tant que gaz vecteur pour la vapeur produite.

## **V.2. La serre solaire de dessalement d'eau de mer**

Pour répondre aux besoins en eau destinée à l'irrigation, nous avons opté pour le dimensionnement d'un procédé d'humidification-déshumidification. C'est un procédé basé essentiellement sur l'effet de serre pour le chauffage de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre et son évaporation à température ambiante dont la présentation peut être schématisée par la figure V.1.

La serre a une structure plus légère alors que le squelette métallique est en acier (multi-span polytunnel).



**Figure V.1.** Photo de la serre de dessalement par humidification-déshumidification à ABU DHABI. [47]

Il est à noter qu'en 2004, une serre pilote d'une superficie de 1000 m<sup>2</sup> (Figure V.2), fonctionnant sur le principe de l'humidification-déshumidification, a été construite à Mascate, au Sultanat d'Oman, l'un des pays les plus chauds et les plus secs au monde. Ce projet entre dans le cadre d'une collaboration scientifique entre l'entreprise Light Works Ltd et l'université Sultan Qaboos à Mascate et le MEDRC (Middle East Desalination Research Center).



**Figure V.2.** La serre solaire de dessalement à Al-Hail, Muscat, Oman. [47]

L'objectif principal du projet était de contribuer à la production de l'eau destinée au développement des cultures des régions agricoles antérieurement abandonnées pour raison de salinité des sols c'est-à-dire la promotion de la production végétale dans des régions qui sont devenues difficilement arables.

### **V.3. Principe du fonctionnement de la serre de dessalement**

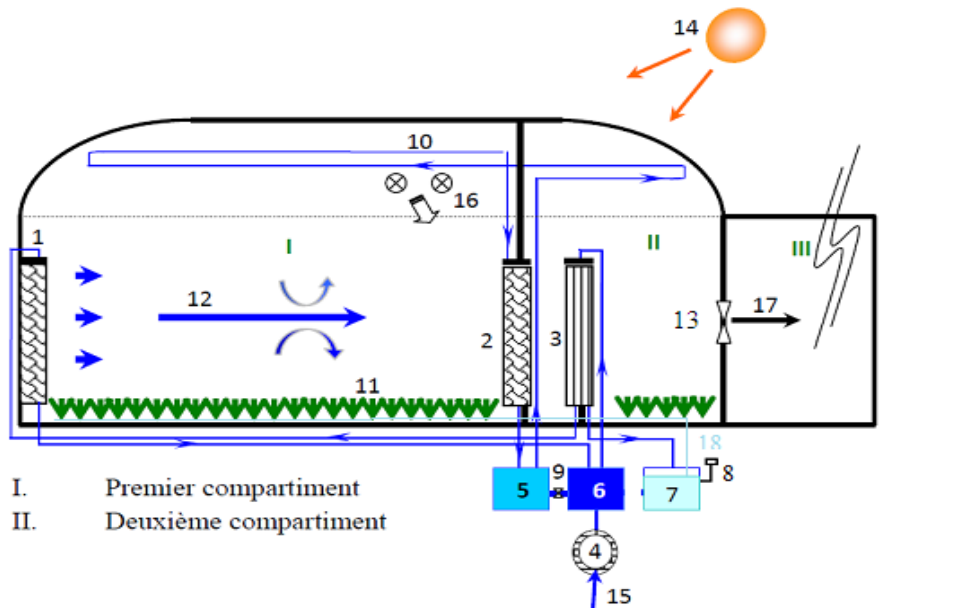
En utilisant l'énergie solaire, l'eau de mer peut être une source de la production de l'eau douce destinée particulièrement à l'irrigation des cultures maraichères dans les régions arides en vue de générer des conditions environnementales favorables à leur croissance. En toute rigueur, cette technique de production d'eau repose principalement sur la création d'un cycle naturel de l'eau dans un environnement contrôlé (figure V.3) [47]. Pour ce faire, l'eau de mer passe à travers un évaporateur. Cette évaporation partielle d'eau de mer contribue à l'humidification de l'air introduit dans la serre. On précise que l'évaporateur est un échangeur compact de matière et de chaleur (Echangeur mixte). Pour assurer un transfert intense par convection forcée, l'évaporateur est placé perpendiculairement à l'écoulement de l'air aspiré par un ventilateur. Comme corollaire de cet échange, l'eau est refroidie proportionnellement à la quantité d'eau évaporée. La serre peut être équipée de plusieurs évaporateurs pour que l'humidité relative de l'air soit la plus élevée possible.

L'air humide issu de l'évaporateur se trouve à son point de rosée à son contact avec les tubes traversés par l'eau de mer froide. Par conséquent, on peut remarquer deux phénomènes simultanément, à savoir :

- Chauffage de l'eau de mer circulant dans les tubes.
- Condensation partielle de la vapeur d'eau véhiculé par le courant d'air humide.

D'un point de vue agencement des équipements, la serre est conçue de telle sorte que l'eau de mer, légèrement plus salée, issue de l'évaporateur est recyclée dans le réservoir d'eau d'alimentation de la serre pour s'en servir dans un second cycle. En outre, l'eau condensée est collectée dans un autre réservoir pour l'utiliser dans l'irrigation après son amendement éventuel en matière de produits nutritifs des plantes. Après mélangeage dans le réservoir et un léger chauffage dans le condenseur, l'eau de mer subit une augmentation de sa température suite à son exposition au rayonnement solaire lorsqu'elle est transportée à l'intérieur des tubes placés sur le toit de la serre. Cette eau de mer chaude alimente l'évaporateur [47].





- |                                   |                                    |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| 1. Premier évaporateur            | 10. Préchauffage solaire           |
| 2. Deuxième évaporateur           | 11. Surface de récolte             |
| 3. Condenseur                     | 12. Air frais et humide            |
| 4. Source de captage d'eau de mer | 13. Ventilateurs                   |
| 5. Réservoir d'eau froide         | 14. Rayonnement solaire            |
| 6. Réservoir d'eau chaude         | 15. Prélèvement d'eau de mer       |
| 7. Eau douce                      | 16. Aérateur                       |
| 8. Conductimètre                  | 17. Air chaud et faiblement humide |
| 9. Vanne                          | 18. Arrosage de culture            |

**Figure V.3.** Schéma descriptif de la serre solaire à deux évaporateurs [48].

Pour une culture sous serre, seule une fraction du rayonnement solaire est impliquée dans la photosynthèse, Cette technologie vise le maintien des conditions appropriées pour le développement harmonieux des plantes à savoir relativement la fraîcheur et la luminosité. Cependant, dans une serre normale, une partie de la l'énergie solaire incidente se traduit par la création des conditions permettant le développement optimal et la croissance des cultures en leur pourvoyant de quantités d'eau nécessaires.

#### V.4. Impact des conditions climatiques sur la gestion d'eau produite

La serre de dessalement peut être considérée comme un gisement gratuit pour la production de l'eau douce à partir de l'eau salée moyennant un procédé de dessalement intégré. En effet, la quantité d'eau produite dépend largement des conditions climatiques car pour une humidité élevée obtenue durant la saison d'hiver, on a :

- La température de saturation de l'air est relativement basse laquelle contribue à une production de quantités plus importantes d'eau douce ;
- La réduction du taux de transpiration végétale.

Ces deux phénomènes se répercutent par la réduction considérable des besoins en eau d'irrigation. A titre comparatif et pour illustration, on note que la serre de dessalement installée au Tenerife, consommait seulement 1,2 litres/jour/m<sup>2</sup> contre 8 litres/jour/m<sup>2</sup> consommés dans les serres identiques installées dans des régions arides [47]. Cette baisse aurait indubitablement un effet positif sur la préservation des réserves en eaux souterraines. Les quantités d'eau ainsi économisées peuvent être utilisées par d'autres secteurs pour leur approvisionnement en eau douce.

### **V.5. Conception et mise en œuvre de l'installation**

La conception de la serre, avec ses différentes composantes, exige une réflexion sur une structure en charpente métallique d'un poids relativement rigide. L'effet de serre est obtenu par l'installation d'un film transparent alors que l'évaporateur et le condenseur sont en matière de carton et de plastique respectivement avec une aire d'échange importante.

Les films destinés à la couverture de la serre doivent être de bon marché avec des propriétés optiques remarquables. En effet et à ces fins, les films sont spécialement traités afin d'améliorer leurs capacités de réflexion et d'absorption des rayons lumineux y compris les rayons ultraviolets et infrarouges. Les films peuvent, toutefois, être recyclés en fin du cycle d'utilisation. Dans certaines conditions thermodynamiques, on pourrait assister au phénomène de cristallisation de carbonates de calcium présents de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre, pour former des coquillages au niveau de l'évaporateur en carton. L'expérience montre que ce type d'évaporateur a une durée de vie assez longue, qui pourrait être étendue indéfiniment.

Cependant, compte tenu de sa conductivité thermique très faible, le plastique est généralement peu employé dans les échangeurs de chaleur. Exceptionnellement, dans les serres de dessalement, le condenseur peut être en plastique pour des raisons ayant trait à l'impact relatif de la résistance thermique de l'air dans la résistance globale d'échange thermique. Indépendamment de la disposition relative des rangées de tubes constituant le condenseur et en se référant à la matière plastique, la surface d'échange du condenseur peut être accrue avec un coût de fabrication beaucoup plus inférieur à celui du montage avec les matériaux qui résistent à la corrosion par l'eau de mer.

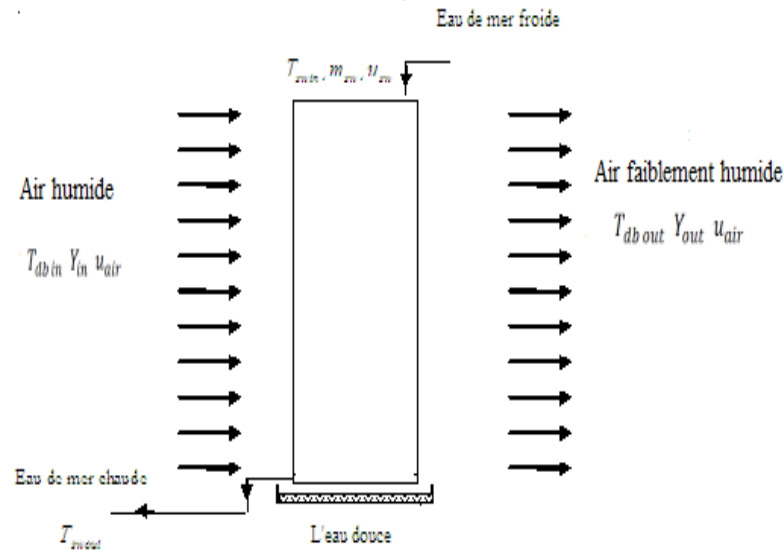
Pour une autonomie d'approvisionnement d'eau d'irrigation et après quantification effective des besoins en eau d'irrigation au niveau de la station expérimentale de Lard el-Beida et afin de répondre à cet objectif, nous optons pour le dimensionnement d'une unité de production d'eau par voie solaire en exploitant le procédé humidification-déshumidification et ce en tenant compte des développements mathématiques des modèles élaborés par TAHRI et al [46]. De toute évidence, de tels modèles doivent intégrer les conditions pédologiques et météorologiques de la région. A titre d'indication, les paramètres de conception sont consignés dans le tableau V.1.

**Tableau.V.1.** Paramètres géométriques de conception de la serre [46]

Largeur	16 m
Longueur	45 m
Hauteur maximum	4.8 m
Dimensions du condenseur (l*L*H)	1.9 m×15 m×0.8 m
Dimensions de l'évaporateur (l*L*H)	2 m×15.6 m×0.2 m

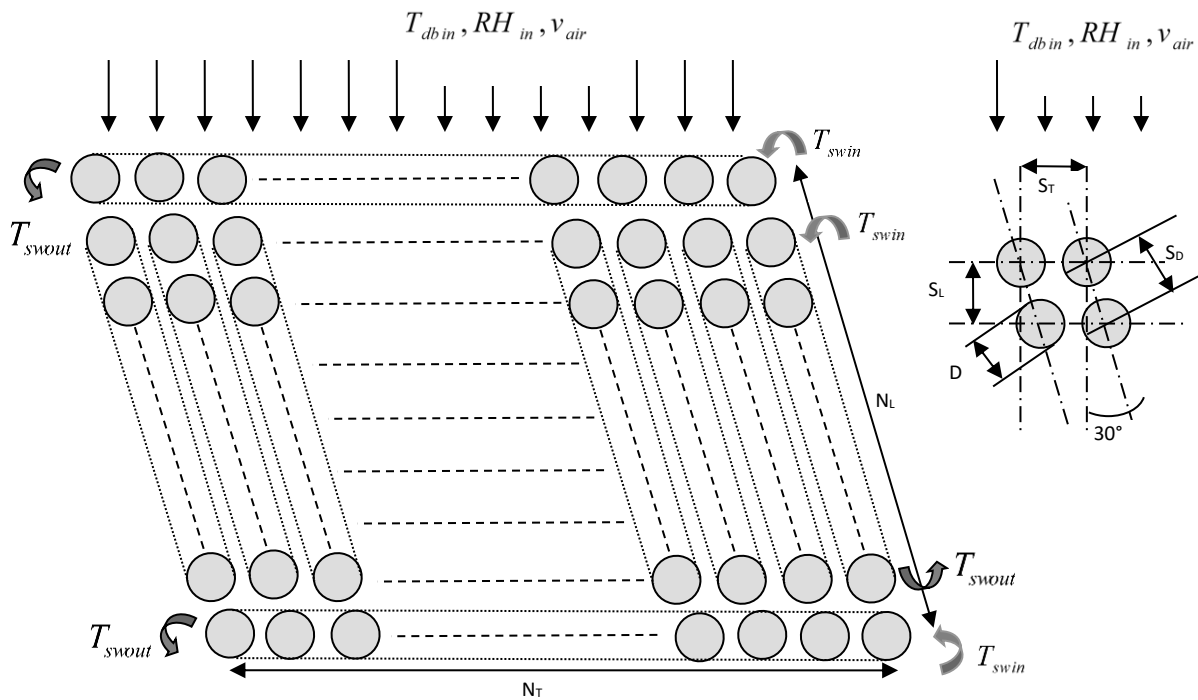
## V.6. Description du processus du condenseur

Le condenseur de la serre solaire est un échangeur de chaleur où l'eau de mer est le liquide de refroidissement alors que l'air humide constitue le fluide chaud circulant à l'extérieur des tubes (figure V.4). Les tubes du condenseur sont disposés verticalement  $N_L$  alors que les rangées successives de tubes  $N_T$ , situées sur la transversale, font entre elles un angle,  $\alpha$  (Fig. V.5). Les tubes sont agencés en rangées de sorte que le liquide de refroidissement passe d'un tube à l'autre situé sur la même ligne. Ainsi, les tubes constituant la rangée se présentent en forme de serpent. L'eau de mer est introduite à une vitesse constante ( $u_{sw}$ ) et une température connue ( $T_{swin}$ ) dans la première ligne de faisceaux tubulaires pour sortir des tubes situés à l'aval de la serre après avoir subi une augmentation de température.



**Figure V.4.** Schéma du fonctionnement de l'unité du condenseur de la serre solaire [46]

L'air chaud et humide issu de l'évaporateur, coulant perpendiculairement à la génératrice du tube du condenseur, quitte le condenseur à une vitesse moyennement constante. Au contact de l'air humide avec la surface extérieure des tubes, légèrement froide, on peut noter le développement d'un film d'eau liquide dû à la condensation de la vapeur d'eau.



**Figure V.5.** Disposition des tubes dans le condenseur de la serre solaire [46].

Le condensât produit aux différentes rangées sera collecté dans un réservoir d'eau douce pour être utilisé dans l'irrigation des produits maraîchers.

### V.7. Modélisation du phénomène de condensation sur tube

Comme mentionné dans le paragraphe précédent, le condenseur est constitué d'un faisceau de tubes disposés verticalement suivant une géométrie en quinconce pour assurer une surface d'échange maximale avec l'air, en circulation dans la serre, lequel est suffisamment chargé en vapeur d'eau. L'unité d'échange de matière et de chaleur du condenseur est un tube cylindrique où circule de l'eau de mer. Pour abaisser la température de la paroi de tubes en dessous de la température de rosée du courant gazeux humide, l'eau de mer est véhiculée dans les tubes. En effet, sur la base des interactions thermiques entre les deux courants, on peut distinguer :

#### Côté gaz :

Le gaz arrivant de la chambre (serre) est suffisamment chargé en vapeur d'eau. On supposera qu'il est dans des conditions voisines de son point de saturation. Une légère baisse de la température de l'air, suite à son contact avec la surface extérieure refroidie par la circulation de l'eau de mer, aurait pour conséquence une condensation instantanée de vapeur d'eau.

