

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة جيلالي بونعاما  
Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana  
Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre  
Département des Sciences Agronomiques



## *Mémoire de fin d'études*

En vue de l'obtention de diplôme de **Master**

**Domaine: Sciences de la Nature et de Vie**

**Filière: Sciences agronomiques**

**Spécialité: Aménagements Hydro-agricole**

### **Thème**

# **Suivi de l'humidité du sol sous un système agro-photovoltaïque -Le cas de la culture de la pomme de terre -**

*Présenté par :*

***Ouhemna Feth Ezhar  
Boutareg Fatiha***

*Encadré par:*

***Mr. Sami Touil***

*Devant le jury :*

<b>Mr. Imessaoudene yacine</b>	MAA	Président	(U.D.B Khemis Miliana)
<b>Mr. Sami Touil</b>	MCA	Promoteur	(U.D.B Khemis Miliana)
<b>Mme. Richa Amina</b>	MCA	Co-promoteur	(U.D.B Khemis Miliana)
<b>Mr. Merrouche Abdelkader</b>	MCA	Examineur	(U.D.B Khemis Miliana)

**Année universitaire : 2021-2022**

# Remerciements

. Merci

Tout d'abord, nous remercions Dieu Tout-Puissant de nous avoir permis d'atteindre ce niveau. Nous adressons nos sincères remerciements et notre appréciation à notre encadrant, Mr JOUILLI Sami et Mme RSCKA

Amina

Qui nous soutient depuis le début de notre parcours, et qui a mis toute sa confiance compris les enseignants du Département des sciences agronomique en général, notre et de spécialité aménagement Hydro-agricole en particulier pour mentionner. Abdessalam, Mr Merrouche, Mme Maten, Mme Karahacane, Mme Bouaichi, Mr Smessaoudane, Mr Ratiat. notre remerciements sont également Mme Wissam et Laila et M. Elias

tous les partenaires du projet WATERMED4.0/Prima, merci de nous avoir donné l'occasion de faire partie d'un projet de recherche et d'innovation d'excellence

Merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la préparation de ce mémoire qui, nous l'espérons, sera du niveau requis.

# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à*

*Ma mère, mon père, Qu'ils trouvent en moi la source de leur fierté*

*À qui je dois tout*

*Mes sœurs et Mon frère*

*Toute la promotion d'aménagement hydroagricole*

*Et en fin à ceux qui sont présents dans mon cœur*

*Felth ezhar*

# Dédicace

*À Dieu Tout-Puissant de le protéger de sa naissance à nos jours.*

*À celui qui m'a toujours nourrie d'amour et de tendresse, et à qui, grâce à ses encouragements, Son soutien, sa compréhension et surtout son affection ont réussi à avancer dans la vie. Univers Très cher à mon cœur, mon très cher père. À celle qui m'a toujours encouragé "à sa façon", et qui m'a appris à ne jamais se faire De contenter d'un minimum donc dans les études comme dans la vie il faut persévérer Atteindre ses objectifs m'a appris la scif scientifique et le patriotisme, la pomme de mon pays Les yeux de ma chère maman. À mes frères et sœurs. À mon mari qui m'a soutenue dans mon travail et m'a encouragée À toute ma famille et à la respectable famille de mon mari. À tous les camarades de classe, Tous mes amis, À tous ceux qui me sont chers. Dieu vous bénisse*