Toutefois, dans d'autres conditions, l'air humide subirait une transformation thermodynamique dite de saturation adiabatique. La température de saturation et l'humidité absolue à la saturation sont calculées, par une méthode itérative, en tenant compte de la température de bulbe sec et de l'humidité absolue du gaz à l'entrée  $Y_{db}$  en utilisant l'équation (V.1) [49] :

$$\frac{Y_{sat}-Y_{db}}{T_{sat}-T_{db}} = -\frac{C_s}{h_{fg}} \quad (V.1)$$

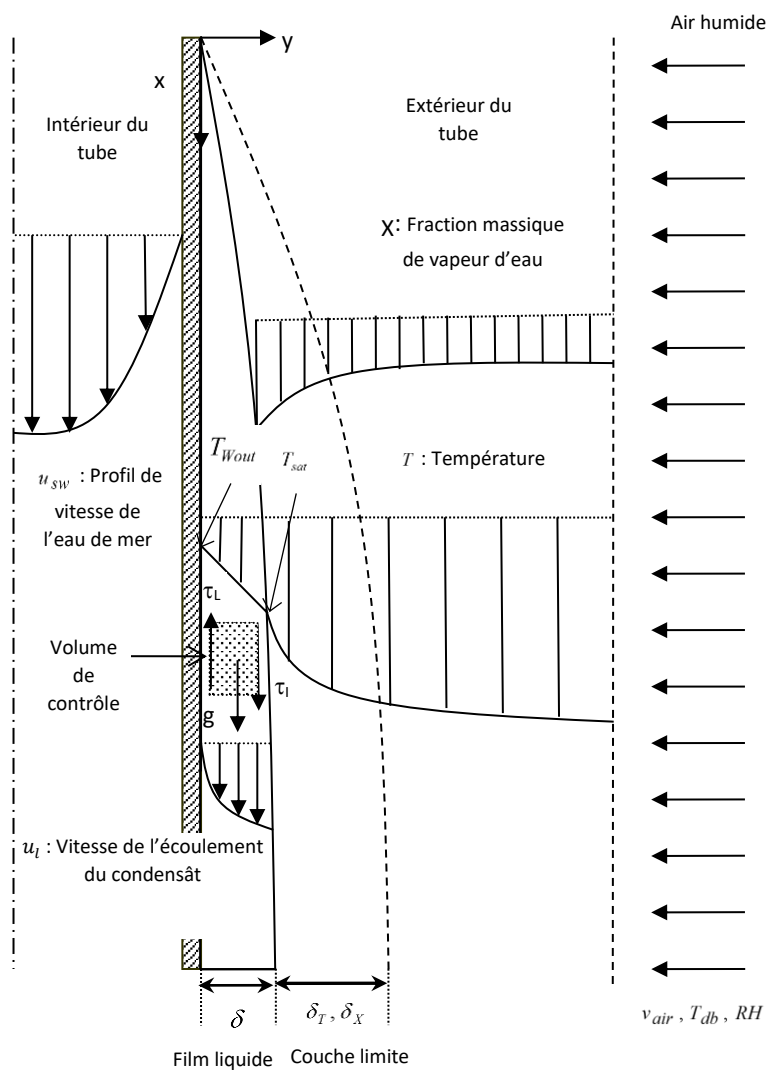
où  $C_s$  est la chaleur spécifique humide définie par la relation [49] :

$$C_s = C_p^{air} + Y * C_p^{vap} \quad (V.2)$$

et  $h_{fg}$  est la chaleur latente de vaporisation de l'eau à la température de saturation.

Une fois les conditions de condensation sont réunies, il se développe un film liquide où la cinétique d'échange thermique est particulièrement dépendante du coefficient d'échange par condensation. En régime de condensation, ce coefficient moyen  $h_{ave}$  est donné par l'équation

de Nusselt en présence de l'air, supposé gaz non condensable. Le modèle du film d'échange lors de la condensation est présenté par la figure V.6.



**Figure.V.6.** Modèle de condensation en film sur la paroi extérieure d'un tube vertical en présence d'un gaz non condensable [49].

Dans le film liquide dont l'épaisseur est bornée:

$$0 \leq y \leq \delta$$

Le bilan des forces pour le volume de contrôle (Figure.V.6) peut être exprimé comme suit :

$$\tau_l = (\rho_l - \rho)g(\delta - y) + \tau_l \quad (V.3)$$

Selon Seungmin et pour un écoulement laminaire [50], le profil de vitesses dans le film du condensat peut être décrit à partir de la relation (V.4) :

$$u_l(y) = \frac{(\rho_l - \rho_v)g\delta^2}{\mu_l} \left( \frac{y}{\delta} - \frac{1}{2} \left( \frac{y}{\delta} \right)^2 \right) + \frac{\tau_l}{\mu_l} y \quad (\text{V.4})$$

Le premier terme dans la partie droite de l'équation. (V.4) est la distribution parabolique de la vitesse pour une contrainte interfaciale,  $\tau_l$ , négligeable à l'interface film-gaz. Le second terme est la distribution de la vitesse linéaire due au cisaillement interfaciale. Le débit massique du film liquide ( $\dot{m}_c$ ) peut être calculé par bilan sur le volume de contrôle suivant la relation :

$$\dot{m}_c = \int_0^W \int_0^\delta \rho_l * u_l(y) dy dz \quad (\text{V.5})$$

On note que  $W (= \pi D_{out})$  est le périmètre extérieur du tube. Par conséquent, le bilan massique par unité de périmètre du tube a pour expression :

$$\Gamma = \frac{\dot{m}_c}{\pi D_{out}} = \left[ \frac{(\rho_l - \rho_v)g}{3\nu_l} \delta^3 + \frac{\tau_l}{2\nu_l} \delta^2 \right] \quad (\text{V.6})$$

Compte tenu de la faible vitesse de déplacement de l'air, la contrainte de cisaillement interfaciale ( $\tau_l$ ) est négligeable devant la contrainte de cisaillement au sein du film tombant. Par conséquent, l'épaisseur du film dite de Nusselt,  $\delta(x)$ , peut être explicitée en fonction de la position axiale par la relation [51]:

$$\delta(x) = \left[ \frac{4k_l\mu_l(T_{sat} - T_{Wout})x}{g\rho_l(\rho_l - \rho_v)h_{fg}} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (\text{V.7})$$

Dans le film laminaire, la distribution de la température est supposée linéaire. Par conséquent, le coefficient de transfert de chaleur pour le film de condensation ( $h_x$ ) à l'emplacement ( $x$ ) [14] peut être établi en fonction de la conductivité thermique du film liquide,  $k_l$ , en exploitant la relation:

$$h_x = \frac{k_l}{\delta(x)} \quad (\text{V.8})$$

En substituant l'expression de  $\delta(x)$  de l'équation. (V.7) dans l'équation. (V.8), le coefficient de transfert de chaleur local pour le film de condensation  $h_x$  peut être exprimé par l'équation suivante :

$$h_x = \left[ \frac{g\rho_l(\rho_l - \rho_v)h_{fg}k_l^3}{4\mu_l(T_{sat} - T_{Wout})x} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (\text{V.9})$$

Cependant, le condensât se trouve sous refroidi au-dessous de la température  $T_{sat}$ , en libérant plus de chaleur sensible au milieu environnant. Par conséquent, le flux de chaleur transféré sera d'autant plus important. Rohsenow [52] a montré que le refroidissement du liquide au-dessous de la température de saturation peut être corrigé par substitution  $h_{fg}$ , par la chaleur latente de vaporisation modifiée  $h_{fg}^*$ , définie comme suit :

$$h_{fg}^* = h_{fg} + 0.68 C_p^{liq} (T_{sat} - T_{Wout}) \quad (V.10)$$

Le coefficient de transfert de chaleur moyen ( $h_{ave}$ ) pour le film laminaire de condensation sur un tube, vertical de longueur  $L$ , est déterminé par l'application de la théorie de la moyenne sur  $h_x$  le long du tube. Il se dégage que ( $h_{ave}$ ) est :

$$h_{ave} = 0.943 \left[ \frac{g \rho_l (\rho_l - \rho_v) k_l^3 h_{fg}^*}{\mu_l (T_{sat} - T_{Wout}) L} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (V.11)$$

En régime stationnaire, la densité de flux thermique par convection, à travers le film liquide ruisselant est donnée par la loi de Newton qui s'écrit :

$$q = h_{ave} * (T_{sat} - T_{Wout}) \quad (V.12)$$

- **Côté fluide réfrigérant :**

Entre le côté intérieur de la paroi du tube et le fluide réfrigérant et compte tenu d'une différence de températures, on assiste à un phénomène de transfert de chaleur par convection. En effet, les températures de l'eau de mer aux extrémités du tube sont connues. En fonction du régime hydraulique d'écoulement identifié par le nombre de Reynolds, on note que pour un tube lisse, le coefficient d'échange s'écrit :

$$\text{-Régime laminaire } Nu = 1.86 \left( Re Pr \frac{D_{in}}{L} \right)^{\frac{1}{3}} \left( \frac{\mu_{sw}}{\mu_{sww}} \right)^{0.14} \quad (V.13)$$

$$\text{-Régime turbulent } Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \left( \frac{\mu_{sw}}{\mu_{sww}} \right)^{0.14} \quad (V.14)$$

où les propriétés physiques de l'eau de mer ( $C_{p_{sw}}, k_{sw}, \rho_{sw}, \mu_{sw}$ ) sont calculées à la température moyenne du film laquelle est calculée en utilisant l'équation suivante:

$$T_{filmin} = \frac{\frac{(T_{swin} + T_{swout})}{2} + T_{Win}}{2} \quad (V.15)$$



Le terme  $\left(\frac{\mu_{sw}}{\mu_{sww}}\right)$  est introduit pour tenir compte de l'impact de la variation de la température entre la paroi et le centre du tube sur la viscosité du liquide coulant dans le tube. Les nombres adimensionnels introduits dans le calcul de transfert par convection sont définis comme suit :

$$Nu = \frac{h_{in} * D_{in}}{k_{sw}} \quad (V.16)$$

$$Re = \frac{\rho_{sw} * u_{sw} * D_{in}}{\mu_{sw}} \quad (V.17)$$

$$Pr = \frac{\mu_{sw} * C_{p_{sw}}}{k_{sw}} \quad (V.18)$$

- **Calcul de la surface du condenseur:**

En régime stationnaire, le flux de chaleur échangé est calculé par un bilan thermique à l'interface air-liquide. En effet et en supposant qu'il n'y a pas de cumul de flux à l'interface, la quantité de chaleur transférée à travers la couche limite de l'air humide serait identique à la quantité de chaleur transférée à travers le film de condensât. La quantité de chaleur transférée à travers la couche limite de l'air humide est la superposition de :

- la chaleur sensible suite au refroidissement de la masse du mélange
- la chaleur latente de condensation.

De sorte que, le flux de chaleur à l'interface film condensât- mélange gazeux peut être exprimé par l'équation. (V.18) :

$$Q = Q_{lat} + Q_{sen} = m_c h_{fg}^* + h_{sen} A_{out} (T_{sat} - T_I) \quad (V.19)$$

Généralement, le premier terme (le flux de chaleur latente) est sensiblement plus important que le second terme (flux de chaleur sensible). Alors, l'équation. (V.19) peut être réduite à l'équation. (V.20) :

$$Q = Q_{lat} = m_c h_{fg}^* \quad (V.20)$$

Par ailleurs et en introduisant le coefficient de transfert de chaleur, le flux de chaleur peut être exprimé par :

$$Q = h_{vert} A_{out} (T_{sat} - T_{Wout}) \quad (V.21)$$

Sachant les besoins en eau destinés à l'irrigation ( $m_c$ ) lesquels représentent le flux de condensât des différents tubes composant la conception du condenseur, les deux bilans thermiques permettent l'estimation de la surface totale externe des tubes du condenseur. Ainsi, on a :

$$A_{out} = \frac{h_{fg}^* m_c}{h_{vert}(T_{sat} - T_{Wout})} \quad (V.22)$$

Compte tenu de la configuration du condenseur, il y a lieu de rappeler qu'il est composé d'un ensemble de tubes disposés verticalement et faisant un angle d'inclinaison  $\alpha=30^\circ$  avec la direction de circulation de l'air humide à son entrée. On fait remarquer que le tube est l'unité constitutive du faisceau. Comme base de calcul, les températures de l'eau de mer à l'entrée et à la sortie des tubes intermédiaires sont naturellement des inconnues. Pour résoudre ce problème, nous avons opté pour un profil linéaire de températures de l'eau à l'entrée de chaque tube en utilisant l'équation suivante :

$$T_{swin}(j) = \frac{(T_{swin}(N_L) - T_{swin}(1))(j-1)}{(N_L-1)} + T_{swin}(1) \quad (V.23)$$

Où J est le numéro du tube dans la rangée considérée, dont le nombre total dans la rangée est égal à  $N_L$ . Par ailleurs, l'autre paramètre de contrôle est de toute évidence le débit du condensât qu'on avait retenu. Si le nombre total de tubes dans le condenseur est,  $N_{Tot}$ , le débit total du condensât sera :

$$m_{tot} = \sum_{j=1}^{N_L} \sum_{i=1}^{N_T} m_{i,j} \quad (V.24)$$

Donc, l'algorithme de calcul du système de condensation est le suivant:

1. Les données sont :  $T_{ol}$ ,  $T_{cr}$ ,  $T_{réf}$ ,  $T_{db}$ , RH,  $m_c$ ,  $k_{tub}$ ,  $u_{sw}$ ,  $T_{swin}$ ,  $T_{swout}$ ,  $D_{out}$ ,  $D_{in}$ , L.
2. Calcul de la pression de saturation à la température de bulbe sec  $(P_{sat})_{T_{db}}$  par l'équation

$$\text{d'Antoine pour l'eau pure : } \text{Log}_{10}(P_{sat})_{T_{db}} = 8 - \frac{1689.52}{230 + T_{db}} \quad (V.25)$$

3. Calcul de la pression partielle de la vapeur d'eau  $P_{vap}$  par l'équation suivante :

$$P_{vap} = (P_{sat})_{T_{ab}} RH \quad (V.26)$$

4. Calcul de l'humidité absolue  $Y$  de l'air par l'équation suivante ::

$$Y = \left(\frac{18}{29}\right) \frac{P_{vap}}{P_{tot} - P_{vap}} \quad (V.27)$$

5. Calcul de la chaleur latente de vaporisation ( $h_{fg}^{sat}$ ) de l'eau à une température de saturation

$T_{sat}^{(k-1)}$  estimée selon l'équation de Watson:

$$h_{fg}^{sat} = h_{fg}^{réf} \left[ \frac{1 - \left(\frac{T_{sat}^{(k-1)}}{T_{cr}}\right)^{0.38}}{1 - \left(\frac{T_{réf}}{T_{cr}}\right)} \right] \quad (V.28)$$

6. Calcul de la chaleur spécifique humide  $C_s$  par l'équation suivante :

$$C_s = C_p^{air} + Y C_p^{vap} \quad (V.29)$$

7. Calcul de la température de saturation adiabatique et de l'humidité à la saturation en tout point du condenseur en utilisant un processus itératif sur la base de l'équation suivante :

$$\frac{Y - (H_{sat})_{cal}}{T_{db} - (T_{sat})_{cal}} = \frac{C_s}{Y_{vap}^{T_{sat}}} \quad (V.30)$$

8. Calcul de la pression de saturation à la température de saturation  $(P_{sat})_{T_{sat}}$  par la résolution de l'équation suivante :

$$Y_{sat} = \left(\frac{18}{29}\right) \frac{(P_{sat})_{T_{sat}}}{P_{tot} - (P_{sat})_{T_{sat}}} \quad (V.31)$$

9. Calcul de la température de saturation  $T_{sat}^{(k)}$  par résolution de l'équation suivante :

$$\text{Log}_{10}(P_{sat})_{T_{sat}} = 8 - \frac{1689.52}{230 + T_{sat}^{(k)}} \quad (V.32)$$

10. Test de convergence : Si  $|T_{sat}^{(k)} - T_{sat}^{(k-1)}| > tol$  , on proposera un nouvel estimateur de  $(T_{sat})$

dont la valeur, à l'étape suivante, est :  $T_{sat}^{(k)} = T_{sat}^{(k)} + T_{sat}^{(k-1)} / 2$

11. On reprend les calculs à partir de l'étape n°5 pour aboutir à une nouvelle valeur de  $T_{sat}^{(k)}$ .

Le calcul itératif est arrêté une fois le critère de convergence est vérifié.

12. Calcul des propriétés thermo physiques de l'eau douce et de l'eau salée.

13. Calcul de la fraction massique du gaz non condensable:

$$X = \frac{m'_{NC}}{m'_{tot}} = \frac{1}{1+Y} \quad (V.33)$$

14. Calcul de  $h_{ave}$  par l'équation:

$$h_{ave} = 0.943 \left[ \frac{g \rho_l (\rho_l - \rho_v) k_l^3 h_{fg}^*}{\mu_l (T_{sat} - T_{Wout}) L} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (V.34)$$

15. Calcul de  $h_{vert}$  en utilisant l'équation suivante :

$$h_{vert} = h_{ave} f(X) \quad (V.35)$$

16. Calcul de  $h_{in}$  en utilisant l'équation suivante :

$$h_{in} = \frac{Nu k_{sw}}{D_{in}} \quad (V.36)$$

17. Calcul de la température interne  $T_{Win}^{(k)}$  du tube en utilisant l'équation :

$$Q = h_{in} A_{in} \frac{(T_{Win}^{(k)} - T_{swin}^{(k)}) - (T_{Win}^{(k)} - T_{swout}^{(k)})}{\ln \left( \frac{(T_{Win}^{(k)} - T_{swin}^{(k)})}{(T_{Win}^{(k)} - T_{swout}^{(k)})} \right)} \quad (V.37)$$

18. Calcul de la température externe  $T_{Wout}^{(k)}$  du tube par la résolution de l'équation :

$$Q = 2 \pi k_{tub} \frac{(T_{Wout}^{(k)} - T_{Win}^{(k)})}{\ln \left( \frac{D_{out}}{D_{in}} \right)} \quad (V.38)$$

19. Critères de convergence :

$$Erreur2 = \left| T_{Win}^{(k)} - T_{Win}^{(k-1)} \right| \quad Erreur3 = \left| T_{Wout}^{(k)} - T_{Wout}^{(k-1)} \right|$$

20. Test de convergence : Si  $Erreur2 + Erreur3 > Tol$  on propose de nouvelles valeurs de

$T_{Win}^{(k)}$  et  $T_{Wout}^{(k)}$  telles que :

$$T_{Win}^{(k)} = (T_{Win}^{(k)} + T_{Win}^{(k-1)})/2$$

$$T_{Wout}^{(k)} = (T_{Wout}^{(k)} + T_{Wout}^{(k-1)})/2$$

On reprend les calculs à partir de l'étape n°12 pour aboutir à de nouvelles valeurs de  $T_{Win}^{(k)}$  et

$T_{Wout}^{(k)}$  Le calcul est arrêté une fois le critère de convergence vérifié.

21. Calcul de la surface d'échange de chaleur  $A_{out}$  par l'équation suivante :

$$A_{out} = \frac{h_{fg}^* m_{tot}}{h_{vert} (T_{sat} - T_{wout})} \quad (V.39)$$

22. Calcul du nombre de tubes du condenseur (Dimension du diamètre est imposée par sa disponibilité sur le marché) :

$$N_{tot} = \frac{A_{out}}{\pi * D * L} \quad (V.40)$$

## V.8. Conclusion

La modélisation des phénomènes d'échange de chaleur lors de la condensation de vapeur dans une serre constituée de tubes nous a permis d'identifier les différents paramètres influents. Naturellement, la quantité d'eau va dépendre d'une myriade de variables qui interagissent entre elles au point où il est difficile de dégager le (ou les) facteur(s) le plus influent. Dans le modèle, nous en avons tenu compte pour établir la relation entre le flux de condensât journalier obtenu et les conditions météorologiques. Il est clair que les dimensions de la serre sont relation des propriétés pédologique, météorologique et de la variété de cultures. Pour illustrer ces interactions, des résultats seront à présenter dans la partie restante de ce travail.

*Chapitre VI: Collecte des  
données, résultats de  
simulation et discussion*

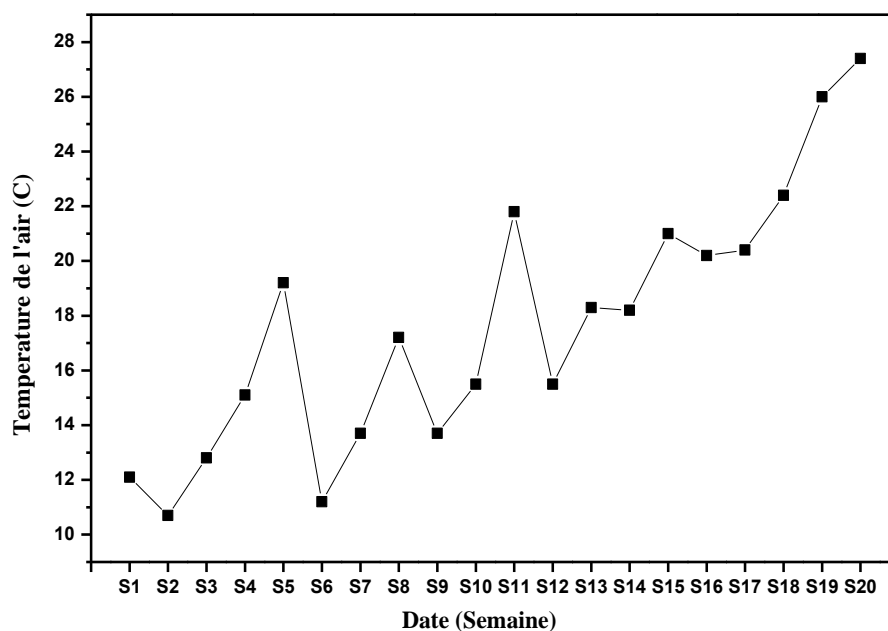
## VI.1. Introduction

Pour assurer le développement équilibré des cultures, nous avons élaboré un modèle où les grandeurs : humidité de l'air, humidité du sol, température de l'air, température du sol, et pluviométrie dans la région constituent les variables d'entrée du système d'irrigation intelligent.

## VI.2. Conditions météorologiques dans la zone

### VI.2.1. Température de l'air

Pour les variations de températures, nous avons relevé, le long de la journée, différents niveaux où on a noté des températures maximales et minimales depuis 11 Février 2018 au 21 Juin 2018. La figure VI.1 présente les fluctuations des températures moyennes durant cette période. L'examen de cette figure montre que les températures moyennes enregistrées sont quasi aléatoires ce qui exige l'intervention pour l'apport d'eau à la plante. Ce caractère imprévisible de variation de températures est en faveur de l'application de système intelligent d'irrigation pour assurer l'appoint en eau en temps réel et conséquemment une croissance régulière et harmonieuse de la plante.



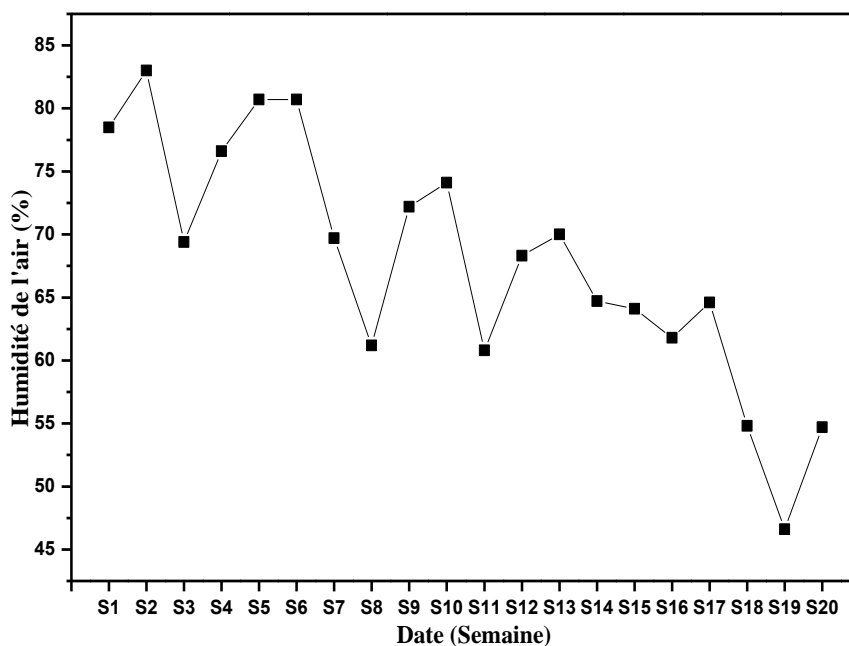
**Figure VI.1.** Variation de la température moyenne hebdomadaire de l'air ambiant durant la période de croissance.

Toutefois, on remarque que la moyenne mensuelle de températures au niveau de la station expérimentale de Lard El-Beida varie de 10,7 °C (février) à 27,4 °C (juin). A titre d'information, on retient que les moyennes mensuelles de  $T_{max}$  ont été affichées à partir du début du mois d'avril pour donner un pic de 33,1°C à la fin de croissance de la plante. De façon

générale, les données météorologiques de températures montrent qu'elles sont adéquates et assez propices pour le développement de la végétation.

### VI.2.2. Humidité de l'air

C'est une mesure du rapport de la quantité d'eau effectivement contenue dans l'air et la capacité d'absorption dans les conditions de sa saturation à la température donnée. Les données d'humidités relatives moyennes hebdomadaires au niveau de parcelles sont présentées sur la figure VI.2. Compte tenu de son impact sur le phénomène de transpiration de la plante, on a préféré accorder de l'importance pour les valeurs enregistrées les plus faibles.



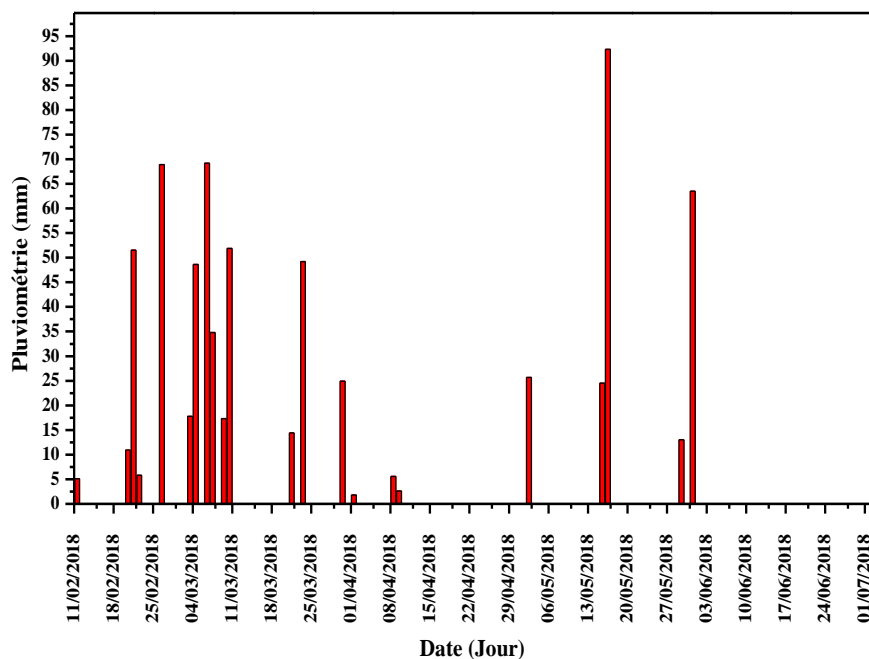
**Figure VI.2.** Variation de l'humidité relative moyenne hebdomadaire de l'air durant la période de croissance.

A cet effet, on a noté que les valeurs moyennes hebdomadaires de l'humidité relative fluctuent entre 46,6 % et 83%. Il se dégage que le suivi de ce paramètre est d'un grand intérêt pour décider du besoin de la plante en matière d'apport d'eau.

### VI.2.3. Pluviométrie

Les données relatives aux précipitations, exprimées en millimètres, durant la même période de l'année 2018, sont présentées sur la figure VI.3 où on mentionne que la pluviométrie est très irrégulière avec un pic de 75 mm à la date du 17 Mai 2018. Par ailleurs, les précipitations mensuelles moyennes se sont produites aux mois de février et de mars dans la région du bassin du Chellif.





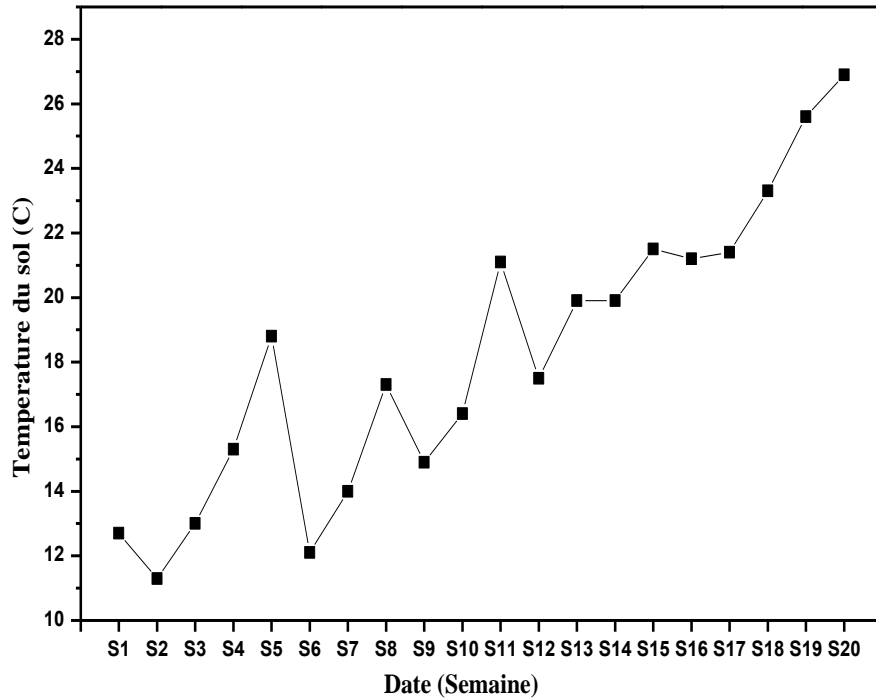
**Figure VI.3.** Variation de la pluviométrie avec le temps durant la période de croissance de la plante.

### VI.3. Contrôle des paramètres pédologiques

#### VI.3.1. Température du sol

Concernant la température du sol au niveau des différentes strates du sol dans la station expérimentale de Iard El-Beida, les valeurs relevées sont présentées dans la figure IV.4. On remarque que les valeurs saisonnières limites sont de l'ordre de 11°C et de 26,6°C respectivement. Par ailleurs, on doit signaler que la température du sol est corrélée aux facteurs climatiques et topographiques de la région. Le climat exerce une influence primordiale, d'abord directe sur le « pédoclimatique » donc les mouvements de l'eau dans le sol et indirecte sur la végétation. L'eau favorise la dissolution de matières organiques en vue de faciliter leur absorption par la plante ainsi que par les mauvaises herbes; Par conséquent, elle conditionne les réactions enzymatiques responsables du développement des tubercules.

Ainsi, sous l'effet du rayonnement solaire et compte tenu de ses propriétés physicochimiques, les couches superficielles du sol subissent un cumul de chaleur plus que l'air environnant.



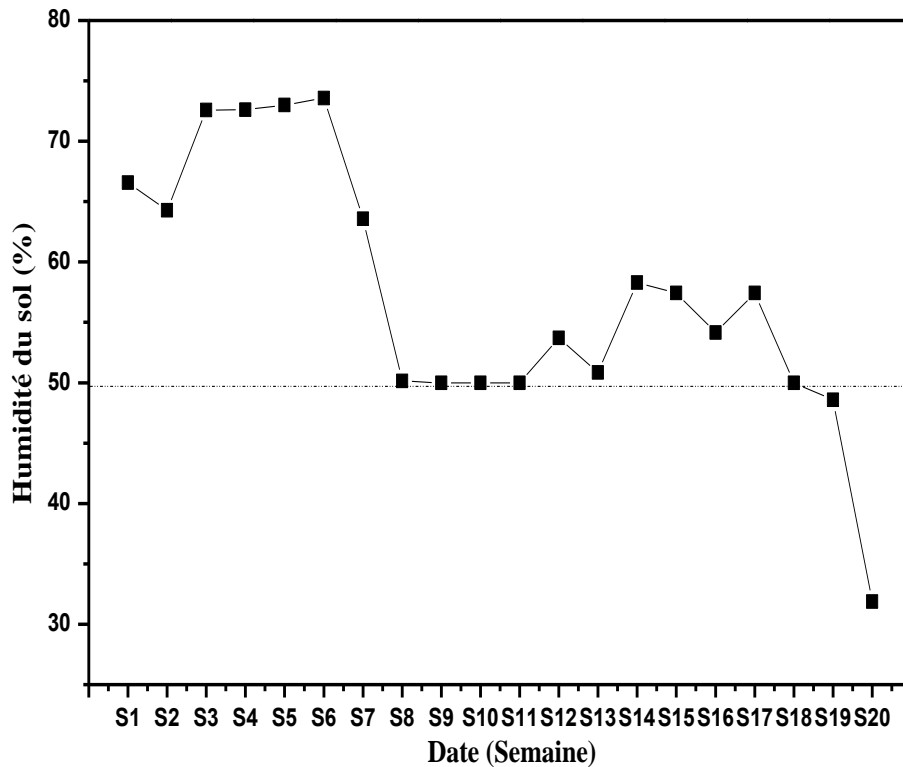
**Figure IV.4.** Variation de la température moyenne hebdomadaire du sol durant la période de croissance.

### VI.3.2. Humidité du sol

La figure VI.5 montre les variations hebdomadaires moyennes d'humidité du sol, pendant la période de croissance de la plante. En effet, l'eau joue un rôle très important dans les phénomènes physiques, chimiques et biologiques qui se produisent dans le sol. Du point de vue théorique, on rappelle que l'humidité du sol est une mesure de la quantité d'eau par unité de volume de sol. Au-delà de la saturation, tout appoint d'eau est en faveur du lessivage du sol et par conséquent un appauvrissement progressif du sol en matières organiques d'où la nécessité de son amendement en engrais pour les cultures aux saisons ultérieures.

La disponibilité de l'eau dans le sol est une fonction dépendante du mécanisme de son adsorption sur les particules constitutives de ce milieu (Isotherme d'adsorption). Cette définition nous permet de distinguer quatre niveaux :

- 1) niveau extra sec ;
- 2) point de flétrissement (PF)
- 3) capacité de rétention du champ ;
- 4) niveau de saturation en eau.



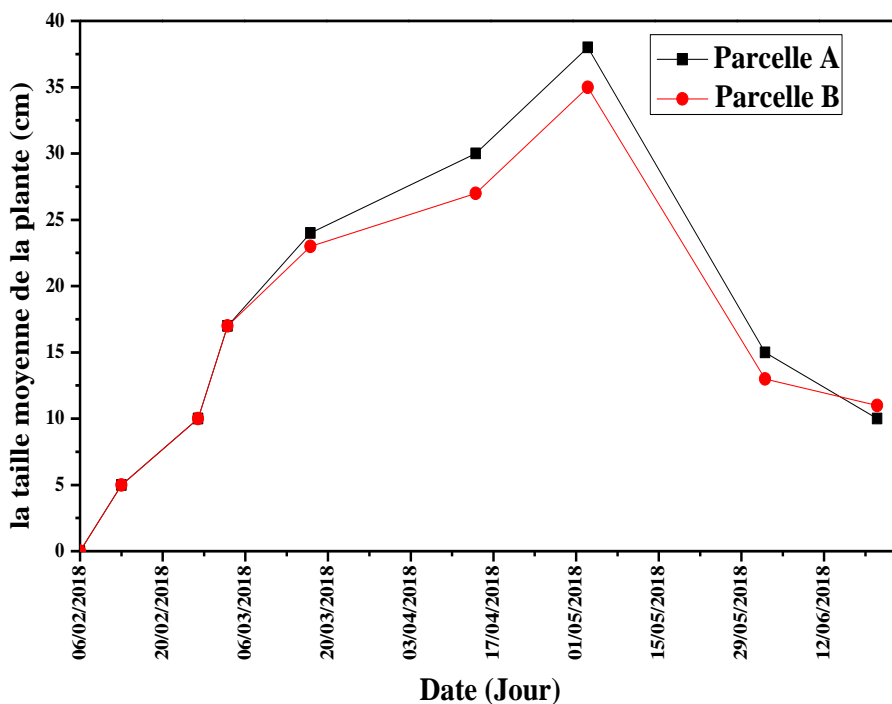
**Figure IV.5.** Variation de l'humidité hebdomadaire moyenne du sol durant la période de croissance. (Point de flétrissement=0,25, Capacité au champ=0,53)

La matière organique augmente la capacité de rétention des sols en eau. En période de sécheresse, cela favorise le piégeage dans le sol d'une plus grande réserve en eau utile. Toutefois, certains sols caractérisés par des propriétés absorbantes dont la conséquence est l'augmentation de sa capacité de rétention en eau, il a été établi que la cinétique de leur vitesse d'assèchement est ralentie et inversement. Pour contrecarrer le développement de maladies phytosanitaires (mildiou, oïdium, etc) dont la conséquence directe est la régression du rendement, nous pensons qu'il y a lieu d'éviter l'irrigation par aspersion dans les conditions de chaleur importante régnant dans la région durant la période mars-juin. Toutefois, l'une des meilleures solutions à adopter est tout naturellement l'irrigation par goutte à goutte.

#### **VI.4. Analyse comparative des deux parcelles**

##### **VI.4.1. L'évolution de la végétation**

L'évolution de la végétation des plantes a été suivie à travers la mesure de la hauteur moyenne des tiges durant tout le cycle de croissance pour chaque parcelle.



**Figure VI.6.** L'évolution de la végétation durant tout le cycle de plante.

La figure VI.6 exhibe bien la variation de la taille à intervalles réguliers d'une quinzaine de jours. Ainsi, la hauteur des plantes est mesurée où on a constaté que la taille des tiges est presque là même dans les deux parcelles durant la première phase de croissance dont la durée est approximativement égale à 45 jours. Une légère différence de tailles commence à se faire noter au-delà de cette phase ; les meilleures tiges sont observées dans la parcelle a, avec un écart de 03 cm. Du point de vue irrigation, on précise que :

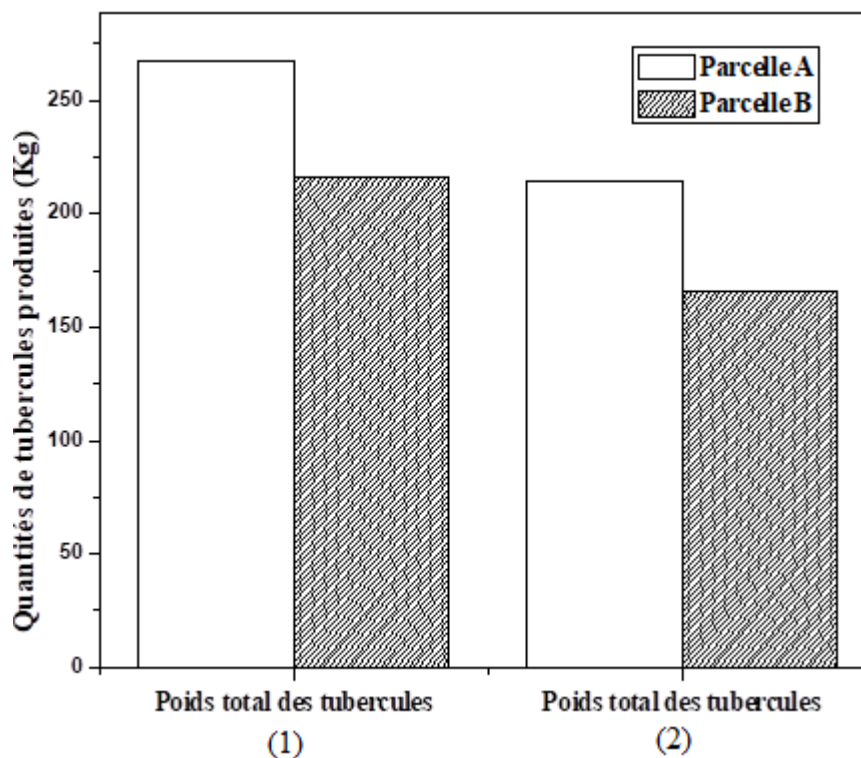
- La parcelle a est irriguée automatiquement en fonction des besoins en eau dépendant de : pluviométrie, données hygrométriques du sol.
- Cependant, la parcelle b est irriguée en optant pour une fréquence de 03 à 05 jours.

Au bout d'une période de 130 jours et compte tenu de l'état chlorophyllien de la végétation dans les deux parcelles et suite au flétrissement des feuilles, une vérification de la fermeté de la peau des tubercules a été opérée à compter du dixième jour depuis la coupure de l'irrigation. Après quoi, on a procédé à la récolte manuelle des tubercules produits.

#### **VI.4.2. Comparaison de la production**

En matière de quantités de tubercules produits, exprimées en masse, dans les deux parcelles (irrigation traditionnelle et irrigation par système intelligent), nous avons pu comparer les rendements. En effet, les résultats consignés dans la figure IV.7 montrent que la productivité

de la parcelle a est supérieure à celle de la parcelle b. Les rendements rapportés aux semis sont de 535% et de 428% respectivement.



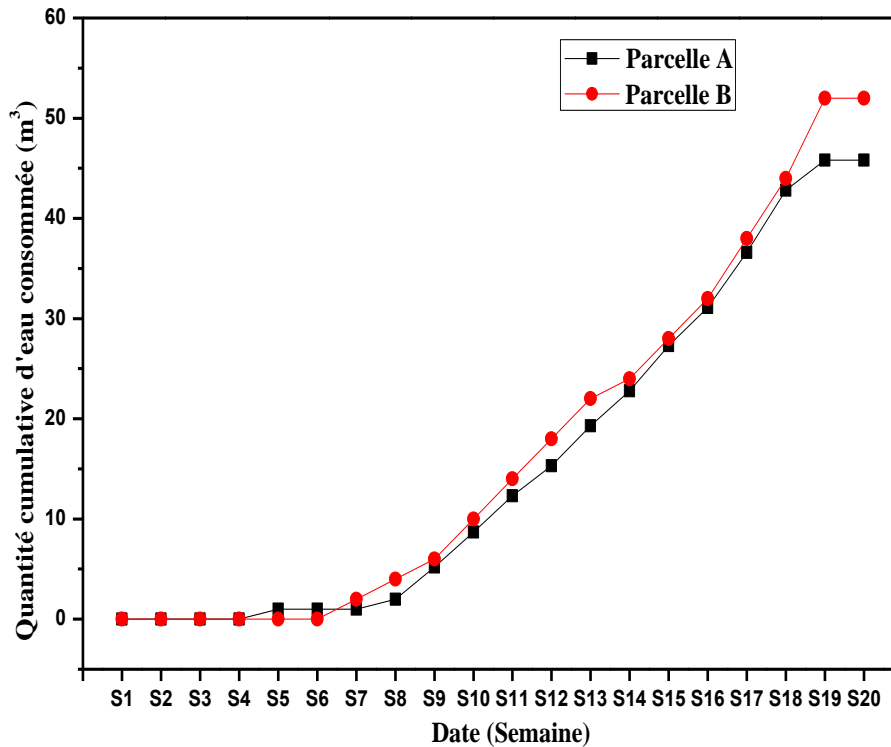
**Figure VI.7.** Analyse comparative de quantités de tubercules produits dans les deux parcelles.

-1) Total récolté ;      -2) Sélectionnés suivant le calibre retenu

-A) Parcelle irriguée par SII      -B) Parcelle irriguée traditionnellement.

### VI.4.3. Comparaison de la consommation d'eau

Les variétés de pomme de terre, souvent importées, sont sensibles aux déficits d'eau dans le sol et ont besoin d'une irrigation fréquente et peu profonde. La figure IV.8 représente la comparaison entre la consommation moyenne de l'eau d'irrigation des plants dans les deux parcelles A et B. nous constatons que le système d'irrigation intelligent est très économe en matière d'eau pour la production de culture maraichère avec un rendement supérieur et nécessite une main d'œuvre quotidienne moindre car il est doté de capteurs qui détectent tout besoin de la plante en eau en temps réel et sans qu'il soit nécessaire de faire intervenir le personnel chargé de l'irrigation au moment opportun.

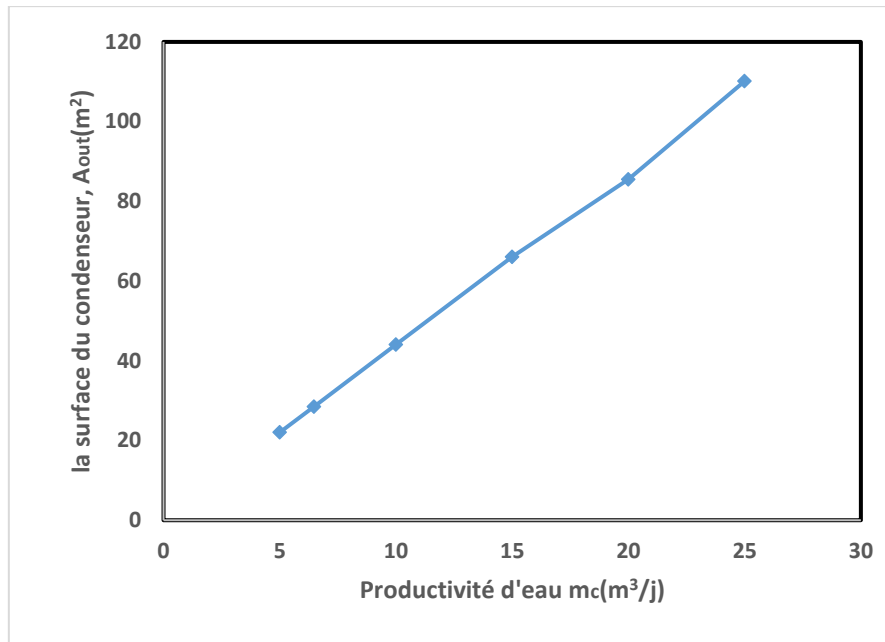


**Figure VI.8.** Comparaison de la consommation d'eau entre les deux parcelles durant la période de croissance de plantes.

L'analyse comparative basée sur la consommation en eau ainsi que sur les rendements des deux parcelles, montre que le système d'irrigation traditionnelle est moins performant que le système intelligent d'irrigation.

### VI.5. Dimensionnement de la serre destinée à la production d'eau pour l'irrigation

Pour l'irrigation d'une surface de 1 hectare dans des conditions ambiantes avec un sol dont les propriétés sont données, il serait raisonnable de dimensionner une serre qui répond à ses besoins. Pour ce faire, on procède par simulation du fonctionnement d'une serre composée d'un faisceau de tubes et alimentée par l'eau saumâtre (eau de mer). La figure.VI.9 présente la variation de la dimension du condenseur, exprimée en terme de surface en fonction des besoins journaliers en eau d'irrigation rapportés à l'unité d'aire fixée à un hectare pour un champ arable.



**Figure.VI.9.** Variation de la surface du condenseur en fonction des besoins journaliers en eau d'irrigation ( $T_{air}=26^{\circ}C$ ,  $RH=59\%$ , pluviométrie nulle).

Suite à la quantification des besoins relatifs à un champ arable donné, la connaissance des conditions météorologiques ( $T_{db}$ ,  $RH$ , pluviométrie nulle) nous permettrait de dimensionner l'unité de notre système autonome d'approvisionnement en eau d'irrigation destinée à l'irrigation d'une certaine culture. Par ailleurs, on rappelle que nos besoins quotidiens en se sont estimés à  $0.35 m^3/jour$  et compte tenu des résultats de simulation, on dimensionner la serre qui répondrait à nos besoins. Par simple lecture, on trouve que la dimension du condenseur est de  $1,52 m^2$ . D'un point de vue pratique et pour un sol de propriétés physicochimiques identiques au nôtre, la taille du condenseur à concevoir pour l'irrigation d'un hectare en saison d'hiver est de :  $22 m^2$ .

# *Conclusion Générale*



## **CONCLUSION GENERALE**

Les besoins de l'agriculture en matière d'eau destinée à l'irrigation continuent à augmenter avec la poussée démographique que connaît le monde. De ce fait et dans le domaine de l'agriculture, il est intéressant de noter qu'une solution au manque de l'eau, dans les régions qui connaissent sa rareté, ne réside pas nécessairement dans la production davantage de quantités d'eau, mais de gérer le plus parcimonieusement possible le capital existant en matière d'eau dans l'irrigation. Eu égard à la localité de notre zone de culture, nous nous sommes orientés vers l'analyse de la performance de systèmes d'irrigation par goutte à goutte. Dans cette étude, un système d'irrigation intelligent, intégré au système goutte à goutte traditionnel, a été développé pour la croissance équilibrée des cultures maraichères dans la région de Chlef. Dans la configuration du système d'irrigation intelligent, les données propres aux paramètres liés aux conditions d'un développement harmonieux de la plante d'une part et les propriétés pédologiques du terrain de culture (perméabilité, pH, humidité, porosité, etc.) d'autre part, ont été prises en considération sans négliger pour autant les facteurs météorologiques de la région.

Dans ce cadre et après avoir opté pour l'étude comparative entre les deux techniques d'irrigation, on a subdivisé le terrain en deux parcelles (A et B) qu'on a défoncées à une profondeur moyenne de 70 à 80 cm. On rappelle que leurs superficies sont identiques et égales à 46m X 15m, Outre cette opération préliminaire et compte tenu des résultats de l'analyse du sol, l'épandage d'engrais, NPK, a permis de l'amender et le préparer à la plantation de la pomme de terre, variété Bartina.

Pour ce qui se rapporte à l'irrigation, nous avons positionné les goutteurs dans les différents points des raies de culture pour répondre aux besoins en eau. Le suivi de l'évolution des paramètres en temps réel a été assuré par des capteurs (humidité, température du sol). Davantage, notre installation est équipée d'une station météorologique, sans fils, pour recueillir les données dans la région.

Après plantation de cette culture en mois de février, nous avons veillé à assurer un développement harmonieux de la plante dans ses différents stades de croissance par le bon contrôle des paramètres tels que l'humidité et la température du sol en utilisant l'organigramme élaboré ad hoc. Dans cette perspective, la bonne gestion des besoins en eau est corrélée à

l'humidité du sol en tant que consigne variant sur un domaine délimité par le point de flétrissement et la capacité de rétention du sol.

Durant la végétation de la pomme de terre, on constate une rigueur et une précision suffisantes du système d'irrigation intelligent en matière de consommation d'eau se traduisant par une économie de 10 à 13% par rapport au système d'irrigation goutte à goutte traditionnel.

A certains stades de la végétation de notre culture, nous avons noté la poussée de mauvaises herbes ce qui s'est répercuté par une consommation beaucoup plus importante d'eau. Pour y faire face, des opérations de désherbage manuelle et chimique ont été entreprises dès qu'elles atteignent la hauteur de certains centimètres.

Au terme de la période de développement de la plante laquelle a coïncidé avec la deuxième quinzaine du mois de juin 2018 et après défanage des feuilles et des parties aériennes, on a procédé à la récolte du produit.

Sur le plan de la qualité des tubercules produits d'une part et du rendement de la parcelle dont l'irrigation est conduite par le S.I.I. d'autre part, on note qu'ils suivent une distribution de taille quasi uniforme (moyenne de 50 mm et un écart-type de 15 mm) avec un rendement de 124,83% par rapport au système d'irrigation traditionnel, soit un gain substantiel avoisinant les 25%.

L'analyse comparative basée sur la consommation en eau ainsi que sur les rendements des deux parcelles, montre que le système d'irrigation intelligent est plus performant que le système d'irrigation traditionnel. Il est tout à fait clair que le S.I.I développé, dans notre étude, est conçu pour s'adapter pour les différentes régions où on noterait une déficience d'eau et particulièrement dans les zones côtières arides une fois que des données fiables sont collectées.

Dans ce dernier cas et pour s'approvisionner en matière d'eau, nous avons recouru à l'exploitation du procédé d'humidification-déshumidification de l'air, à partir de l'eau de mer, développé par Tahri et al.. Pour atteindre l'objectif préfixé, nous avons dimensionné les éléments constitutifs de l'unité du procédé retenu en fonction des besoins de la surface arable.

Vu l'autonomie et l'efficacité du système d'irrigation intelligent développé dans le cadre de cette étude, le modèle théorique élaboré a permis de décrire le processus de la condensation de vapeur à la surface du condenseur constitué de tubes en utilisant les équations de transfert de chaleur couplées aux équations de transfert de masse. L'identification des différents paramètres opératoires influents nous a facilité la simulation de son fonctionnement. Il est clair que les dimensions de la serre sont corrélées aux besoins exclusifs de l'irrigation sans tenir

compte pour autant des propriétés pédologique, météorologique et de la variété de cultures. D'un point de vue pratique et pour un sol de propriétés physicochimiques identiques au nôtre, la surface d'échange externe du condenseur à concevoir pour l'irrigation d'un hectare en saison d'hiver est de : 22 m<sup>2</sup>.

En perspective d'une gestion autonome en matière d'énergie, ce travail est à compléter par l'optimisation du fonctionnement du système d'irrigation intelligent en matière de consommation électrique d'une part et d'intégrer l'énergie solaire comme source d'approvisionnement en énergie (panneaux photovoltaïques). Une analyse technico-économique du système est à envisager pour affirmer de la rentabilité de notre système d'irrigation.

*Références*  
*Bibliographiques*

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]: <https://www.djazairress.com/fr/lqo/5114155> accédé le 03-12-2019
- [2] : Ghelamallah A. 2016. Etude des pucerons des cultures maraîchères et leurs complexes parasitaires dans la région de Mostaganem (Nord Ouest Algérien). Thèse de doctorat. Université de Tlemcen
- [3] : FAO. 2015. Données de la base statistique de l'organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture.
- [4] : López R. C., Álvarez Coque G. J.M., Azcárate T. G. 2013. Les relations union européenne UE Méditerranée en matière agricole, l'exemple du Maroc et de la Turquie. Institut Jacques Delors POLICY PAPER. 18 Avril 2013. pp. 26.
- [5] : Gherzi G. 2002. L'agriculture des pays méditerranéens du Sud, entre conquête des marchés européens et réponse aux besoins de subsistance. Organisé par la Communauté de Communes de Bastides & Vallons du Gers et la Mission Agrobiosciences. France.
- [6] : Bedrani S., Bensouiah R., Djenane A.M. 2000. Agricultures familiales et développement rural en Méditerranée : Algérie. Ed Karthala et Ed du CIHEAM. Paris. ISBN : 2845860390. pp. 685.
- [7] : Abaad A., Elloumi M., Mezghani C. 2000. Tunisie in Développement rural en Méditerranée. Editions Karthala et CIHEAM. Paris. ISBN : 2845860390. pp.685.
- [8] : Hadibi A., Chekired.Bouras F.Z., Mouhouche B. 2008. Analyse de la mise en oeuvre du plan national de développement agricole dans la première tranche du périmètre de la Mitidja Ouest, Algérie. T. Hartani, A. Douaoui, M. Kuper. Economies d'eau en systèmes irrigués au Maghreb. May 2008 Mostaganem. Algeria. pp 9.
- [9] : Bouhroua R.T. 1991. Contribution à l'étude bio écologique des insectes et des acariens nuisibles en cultures protégées dans la région de Tlemcen et mise au point d'une stratégie de lutte. Mémoire de Magister. Institut National d'Agronomie El-Harrech, Algérie. pp 418.
- [10]: <https://fr.calameo.com/read/000394263b30141f34928> accédé le 03-12-2019
- [11] : Lahouel Z. 2015. Etude diagnostique de la filière pomme de terre dans la région de Tlemcen, Cas de deux fermes pilotes : Hamadouche et Belaidouni. Mémoire de Master. Université de Tlemcen
- [12] : Rousselle P., Robert Y., Crosnier J. C. (1996). La pomme de terre: production, amélioration, ennemis et maladies, utilisations. Editions Quae.
- [13] : Remini B. 2010. The problem of water in northern ALGERIA. Larhyss Journal. n° 08 Juin 2010. ISSN 1112-3680 p. 27-46.
- [14] : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02137632/document> accédé le 11-01-2020
- [15] : Hannachi A., Gharzouli R., Djellouli Tabet Y.2014. Gestion et valorisation des eaux usées en Algérie. Larhyss Journal. n°19. ISSN 1112-3680 pp. 51-62

- [16] : Benblidia M. 2011. L'efficience d'utilisation de l'eau et approche économique. Etude nationale Algérie.
- [17] : Ladjal R. 2013. Problématique de la mobilisation et de la préservation des ressources hydriques dans le Sersou (Bassin Cheliff amont Boughzoul). Mémoire de Magister. Université de Tlemcen
- [18]: [https://reca-niger.org/IMG/pdf/module\\_goutte\\_goutte\\_16\\_janv\\_19.pdf](https://reca-niger.org/IMG/pdf/module_goutte_goutte_16_janv_19.pdf) accédé le 20/11/2021
- [19] : Ardouin A. 2014. Guide pratique pour la description des sols de France. CEN Bourgogne.
- [20] : Lafhaj Z., Samara M., Mania J., Sam R., Hajnajib B. 2005. Experimental measurements of the in situ permeability of silts in urban zone using the double ring infiltrometer and the permeameter of Guelph. Conference: Colloque GeocityNet. Lille, France.
- [21] : Gobat J M., Argno M., et Mathey W. 2010. Le livre le sol vivant ; Bases de pédologie- Biologie des sols » 3<sup>o</sup> édition revue. pp. 165.
- [22] : Duchaufour P. 1994. Pédologie : sol, végétation, environnement. MASSON éditeur. Paris.
- [23] : Ugarte-Nano C.C., 2015. Etude de la variabilité des propriétés physiques et hydrodynamiques d'un sol argileux sous l'effet de conduites en protection intégrée contre les adventices. Thèse de doctorat. Université de Bourgogne. pp. 211.
- [24] : Mahmoud K. 2010. Caractérisation hydrodynamique des sols en vue d'une recherche des conditions de reconstitution de parcelles d'infiltration. Mémoire de Master. Ecole Centrale de Nantes. pp. 97.
- [25] : Bruand A., Duval O., Gaillard H., Darthout R., Jamagne M. 1996. Variabilité de rétention en eau des sols: importance de la densité apparente. Etude des gestions des sols. Vol. 3(1). pp. 27-40.
- [26] : Nasri B. 2013. Évaluation des fonctions de pédotransfert d'un sol hétérogène, milieu récepteur d'eau usée traitée, sur un site pilote dédié. Thèse de doctorat. Université de Paris Est. France.
- [27] : Massenet J.Y., 2010. Les constituants solides de sol.
- [28] : Ait Saadi L. 2003. Méthodologie de contrôle de l'homogénéité et de la perméabilité des barrières argileuses. Thèse de doctorat. Ecole doctorale INSA. Lyon. pp. 277.
- [29] : Chossat, J.C. 2005. La mesure de la conductivité hydraulique dans les sols. Choix des méthodes. TEC & DOC Hermès- Lavoisier. France. pp. 705.
- [30] : Si-Smail A., Bouheraoua A., Abdesselam M. 2013. Caractérisation hydrodynamique des sols de la haute vallée de l'oued Sébaou (Algérie) : étude expérimentale, numérique et analytique. Physico-Géo. Vol 7. pp. 261-283.
- [31] : [https://www.seinemaritime.gouv.fr/content/download/30603/213631/file/20171003\\_CE%20a%20Briqueterie%20-%20Etude%20de%20perm%C3%A9abilit%C3%A9....pdf](https://www.seinemaritime.gouv.fr/content/download/30603/213631/file/20171003_CE%20a%20Briqueterie%20-%20Etude%20de%20perm%C3%A9abilit%C3%A9....pdf) accédé le 12-01-2020

- [32] : Nautiyal M, Grabow G, Miller G, Huffman R.L. 2010. Evaluation of two smart irrigation technologies in Cary, North Carolina. An ASABE Meeting Presentation, Paper Number: 1009581. Presentation at the ASABE Annual International Meeting, David L. Lawrence Convention Center. Pittsburgh. Pennsylvania.
- [33] : Norum M.N., Adhikari D. 2009. Smart irrigation system controllers. In: 7th World Congress on computers in agriculture conference proceedings, Reno, Nevada. ASABE, St. Joseph, Michigan.
- [34] : Capraro F., Schugurensky C., Vita F., Tosetti S., Lage A., Patinõ D. 2008. Intelligent irrigation in grapevines: a way to obtain different wine characteristics. 17th FAC World Congress. Seoul, Korea.
- [35] : Iserman R., Lachmann K., Matko D. 1992. Adaptive control systems. Prentice Hall, London.
- [36] : Munõz-Carpena R., Li Y., Olczyk T. 2003. Alternatives for low cost soil moisture monitoring devices for vegetable production in the south Miami-Dade County agricultural area. Fact Sheet ABE 333 of the Department of Agriculture and Biological Engineering. University of Florida.
- [37] : Dassanayake D.K., Dassanayake H., Malano G.M., Dunn Douglas P., Langford J. 2009. Water saving through smarter irrigation in Australian dairy farming: use of intelligent irrigation controller and wireless sensor network. 18th World IMACS/MODSIM Congress, Cairns, Australia. p 4409–4417.
- [38] Al-Ghobari H.M., Mohammad F.S. 2011. Intelligent irrigation performance: evaluation and quantifying its ability for conserving water in arid region. *Appl. Water Sci.* vol 1. pp 73–83.
- [39] Michael D., Dukes M.D. 2008. Water conservation potential of smart irrigation controllers. In: 5th National decennial irrigation conference proceedings, Phoenix convention center. Phoenix, USA.
- [40] McCreedy M.S., Dukes M.D., Miller G.L. 2009. Water conservation potential of smart irrigation controllers on St Augustine grass. *J. Agric. Water Manage.* vol 96. p 1623–1632.
- [41] Lozano D., Mateos L. 2007. Usefulness and limitations of decision support systems for improving irrigation scheme management. *J. Agric Water Manage.* Vol. 95(4). P 409–418.
- [42] Playa´n E., Mateos L. 2006. Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. *Agric. Water Manage.* vol 80. p 100–116.
- [43] Munõz-Carpena R., Dukes M.D. 2005. Automatic irrigation based on soil moisture for vegetable crops IFAS extension. University of Florida
- [44] Mendez-Barroso L.A., Payan J.G., Vivoni E.R. 2008. Quantifying water stress on wheat using remote sensing in the Yaqui Valley, Sonora, Mexico. *Agric. Water Manage.* vol 95(6). P 725–736.

- [45] : Davis S.L., Dukes M.D. 2016. Importance of ET controller program settings on water conservation potential. *Applied Engineering in Agriculture*. Vol. 32(2) p. 251–262. DOI 10.13031/aea.32.11182.
- [46] : Tahri T., Abdul-Wahab S.A., Bettahar A., Douani M., Al-Hinai H., Al-mulla Y. 2009. Simulation of the condenser of the seawater greenhouse. Part I: Theoretical development, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 96, pp. 35-42.
- [47] : [www.seawatergreenhouse.com](http://www.seawatergreenhouse.com) accédé le 05-06-2015
- [48] : Paton C., P. Davies P.2006. The seawater greenhouse cooling, fresh water and fresh produce from seawater. in: *The 2nd International Conference on Water Resources in Arid Environments*, Riyadh.
- [49] : Tahri T., Abdul-Wahab S.A., Bettahar A., Douani M., Al-Hinai H., Al-mulla Y. J. 2009. Simulation of the condenser of the seawater greenhouse. Part II: Application of the developed theoretical model, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 96, pp. 43-47.
- [50]: Seungmin O., Revankar S.T. 2006. Experimental and theoretical investigation of film condensation with noncondensable gas. *HEAT and MASS TRANSFER*. Vol. 49. p 2523-2534.
- [51]: Çengel Y.A. 2003. *Heat Transfer: a practical approach*. second ed., McGrRAW-HILL, New York. p 532-552.
- [52]: Rohsenow W.M. 1952. A Method of Correlating Heat Transfer Data for Surface Boiling of Liquid. *ASME Transactions* 74. p 969-975.
- [53] <https://www.agrireseau.net/petitsfruits/documents/analyse%20eau.pdf> accédé le 25-12-2020
- [54] Maynard D. N., Hochmuth G. J. 1997. *Knott's Handbook for Vegetable growers*. p. 582.



# *Annexes*

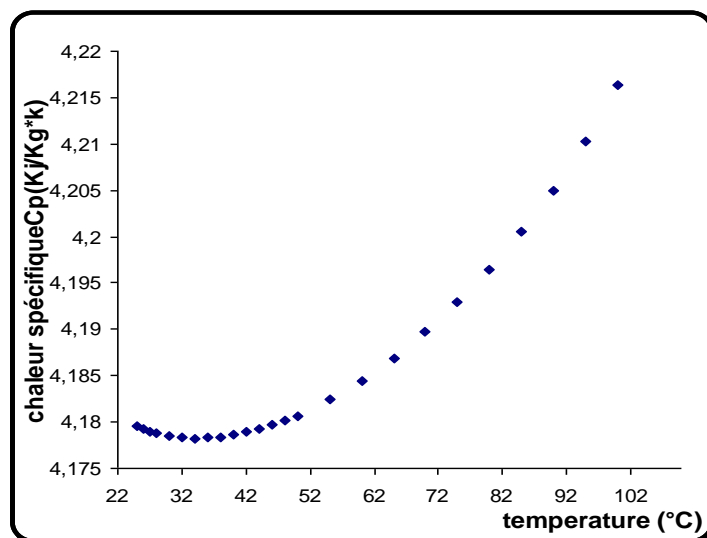
## 1. PROPRIETES THERMODYNAMIQUES DE L'EAU LIQUIDE SATUREE

### 1.1. CHALEUR SPECIFIQUE DE L'EAU ( $C_p^{liq}$ )

La variation de  $C_p^{liq}$  avec la température suit la loi suivante:

$$C_p^{liq} = 9E - 06 * T^2 - 0.0006T + 4.1886$$

$$R^2 = 0.9996$$



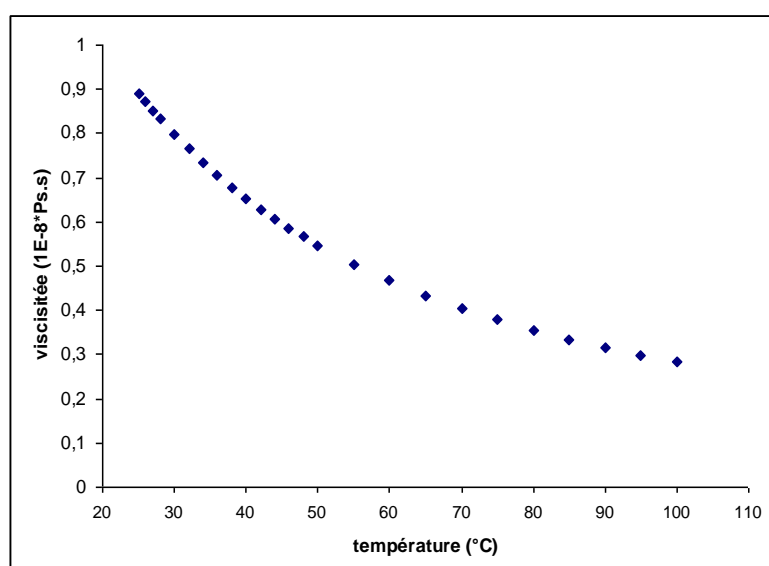
**Figure n°1.** Variation de la chaleur spécifique de l'eau liquide Saturée en fonction de la température.

### 1.2. VISCOSITE DE L'EAU SATUREE ( $\mu_l$ )

Sa variation suit la loi exponentielle décroissante dont la forme est:

$$\mu_l = 0.0001T^2 - 0.0205T + 1.3199$$

$$R^2 = 0.9968$$

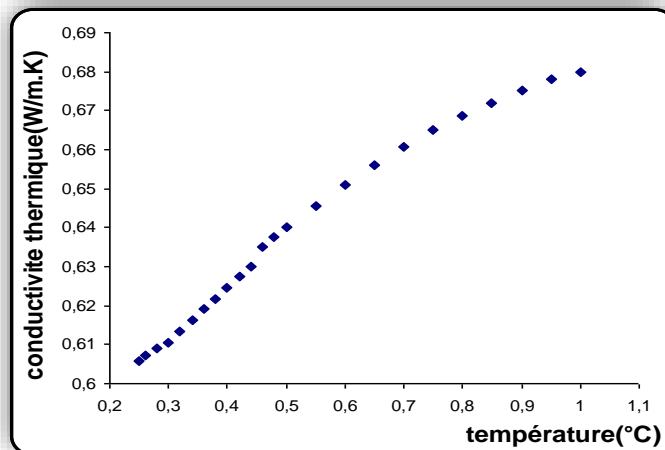


**Figure n°2.** Variation la viscosité de l'eau liquide saturée en fonction de la température

### 1.3. CONDUCTIVITE THERMIQUE DE L'EAU SATUREE ( $k_l$ )

Sa variation suit la loi exponentielle décroissante dont la forme est:

$$k_l = -8 * 10^{(-6)} T^2 + 0.002T + 0.5584 \quad R^2=0,9979$$

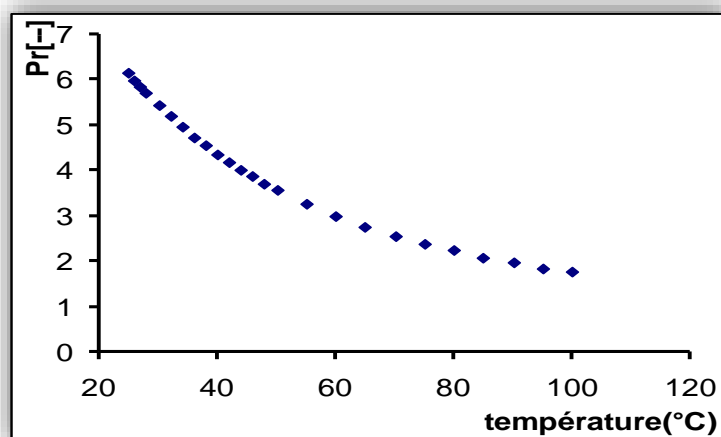


**Figure n°3.** Variation de la conductivité thermique de l'eau liquide saturée en fonction de la température.

### 1.4 LE NOMBRE DE PRANDTL (Pr)

Les données relatives au nombre de Prandtl ont été lissées suivant une loi exponentielle décroissante dont la forme est:

$$Pr = 0.0008T^2 - 0.15555T + 9.3718 \quad R^2 = 0,996$$



**Figure n°4.** Variation du nombre de Prandtl de l'eau saturée en fonction de la température.

### 1.5 MASSE VOLUMIQUE DE L'EAU SATUREE ( $\rho_l$ )

Les données relatives au volume massique  $\rho_l$  (Kg/m<sup>3</sup>) ont été lissées suivant une loi exponentielle croissante dont la forme est:

$$\rho_l = 1000(-6E^{(-6)} T^2 + 4E^{(-5)} T + 0.999)$$

## 1.6 MASSE VOLUMIQUE DE LA VAPEUR D'EAU SATUREE ( $\rho_v$ )

Les données relatives à la masse volumique ont été lissées suivant une loi exponentielle croissante dont la forme est:

$$\rho_v = \frac{1}{192.2302 \exp\left(-T/14.55564\right) + 16.98983 \exp\left(-T/80.9204\right) - 3.57479}$$

## 2. PROPRIETES THERMODYNAMIQUES DE L'EAU DE MER SATUREE

### 2.1 MASSE VOLUMIQUE DE L'EAU DE MER SATUREE ( $\rho_{sw}$ )

Les données relatives à la masse volumique  $\rho_{sw}$  ont été lissées suivant une loi exponentielle croissante dont la forme est:

$$\rho_{sw} = 1000.15046 - 0.06131T + 0.00808 T^2 - 4.4905E^{(-5)}T^3$$

### 2.2 VISCOSITE DYNAMIQUE DE L'EAU DE MER ( $\mu_{sw}$ )

Sa variation suit la loi exponentielle décroissante dont la forme est:

$$\mu_{sw} = 0.00077 \exp\left(-T/22.28783\right) + 0.00077 \exp\left(-T/33.11912\right) + 0.00035$$

### 2.3. CONDUCTIVITE THERMIQUE DE L'EAU DE MER SATUREE ( $K_{sw}$ )

Sa variation suit la loi exponentielle décroissante dont la forme est:

$$k_{sw} = 0.56011 + 0.00239T - 1.86697E^{(-5)}T^2$$

## 3. LA FONCTION DE LA FRACTION DE LA MASSE DU GAZ NON CONDENSABLE $f(X)$ [10]

$$f(X) = 0.57582 \exp\left(-X/0.0055\right) + 0.37126 \exp\left(-X/0.04267\right) + 0.05185$$

## 4. L'ANALYSE DE VARIANCE DES PARCELLES

**Table 3.** Analyse de Variance de la parcelle A

Source	DF	SS	MS	F	P-value
Regression	3	1092.49	364.165	52.19	0.004
Error	3	20.93	6.978		
Total	6	1113.43			

**Table 4.** Analyse de Variance de la parcelle B

Source	DF	SS	MS	F	P-value
Regression	3	901.289	300.430	44.13	0.006
Error	3	20.425	6.808		
Total	6	921.714			

## 5. NORME D'INTERPRETATION D'UNE ANALYSE D'EAU

**Tableau 5.** Norme d'interprétation d'une analyse d'eau pour la production de plantes. [53]

Paramètres	Unités	Concentration acceptables
Alcalinité (CaCO <sub>3</sub> )	ppm ou mg/L	1 à 100 (pas supérieur à 200)
Aluminium (Al <sup>3+</sup> )		0 à 5
Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )		30 à 50 (pas supérieur à 150)
Bore (B)		0,2 à 0,5 (pas supérieur à 0,8)
Calcium (Ca <sup>2+</sup> )		40 à 120
Chlore (Cl <sup>-</sup> )		0-100 (pas supérieur à 140)
Cuivre (Cu <sup>2+</sup> )		0,08 – 0,15 (pas supérieur à 0,2)
Fluor (F <sup>-</sup> )		0 (pas supérieur à 1)
Fer (Fe <sup>3+</sup> )		1 à 2 (pas supérieur à 5)
Magnésium (Mg <sup>2+</sup> )		6 à 25
Manganèse (Mn <sup>2+</sup> )		0,2 à 0,7 (pas supérieur à 2)
Molybdène (Mo)		0,02 à 0,05 (pas supérieur à 0,07)
pH		5 à 7
Potassium (K <sup>+</sup> )		ppm ou mg/L
Ratio d'absorption du sodium (RAS)		Inférieure à 4, ne doit pas dépasser 9
Sodium (Na <sup>+</sup> )	ppm ou mg/L	0 à 30 (pas supérieur à 50)
Sulfate (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )		24 à 240
Matière dissoute totale		70 à 700 (pas supérieur à 875)
Zinc (Zn <sup>2+</sup> )		0,1 à 0,2 (pas supérieur à 2,0)
Salinité	dS/m	Inférieur à 1,0-1,5

**Tableau 6.** Barème de qualité pour l'eau d'irrigation. [53, 54]

Type de problèmes	Unité	Sévérité du problème		
		Aucune	Légère	Élevée
<b>Salinité</b>				
☐ Conductivité	dS/m	<0,75	0,75-3,0	>3
☐ Matières dissoutes totales	mg/L	<700	700-2000	>2000
<b>RAS</b> (Rapport d'Absorption du Sodium)		<3	3-9	>9
<b>Alcalinité ou dureté</b> (équivalent en CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	80-120		>200
<b>pH</b> (risque de colmatage)		<7,0	7-8	>8,0
<b>Fe</b> (risque de colmatage)	mg/L	<0,2	0,2-1,5	>1,5
<b>Manganèse</b> (risque de colmatage)		<0,1	0,1-1,5	>1,5
<b>Sulfure d'hydrogène</b> (H <sub>2</sub> S) (risque de colmatage)		<0,2	0,2-2,0	>2,0
<b>Comptage bactérien</b> (risque de colmatage)	Nbre/ml	10000	10000-50000	>50000

## Study of a smart irrigation system for water managing for potatoes in Chlef region, Algeria

Mohammed Amoura<sup>1</sup> , Mustapha Douani<sup>1</sup> , Toufik Tahri<sup>2</sup>  

<sup>1</sup> Hassiba Benbouali University of Chlef, Faculty of Technology, Laboratory of Vegetal Chemistry-Water-Energy, Algeria

<sup>2</sup> Hassiba Benbouali University of Chlef, Faculty of Technology, Laboratory of Electrical Engineering and Renewable Energy LGEER, Route nationale No. 19, 2000, Chlef, Algeria

RECEIVED 03.03.2021

ACCEPTED 18.11.2021

AVAILABLE ONLINE 28.09.2022

**Abstract:** The configuration of the smart irrigation system was designed on the basis of data specific to the parameters concerning characteristics of the plant and the pedological properties of the local soil (permeability, pH, humidity, porosity, etc.), including the meteorological factors. In the Chlef area, the water availability is dependent on meteorological data. The objective of this work is to estimate irrigation water needs in crop gardening (potato) based on a smart irrigation system (SIS). Thus, to ensure an equilibrated growth of crops, we have developed a system with parameters, such as soil moisture and soil temperature, which are the input variables of this smart irrigation system. This system was applied for the irrigation of potatoes ('Bartina' variety), planted in the agricultural experimental station of Lard El Beida at Chlef. The results obtained in terms of production yield led to a conclusion that the smart irrigation system allows achieving production of 124.83% with lower water consumption (–19.31%), compared to that of a drip irrigation system. Moreover, the granulometric analysis of the potato tuber size showed that 80.83% of the production is within the size range between 30 mm and 55 mm. By comparison, we observed that 77.4% of products obtained from drip irrigation follow a uniform distribution. We conclude that this smart irrigation system is very economical in terms of water use for gardening crops. Given these encouraging results, it would be wiser to generalize its application and implement it to guarantee food self-sufficiency in the water-deficient regions.

**Keywords:** Chlef area, plot productivity, potato, smart irrigation system, water consumption

### INTRODUCTION

In Algeria, the potato sector, in all its aspects related to seeds and consumption, occupies a strategic place because the colossal sums of money are annually mobilised for its production. Many works show that its cultivation is distinguished by production yields ranging between 20 and 30 Mg·ha<sup>-1</sup> [LAHOUAL 2015; DJAAFUR 2019]. In particular, serious problems are encountered with potato seeds which are often imported but unsuited for local environmental conditions in both planting periods during the year. Thus, increasing the productivity remains a big challenge, but a promising alternative would be putting in place efficient water management systems on the one hand, and selecting appropriate fertilisers on the other hand, as well as soil preparation through correct plowing, etc. It is important to point

out that imports (220 000 Mg·y<sup>-1</sup>) hardly cover the national needs; this represents a cost that varies between 65 and 70 mln Eur, depending on the year [LAHOUAL 2015].

It should be noted that the Algerian agriculture is in a really delicate situation due to the reasons related to the inadequate management of various water resources. Indeed, the area occupied by crop gardening varies each year between 380 000 and 400 000 ha on average. So, 26% of this area is reserved for potato plantation [LAHOUAL 2015; DJAAFUR 2019]. It should also be noted that the five geographical areas meant for gardening crops are the Littoral, Sub-littoral, Tell Atlas, Algerian Desert and High Plains [FAO 2015]. The water deficit is due to the weak pluviometry and increased water consumption during the last four decades.

Despite the construction of new dams and the usage of desalination processes, Algeria will still record a water deficit of

1 bln m<sup>3</sup> by the year 2025 [REMINI 2010]. This deficit will be much greater in the hydrographic basins of Chelif-Zahras (CZ) and Algiers-Soummam-Hodna (ASH).

To attenuate this deficit, which is likely to worsen according to many studies related to the topic, it was decided to focus on the development and application of a smart irrigation system (SIS) to save water for the crop gardening. In addition, the analysis conveys the comparison of the performance of the SIS with the drip irrigation system. In order to estimate the necessary volumes of water some simulation calculations proved to be indispensable. Indeed, the water balance makes it possible to evaluate the quantity of water depending on the growth stage of the crop, the plantation season and the soil properties. This approach provides a framework for reflection that, first of all, the following mistakes should be avoided:

- excessive supply of water leads to leaching, which results in the root asphyxia;
- weak supply of water has a negative impact on the vegetative development of the plant.

An irrigation system taking into account crops that have the same needs is essential in order to adapt the appropriate type of irrigation to control the water consumption strictly. In relation with this objective, a smart system based on a programming card facilitates the management and the control of irrigation. In general, the drip irrigation system is more efficient than a traditional irrigation system [ZELLA, SMADHI 2007].

In drip irrigation system, the problem of obstruction of drippers occurs frequently. Besides, this system should be equipped with a pressure regulator for a controlled and uniform distribution of the water flow through the irrigated parcel.

Numerous smart irrigation systems were available and were used to manage crop water needs based on climate data. Usually, smart irrigation is integrated with intelligent controllers; the main task of the irrigation controller is to control the electrovalves during the irrigation phase. Smart irrigation technologies are promising tools for achieving significant savings in water and also for reducing the diffuse pollution of water sources [NAUTIYAL *et al.* 2010].

SISs integrate many disciplines in order to improve crop production significantly and to manage the water resources efficiently [NORUM, ADHIKARI 2009]. There are various manufacturers of smart irrigation control systems already existing, and others are emerging. A recent study has been conducted in Cary, North Carolina (USA) to evaluate the efficiency of smart irrigation systems [NAUTIYAL *et al.* 2010]. The adoption of the SISs has solved most of the problems related to irrigation practices [CAPRARO *et al.* 2008]. This new method of water management uses various mathematical models basing on the measuring of the difference between the detected value and the expected value in a steady state [ISERMAN *et al.* 1992]. The latest technological advances have enabled the development of water sensors in soil to an automatic and efficient operating. These sensors are usually connected to an electrical circuit attached to the valve [MUNOZ-CARPEÑA *et al.* 2003].

At the Dookie Experimental Farm in Egypt, a new smart irrigation system is still being evaluated and initial results indicate that this system achieves water savings of up to 43%, with an average of 38%, in comparison with conventional irrigation systems [DASSANAYAKE *et al.* 2009]. This smart irrigation system was compared with sprinkler and drip irrigation systems for

irrigating wheat and tomato crops in arid regions. The results indicate that up to 25% of water was saved by this system compared to control method, while maintaining competing yield [AL-GHOBARI, MOHAMMAD 2011].

Indeed, many manufacturers have developed SISs that contribute to the considerable reduction of irrigation water consumption [MICHAEL, DUKES 2008]. Nowadays, smart irrigation systems have the ability to estimate the water needs of plants based on climatic conditions, such as temperature, humidity, evapotranspiration, rainfall, etc. [LOZANO, MATEOS 2007; MCCREADY *et al.* 2009]. These new systems are distinguished by their accuracy and reliability. PLAYÁN and MATEOS [2006] explained how modernising and optimising irrigation systems can help to increase crop productivity in a situation of scarcity of water resources. MUNOZ-CARPEÑA and DUKES [2005] have shown that the smart irrigation systems are able to maintain soil moisture within the desired range, optimal or adequate, to ensure a smooth growth of good quality plants. The smart irrigation systems are based on modern electronic sensors, capable of collecting data, analysing and making decisions to start or stop irrigation. They are capable of transmitting the decisions taken to the electronic control devices which monitor the sprinkler or drip irrigation system. In parallel, some researchers used tension-meter transducers in programming a drip irrigation system [MENDEZ-BARROSO *et al.* 2008].

Recent developments in agricultural technologies, such as wireless sensor networks which have sensing, data processing, communication and control capabilities [ZHANG *et al.* 2013], are improving real-time irrigation efficiency [SMARSLY 2013]. To be beneficial, these tools need to be accurate, complete and relatively reliable [MUN *et al.* 2015]. In the past years, irrigation controllers have been developed by a number of manufacturers and have been promoted by water purveyors in an attempt to reduce over-irrigation [DAVIS, DUKES 2016].

An experimental approach is carried out, the aim of which is to estimate the irrigation water needs in the crop gardening on the basis of a smart irrigation system. The objective is to ensure an equilibrated growth of crops. Therefore, we have developed a model with the parameters, such as the soil moisture and the soil temperature, which are the input variables of the smart irrigation system. This model was applied for the irrigation of potatoes ('Bartina' variety), planted in the experimental station of Lard El Beida at Chlef. The results obtained will be compared to the drip irrigation system.

Basing on water consumption results by SIS, the second part of our study will be devoted to the sizing of a fresh water production unit by humidification–dehumidification process, taking inspiration from the results of TAHRI *et al.* [2009a]. This fresh water is meant to satisfy the crop irrigation needs in coastal regions.

## MATERIALS AND METHODS

### STUDY SITE AND DATA COLLECTION

For experimentation, we have chosen the field situated in the experimental station of Lard El-Beida whose geographical coordinates are 36°09' N and 1°20' E. This site is at an altitude of 168 m above sea level (Fig. 1). All the experiments have been

carried out during the first half of 2018. To monitor our experiments, we have used the principal equipment such as weather station, water meters, two water tanks, hydraulic pumps, polyethylene pipes, temperature and humidity probes. To ensure no loss of irrigation water, we used many accessories such as electrovalves, different fittings types, sizing reducers, and sprinklers (drippers).



Fig. 1. Location of Lard El-Beida site in the city of Chlef – Algeria; source: own elaboration

The experimental field was subdivided into two plots while adopting the irrigation scheme (Photo 1) to compare the results obtained by the traditional method of irrigation and those by our system. In order to collect the meteorological data relating to the air temperature, relative humidity, atmospheric pressure, global solar radiation, wind speed and its direction, we installed *in situ* a weather station “Vantage Pro 2”. These data were recorded at 15-minute intervals on a removable data recorder at the weather station, which was placed approximately at the level of 2.5 m above the ground, as clearly shown in Photo 1. The weather station included a data recorder and a “Weather Link” operating system. The data recorder operated either in computer-connected mode or in a disconnected mode in which case the data would be collected in real time. As for the temperature and humidity of the soil, they were measured by probes placed at a depth of 0.10 m and then recorded on an Arduino SD card shield.



Photo 1. Weather station “Vantage Pro 2” at the University of Chlef – Lard El-Beida experimental station (phot.: M. Amoura)

### OPERATING OF THE SMART IRRIGATION SYSTEM

For the best operating of a smart irrigation system, it is more interesting to access all variables in real time. Our system mainly consists of an Arduino SD card which controls the electrovalves operating. The Arduino SD card can be programmed *in situ* while fixing the favourable instructions such as the minimum soil moisture content settled at 50%. The sensors could detect the local variations of the temperature and humidity of soil. The opening and closing of the electrovalves depend on the difference between the measured value and the setpoint. These measured amounts are then used for the irrigation programming of the plots. The flowchart of this process is illustrated in Figure 2.

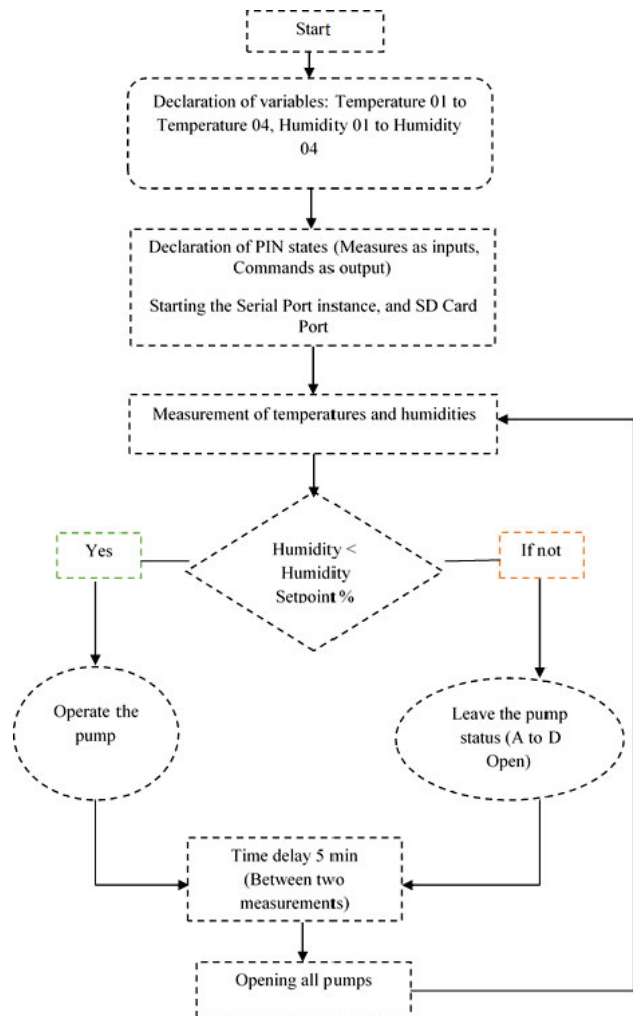


Fig. 2. Flowchart for temperature measurement and soil moisture control; source: own elaboration

### INSTALLATION OF IRRIGATION SYSTEMS

Firstly, we mention that the drip irrigation systems were installed in both plots – A and B (Fig. 3) when we have planted potatoes with a difference in the distribution technique used. So, the potatoes in plot A were irrigated after the integration of a smart irrigation system. However, the crops in plot B were irrigated traditionally. These two irrigation systems were designed to



manage the water consumption more efficiently during all its development period by a uniform water distribution during irrigation. We precise that the drip irrigation lines are spaced on an average of 1 m apart and the drippers of the same line are spaced 0.30 m.

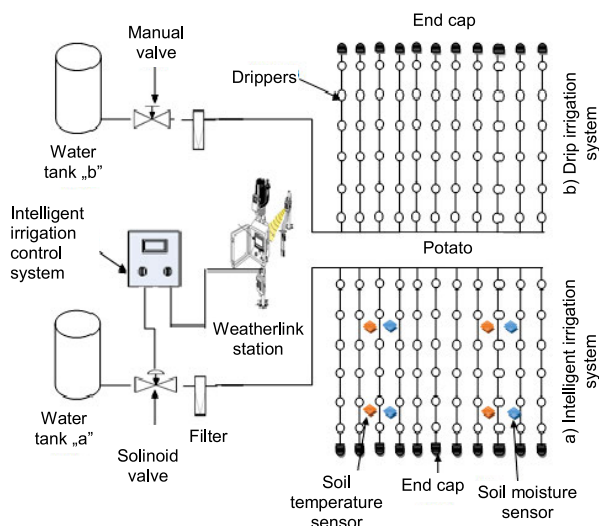


Fig. 3. Field planting scheme using irrigation systems; source: own elaboration

For each system, we installed a water meter in order to quantify its consumption during the irrigation operation. Moreover, in the event of water meter failure, these quantities are directly read on the graduated rules placed on tanks. This approach is based on the methodology developed by MERRIAM and KELLER [1978]. The assessment of performance tests was carried out through the verification of the good uniformity in water distribution, etc.

### IDENTIFICATION OF PROPERTIES OF SOIL

The soil characterisation was done based on the physicochemical parameters. Thus, to identify it, a coring operation was carried out in the plots by agronomic laboratory FERTIAL (Algerian Fertilisers) and the analysis results are presented in Table 1. Besides its high fertility, we mention that the soil is very heavy and clayey, with very poor internal drainage and high retention capacity (water and fertiliser). According to the pH values, it emerges that the soil is alkaline, which can cause problems with the assimilation of microelements. In the case of potato cultivation, the most appropriate soil pH should be between 5 and 7.

During the regular development process, the crop needs in phosphorus and potassium are fulfilled with the help of fertilisers with a normal K:Mg ratio, there is no serious risk of being induced by Mg deficiency. However, the C:N ratio indicates that the soil is poor in organic substances. Consequently, there might be asphyxiation of plant roots.

Moreover, we noted that soil contains free nitrogen issued from the previous spreading of mineral fertilisers, but its carbonate content remains high. In order to solve this problem, it is possible to attenuate the C:N in soil content by compost addition after having incorporated 50 kg·ha<sup>-1</sup> of urea or the equivalent of another nitrogen fertiliser.

Table 1. Physicochemical analysis of soil<sup>1)</sup>

Physical properties	Values	Characterisation of soil	Observations
Electrical conductivity	0.052 mS·cm <sup>-1</sup>	unsalted	very low
pH water	8.8	alkaline	very high
C:N	6.83	-	low
Carbonates	20.95%	209500 ppm	high
Active limestone	-	-	-
Organic matter	1.41%	14100 ppm	low
Nitrogen	0.12%	1200.00 ppm	normal
Phosphorus (Olsen method)	0.07 meq·(100 g) <sup>-1</sup>	20.8 ppm	low
Exchangeable potassium	0.4 meq·(100 g) <sup>-1</sup>	172.0 ppm	low
Exchangeable magnesium	1.9 meq·(100 g) <sup>-1</sup>	228.6 ppm	low
Exchangeable calcium	15.5 meq·(100 g) <sup>-1</sup>	3106.2 ppm	normal
Exchangeable sodium	0.3 meq·(100 g) <sup>-1</sup>	59.8 ppm	very low

<sup>1)</sup> Sand 40%, silt 28%, clay 32%, texture: clay.

Explanations: C:N = carbon to nitrogen ratio.

Source: own study.

### SOIL PREPARATION

On January, we have plowed the plots. Taking into account the height of the plantation ranges and the development of the roots of the plant, we retained an average depth of plowing between 0.25–0.30 m. The disking operation was carried out two or more times to break the clods of soil. The field with dimensions of 46 m×30 m was subdivided into two plots:

- 1) plot A, intended to be controlled by SIS;
- 2) plot B, intended for drip irrigation.

Fertiliser spreading (type NPK 15.15.15) was done manually with a ratio of 350 kg·ha<sup>-1</sup>. We have spread the fertilisers before the hoeing operation. This period corresponds to the start of the phase of growing tubers.

This operation has been carried out during two crop growth stages, namely sowing and weeding. To eliminate the weeds, two weeding techniques were used:

- 1) manual weeding in mid-March (the 4<sup>th</sup> week from the date of planting) as soon as the first weeds appeared;
- 2) selective chemical weeding with MITOZINE50 herbicide throughout the period preceding the wilting phase with a ratio of 1 kg·ha<sup>-1</sup>.

As preventive measures against the proliferation of downy mildew (*Phytophthora infestans*) and *Rhizoctonia solani* in humid and warm weather conditions, it was decided to proceed with the chemical treatment. The phytosanitary treatments were carried out at the start of flowering (30 days) and after 90 days have elapsed when the appearance of mildew has been observed.

These operations contribute to preserving the objectives sought in this framework. After the last stage of crop defoliation, it is imperative to wait for two weeks before the tubers harvest in order to allow the skin to become sufficiently firm.

For a late harvest, there is a higher risk of damage to the tubers by wireworms, slugs, and drycore. The hand grubbing operation was done from June 24<sup>th</sup> at the full maturity of the potato. Then, the bad tubers were immediately eliminated.

**QUALITY OF IRRIGATION WATER**

The composition of irrigation water certainly contributes to modifying the chemical quality of soil, which affects the most crops. It is determined by its chemical analysis at the agronomic laboratory FERTIAL. The most important water parameters are the pH, the salinity, the sodium adsorption ratio (SAR), the carbonates, and the bicarbonates in their CaCO<sub>3</sub> and MgCO<sub>3</sub> forms. The results of these physicochemical analyses are presented in the Table 2.

**Table 2.** Physicochemical analysis of water used in the experimental station

Properties of irrigation water	Values
pH	7.96
EC (mS·cm <sup>-1</sup> )	1.130
Carbonate (mg·dm <sup>-3</sup> )	0.00
Bicarbonate (mg·dm <sup>-3</sup> )	21
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg·dm <sup>-3</sup> )	0.960
Cl <sup>-</sup> (mg·dm <sup>-3</sup> )	112.00
Na (mg·dm <sup>-3</sup> )	136.80
K (mg·dm <sup>-3</sup> )	4.050
Mg (mg·dm <sup>-3</sup> )	36.730
Ca (mg·dm <sup>-3</sup> )	105.500
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg·dm <sup>-3</sup> )	73.000
SAR (mg·dm <sup>-3</sup> )	2.913
Total salt (g·dm <sup>-3</sup> )	0.723

Explanations: EC = electrical conductivity, SAR = sodium absorption ratio.

Source: own study.

These results indicate that the exploited water from the experimental station is moderately saline. Its characteristics are an EC of 1.130 mS·cm<sup>-1</sup> and a SAR of 2.913 mg·dm<sup>-3</sup>. They represent a very high risk of salinisation. Its pH of 7.96 is due to the content of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> ions in the soil.

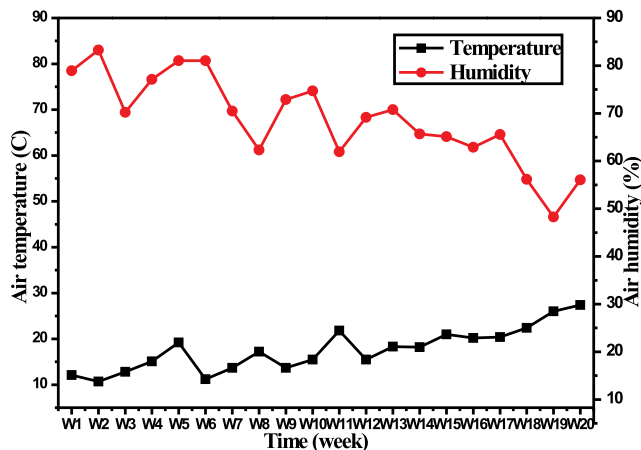
**RESULTS AND DISCUSSION**

**WEATHER CONDITIONS IN THE AREA**

**Air temperature**

The variation in average weekly air temperature, during the whole growth period of the plant, is presented in Figure 4. The figure shows that the average temperature fluctuations are random, which affects the quantity of water the plant needs. To attenuate these fluctuations of temperature and to ensure regular

and harmonious growth of crops, it seems that the integration of the smart irrigation system is the best solution. So, it was noted that the extreme values of average weekly temperatures have been 10.7°C in February and 27.4°C in June. The weather data indicated reasonable temperatures that were conducive to potato development.



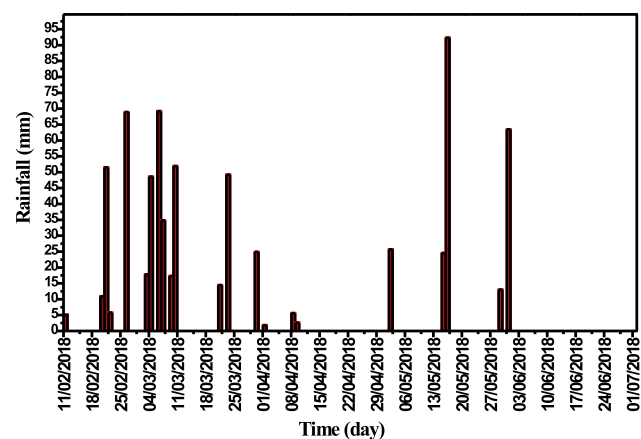
**Fig. 4.** Variation in the average weekly air temperature and air humidity during the growth period of the plant; source: own study

**Air humidity**

The relative humidity is the ratio of the amount of water actually contained in the air and its maximal absorption capacity at given temperature and pressure conditions. The weekly average relative humidity in the experimental station is shown in Figure 4. We can limit its variation between 46.6% and 83%. Therefore, it emerges that the monitoring of this parameter is of great importance. In addition, plant transpiration relates to the lowest relative humidity value. In this case, the smart irrigation system must intervene to meet the plant's need for water.

**Rainfall**

The evolution of rainfall between February 11, 2018, and June 21, 2018, is shown in Figure 5. It indicates that the rainfall is very irregular with a peak of 75 mm on May 17, 2018. We can find out that a major quantity of precipitations occurred during the months of February and March in the basin of the Chlef region.



**Fig. 5.** Variation in rainfall recorded over time, during the growth period of the plant; source: own study

MONITORING OF SOIL PARAMETERS

Soil temperature

Figure 6 presents the temperature evolution of the soil, at the depth of 15 cm, in the experimental station. It is noted that the minimum and maximum soil temperatures are in the range of 11 and 26.6°C, respectively. In addition, it is important to mention that the soil temperature can be correlated with climatic factors and topographic characteristics of the region. According to DUCHAUFU [1983], the weather has an important and direct influence on water in the soil, i.e. on its movements in the soil and its direct impact on vegetation. Water promotes the dissolution of organic matter to facilitate its absorption by plants to favourise the enzymatic reactions that are responsible for the development of tubers.

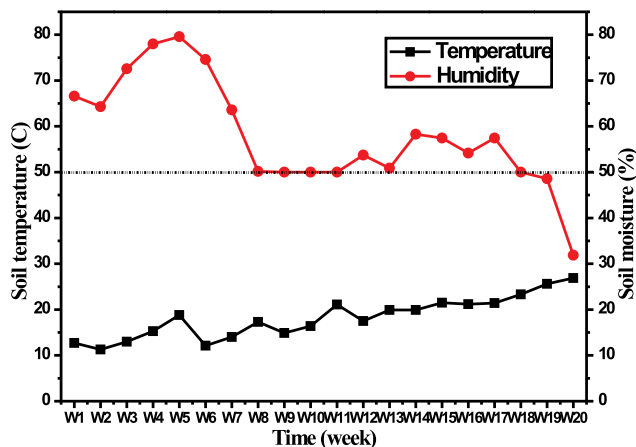


Fig. 6. Variation in the average weekly soil temperature and soil humidity, during the growth period of the plant (field capacity = 0.53, wilting point = 0.25); source: own study

Given the physicochemical properties of soil, DAJOZ [1971] indicated that under the effect of solar radiation, the soil layers accumulate more heat than the surrounding air. So, in Figure 6, the temperature difference recorded can be attributed principally to solar radiation.

Soil moisture

Figure 6 shows the average weekly soil humidity variations during the growth period of the plant. Indeed, water is an important factor that contributes to the physical, chemical, and biological phenomena that take place in soil. The soil moisture is a measure of the amount of water stored per unit of soil volume. Based on the physical properties of soil and those of liquid water, in Figure 6 we can note that the wet soil temperature is much weaker than that of the dry soil.

Beyond soil saturation, any additional water supply induces soil leaching, which results in the depletion of the organic matter in the soil, hence there is a need to amend the soil by adding more fertilisers for the purpose of having better crops. The presence of free water depends on the adsorption kinetic of the soil particles (adsorption isotherm). This observation allows distinguishing four different soil states [BRUAND *et al.* 1996; CHEIAKH 2018]:

- 1) water saturation state;
- 2) field capacity state;
- 3) wilting point (WP);
- 4) extra dry state.

It is worth noting that organic matter increases the water-holding capacity of soils. In times of drought, this would promote the trapping of a larger quantity of useful water in the soil. However, the high water retention capacity has a trend of slowing down the rate of soil drying and vice versa. In order to counteract the development of phytosanitary diseases (mildew, *Golovino-mycetes orontii*, etc.) during the rainfall period (March–June) when the weather is warm, it is highly recommended not to compromise the productivity yield by sprinkler irrigation.

However, we consider the drip irrigation as one of the best solutions to adopt.

COMPARATIVE RESULTS OF PLOTS

Evolution of vegetation

In each plot, the development of vegetation was monitored by taking into account the average size of stems throughout the crop cycle. We specify that the size of the plant is measured by means of a graduated ruler during its different phases of growth. Figure 7 shows the variation of average plant sizes every fifteen days.

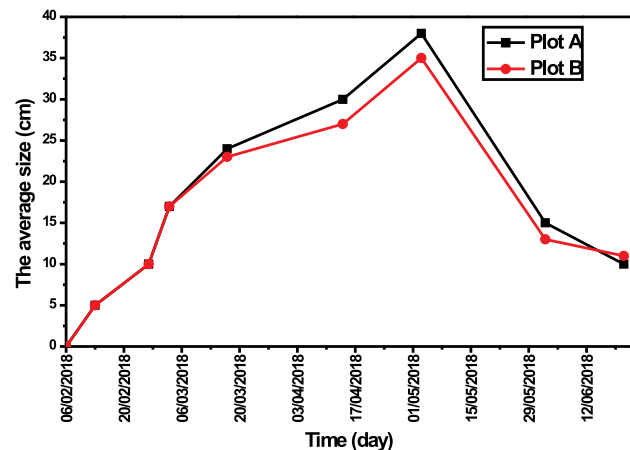


Fig. 7. Evolution of the average stem size of plants; source: own study

For each plot, the data were statistically processed to establish an own regression to variation of size versus the time without taking into account the wilting phase of the plant. Thus, an analysis of the variance table (Tab. 3, 4) is introduced to study the sensitivity of the model (cubic law) via the *P*-value which is very low compared to the significance level of 0.05. We found out that it was statistically identical for the two plots. Nevertheless, a slight difference in the two plots was observed after 45 days. Beyond this period, a stem size difference of 3 cm was observed in favour of plot A.

Table 3. Analysis of variance for the plot A

Source	DF	SS	MSE	F	P-value
Regression	3	1092.49	364.165	52.19	0.004
Error	3	20.93	6.978	–	–
Total	6	1113.43	–	–	–

Explanations: *DF* = degrees of freedom, *SS* = sum of squares, *MSE* = mean squared error, *F* = Fisher test statistic, *P*-value = probability value. Source: own study.

**Table 4.** Analysis of variance for the plot B

Source	DF	SS	MSE	F	P-value
Regression	3	901.289	300.430	44.13	0.006
Error	3	20.425	6.808	–	–
Total	6	921.714	–	–	–

Explanations: *DF*, *SS*, *MSE*, *F*, *P*-value as in Tab. 3.  
Source: own study.

With regard to irrigation, it is important to indicate that:  
– plot A was irrigated using the SIS according to rainfall, hygrometric soil parameters, etc.;

– plot B was irrigated with the frequency of every five days.

Ten days after the cessation of irrigation, a test on the firmness of the tuber skin was performed. Taking into account the ripening state and plants wilting, the tubers were manually harvested on the 130<sup>th</sup> day.

### Comparison of the productivity of the plots

The yields of the plots (drip irrigation and smart irrigation system) were compared. The results obtained are shown in Figure 8, which highlights that the productivity of plot A is greater than that of plot B. Indeed, relatively to seeds, the tuber yields were 535% for plot A and 428% for plot B. Therefore, we conclude that it is strongly recommended to use smart irrigation systems that have a positive impact on crop yields.

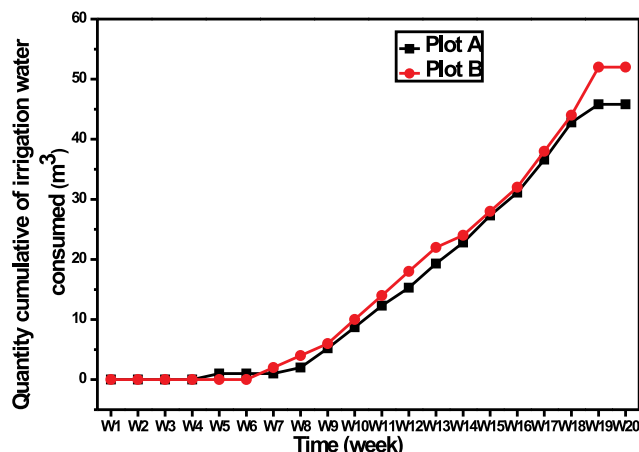


**Fig. 8.** Comparative analysis of the weight of tubers in the two land plots; source: own study

### Comparison of water consumption

It is worth recalling that many varieties of potato, developed recently, are more sensitive to soil water deficit and need frequent and shallow irrigation. Figure 9 shows a comparison between the cumulative consumption of irrigation water in both plots. It is clearly noted that the smart irrigation system consumes less water for potato production, with a significant yield. The smart irrigation system, designed in this framework, is able to detect the daily needs of water for plants without being obliged to displace it to the site.

A comparative analysis between the plots, based on water consumption and yields, allowed stating that the smart irrigation system is more performant than the drip irrigation system.



**Fig. 9.** Comparison of water consumption in the two plots during the plant growth period; source: own study

## CONCLUSIONS

Agriculture’s need for irrigation water continues to increase with the growth of the population. Taking into account the locality of the cultivation area, we focused on the analysis of the performance of drip irrigation systems. In this study, a smart irrigation system, coupled with the traditional drip system, was developed for the equilibrated growth of crops (potato) in the Chlef area. The configuration of the smart irrigation system was designed on the basis of data specific to the parameters in relation to the characteristics of the plant on the one hand and to the pedological properties of the local soil (permeability, pH, humidity, porosity, etc.) on the other hand, without neglecting the meteorological factors of the area.

The good control of the parameters has ensured a harmonious growth of the plant in its different stages. In this sense, the management of water needs is dependent on soil moisture as a setpoint varying over an interval between 50 and 60%.

During the vegetation of the potato, we ensure rigor and sufficient precision of the smart irrigation system in terms of water consumption resulting in a saving of 10 to 13% compared to the traditional drip irrigation system.

In terms of the quality of the produced tubers, we note that tubers’ size follows an almost uniform distribution (average = 50 mm) with a yield of 124.83% compared to the traditional irrigation system. It is quite clear that the developed process is suitable for different regions characterised by a water deficiency and in arid coastal areas particularly.

In this last case, we intend to exploit the seawater humidification–dehumidification process developed in 2009 by Tahri *et al.* with a view to adapting the smart irrigation system for efficient management of the agricultural needs of these areas in order to ensure self-sufficiency in the water supply for irrigation.

## REFERENCES

AL-GHOBARI H.M., MOHAMMAD F.S. 2011. Intelligent irrigation performance: evaluation and quantifying its ability for conserving water in arid region. *Applied Water Science*. Vol. 1 p. 73–83. DOI 10.1007/s13201-011-0017-y.

- BRUAND A., DUVAL O., GAILLARD H., DARTHOUT R., JAMAGNE M. 1996. Variabilité de rétention en eau des sols: Importance de la densité apparente [Variability of soil water retention: Importance of bulk density]. *Etude des gestions des sols*. Vol. 3(1) p. 27–40.
- CAPRARO F., SCHUGURENSKY C., VITA F., TOSETTI S., LAGE A., PATIÑO D. 2008. Intelligent irrigation in grapevines: A way to obtain different wine characteristics. [17th FAC World Congress]. [6–11 July 2008 Seoul, Korea].
- CHEIAKH M.O. 2018. Valorisation des déchets de palmier dattier, étude de leurs effets sur quelques paramètres physico-chimiques du sol, région de Biskra [Valorization of date palm waste, study of their effects on some physicochemical parameters of the soil, Biskra region]. MSc Thesis. Biskra University.
- DAJOZ R. 1971. Précis d'écologie [Precise ecology]. 2<sup>nd</sup> ed. Paris. Dunod. ISBN 9782040005290 pp. 434.
- DASSANAYAKE D.K., DASSANAYAKE H., MALANO G.M., DUNN DOUGLAS P., LANGFORD J. 2009. Water saving through smarter irrigation in Australian dairy farming: Use of intelligent irrigation controller and wireless sensor network. [18<sup>th</sup> World IMACS/MODSIM Congress]. [2009 Cairns, Australia] p. 4409–4417.
- DAVIS S.L., DUKES M.D. 2016. Importance of ET controller program settings on water conservation potential. *Applied Engineering in Agriculture*. Vol. 32(2) p. 251–262. DOI 10.13031/aea.32.11182.
- DJAAFOR N. 2019. État des lieux de la filière pomme de terre dans la région d'El Oued [State of play of the potato sector in the region of El Oued]. MSc Thesis. Eloued University pp. 129.
- DUCHAUFOR P. 1983. Pédologie 1: Pédogénèse et classification [Pedology 1: Pedogenesis and classification]. Eds. M. Bonneau, B. Souhier. Paris. Masson. ISBN 2-225-79673-4 pp. 491.
- FAO 2015. Profil de pays – Algérie [Country profile – Algeria]. FAO AQUASTAT rapports. [online]. Rome. Food and Agriculture Organization of the United Nations pp. 18. [Access 16.06.2021]. Available at: <http://www.fao.org/3/i9861fr/19861FR.pdf>
- ISERMAN R., LACHMANN K., MATKO D. 1992. Adaptive control systems. Hemel Hempstead. Prentice Hall International. ISBN 978-0-13-005414-2 pp. 541.
- LAHOUEL Z. 2015. Etude diagnostique de la filière pomme de terre dans la région de Tlemcen, Cas de deux fermes pilotes: Hamadouche et Belaidouni [Diagnostic study of the potato sector in the Tlemcen region, case of two pilot farms: Hamadouche and Belaidouni]. MSc Thesis. Tlemcen University pp. 95.
- LOZANO D., MATEOS L. 2007. Usefulness and limitations of decision support systems for improving irrigation scheme management. *Agriculture Water Management*. Vol. 95(4) p. 409–418. DOI 10.1016/j.agwat.2007.11.003.
- MCCREADY M.S., DUKES M.D., MILLER G.L. 2009. Water conservation potential of smart irrigation controllers on St. Augustinegrass. *Agriculture Water Management*. Vol. 96(11) p. 1623–1632. DOI 10.1016/j.agwat.2009.06.007.
- MÉNDEZ-BARROSO L.A., PAYÁN J.G., VIVONI E.R. 2008. Quantifying water stress on wheat using remote sensing in the Yaqui Valley, Sonora, Mexico. *Agriculture Water Management*. Vol. 95(6) p. 725–736. DOI 10.1016/j.agwat.2008.01.016.
- MERRIAM J.L., KELLER J. 1978. Farm irrigation system evaluation: A guide to management. 3<sup>rd</sup> ed. Logan. Utah State University. ISBN 9780317347791 pp. 130.
- MICHAEL D., DUKES M.D. 2008. Water conservation potential of smart irrigation controllers. [5<sup>th</sup> National decennial irrigation conference proceedings]. [2008 Phoenix convention center, USA].
- MUN S., SASSENATH G., SCHMIDT A., LEE N., WADSWORTH M., RICE B., CORBITT J., SCHNEIDER J., TAGERT M., POTE J., PRABHU R. 2015. Uncertainty analysis of an irrigation scheduling model for water management in crop production. *Agriculture Water Management*. Vol. 155 p. 100–112. DOI 10.1016/j.agwat.2015.03.009.
- MUÑOZ-CARPENA R., DUKES M.D. 2005. Automatic irrigation based on soil moisture for vegetable crops [online]. Extension Bul. Department of Agricultural and Biological Engineering. Florida, USA. University of Florida. [Access 18.03.2019]. Available at: <http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/FILES/AE/AE35400.pdf>
- MUÑOZ-CARPENA R., LI Y., OLCZYK T. 2003. Alternatives for low cost soil moisture monitoring devices for vegetable production in the south Miami-Dade County agricultural area [online]. Fact Sheet ABE 333 of the Department of Agriculture and Biological Engineering. Florida, USA. University of Florida. [Access 16.06.2021]. Available at: <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/5CAE%5CAE23000.pdf>
- NAUTIYAL M., GRABOW G., MILLER G., HUFFMAN R.L. 2010. Evaluation of two smart irrigation technologies in Cary, North Carolina. [An ASABE Meeting Presentation, Paper Number: 1009581]. [2010 David L. Lawrence Convention Center, Pittsburgh. Pennsylvania, USA]. DOI 10.13031/2013.29936.
- NORUM M.N., ADHIKARI D. 2009. Smart irrigation system controllers. [7th World Congress on computers in agriculture conference proceedings]. [2009 Reno, Nevada]. DOI 10.13031/2013.29041.
- PLAYAN E., MATEOS L. 2006. Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. *Agriculture Water Management*. Vol. 80 p. 100–116. DOI 10.1016/j.agwat.2005.07.007.
- REMINE B. 2010. La problématique de l'eau en Algérie [The problem of water in northern Algeria]. *Larhyss Journal*. Vol. 8 p. 27–46.
- SMARSLY K. 2013. Agricultural ecosystem monitoring based on autonomous sensor systems. [Second International Conference on Agro-Geoinformatics]. [12–16 August 2013. Fairfax, Virginia, USA] p. 402–407. DOI 10.1109/Argo-Geoinformatics.2013.6621952.
- TAHRI T., ABDUL-WAHAB S.A., BETTAHAR A., DOUANI M., AL-HINAI H., AL-MULLA Y. 2009a. Simulation of the condenser of the seawater greenhouse. Part I: Theoretical development. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. Vol. 96 p. 35–42. DOI 10.1007/s10973-008-9835-z.
- TAHRI T., ABDUL-WAHAB S.A., BETTAHAR A., DOUANI M., AL-HINAI H., AL-MULLA Y. 2009b. Simulation of the condenser of the seawater greenhouse. Part II: Application of the developed theoretical model. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. Vol. 96 p. 43–47. DOI 10.1007/s10973-008-9915-0.
- ZELLA L., SMADHI D. 2007. Evolution de l'irrigation [Evolution of irrigation] [online]. *Larhyss Journal*. Vol. 6 p. 65–80. [Access 16.06.2021]. Available at: [http://www.webreview.dz/IMG/pdf/6.Zella\\_et\\_al.pdf](http://www.webreview.dz/IMG/pdf/6.Zella_et_al.pdf)
- ZHANG X., ZOU H., ZHANG N., LI Y., YANG Y. 2013. The research and applications of agricultural automation based on Internet of things. *WIT Transactions on Information and Communication Technologies*. Vol. 46 p. 111–119. DOI 10.2495/isme130151.