*Fatiha*

## Liste Des Abréviations

**APV** : Agro-Photovoltaïque Système.

**PV** : Photovoltaïque.

**FAO** : Food and Agriculture Organization

**DSA** : Direction Des Services Agricoles

**ANRH** : Agence Nationale Des Ressources Hydriques.

**NOAA** : National Oceanic and Atmospheric Administration

**ONID** : Office National De l'Irrigation Et Du Drainage.

**PDT** : Pomme De Terre

**ITCF** : institut technique des céréales et des fourrages

**INPV** : institut nationale de la protection des végétaux

**OPEC** : Organisation des pays exportateurs de pétrole

**PH** : Potentiel Hydrogène

**P**: Précipitations

**Moy** : Moyenne

**C°** : Degré Celsius

**s** : Seconde

**mS** : milli Siemens

**m<sup>3</sup>**: Mètre Cube

**m** : Mètre

**mm** : Millimètre

**MES**: Matière En Suspension

**Dr** : densité réelle.

**P** : la porosité

**Kc** : Le coefficient de culture.

**ETP** : Evapotranspiration potentielle.

**ETR** : Evapotranspiration réelle.

**ETM** : Evapotranspiration maximale.

**T** : température (°C).

**T max** : température maximale (°C).

**T min** : température minimale (°C).

**H (%)** : Humidité relative de l'air (%).

**Pe<sub>eff</sub>** : la pluie efficace.

**B<sub>brut</sub>** : besoins en eau brut.

## Liste des figures

Figure01 : Pomme de terre en croissance sous une installation APV en Allemagne (Université de Hohenheim, année ,2019).....	7
Figure 02 : Panneaux solaires fixes au-dessus des cultures (producteur de framboises 2019 en ALBERS et GROENLEVENS) .....	8
Figure 03: Agrovoltaïque dynamique :(2004 au dessus des rizières EN JAPON).....	9
Figure04 : Panneau solaire Bifacial (COMPLET 2022 MON KIT solaire).....	11
Figure 05 : Défférents types de générateurs photovoltaïques .....	13
Figure 06 : Plante de la pomme de terre.....	20
Figure 07 : Caractéristiques morphologiques de la pomme de terre (Bernhardt,1998) .....	22
Figure 08 : cycle végétatif de la pomme de terre (Moëgne,2008) .....	23
Figure 09 : Evaluation de la production de la pomme de terre de1996 a 2007 (source FAOSTAT).....	25
Figure 10 : Evolution de la production de pomme de terre (2000-2017).....	26
Figure 11 : Situation géographique de la zone d'étude (Gharbi.B,2014).....	37
FigureN°13: Réseau hydrographique de la Plaine d'El Khemis .....	40
FigureN°14 : Variation des précipitations moyennes annuelles de la station de Barrage Harraza (1988-2018) .....	43
Figure N°15 : variation de la température moyenne mensuelle de la station de Barrage Harraza (1988-2018) .....	44
Figure N°16 : Evaporation moyenne mensuelle (1988-2018) .....	45
Figure N°17 : Variation de vitesse moyenne mensuelle du vent au niveau de la station de Barrage de Harraza (1988-2018).....	45
FigureN°18 : Diagramme de Gausse pour la plaine d'El Khemis. ....	46
Figure 19 : Localisation de la parcelle d'étude (Google Earth, 2022) .....	49
Figure 20: Plan du système APV (WATERMED 4.0 projet .2021) .....	50
Figure N°21: Matériels utilisée dans l'installation des panneaux solaire et local techniques..	50
Figure N°22 : matériels utilisée pour laboure du sol .....	51
Figure 23 : Bassin d'irrigation avec une pompe.....	52
Figure 24: Schéma représentatif du bloc aléatoire. ....	53
Figure 25: Prélèvement des échantillons Des sols à l'aide d'une tarière.(Ouhemna et Boutareg 2022).....	54
Figure 26: Suivi de l'état hydrique du sol par TDR.(Ouhemna et Boutareg 2022) .....	54
Figure 27 : Suivi de la croissance végétative .(Ouhemna et Boutareg 2022) .....	55

Figure 28: Analyse granulométrique avec pipette de Robinson.(Ouhemna et Boutareg 2022)	58
Figure 29: Dosage de pH.(Ouhemna et Boutareg 2022)	61
Figure 30 : Dosage de la matière organique.(Ouhemna et Boutareg 2022)	62
Figure 31 : Mesure de potassium et sodium par photomètre a flamme .	64
Figure 32 : Triangle de texture UDSA	67
Figure 33: Evolution de l'humidité du sol (Carré témoin)	72
Figure34 : Evolution de l'humidité du sol (Carré APV).	73
Figure 35 : Évolution de l'humidité du sol a 20 cm de profondeur dans le témoin et APV ....	73
Figure 36: Évolution de l'humidité du sol a 40 cm de profondeur dans le témoin et APV .....	74
Figure 37: Évolution de nombre des feuilles dans le témoin et le APV	75
Figure 38: Évolution de la hauteur du plant dans le témoin et le APV	76
Figure 39: Évolution de Nombre de ramifications par plant dans le témoin et le APV	77
Figure 40: Apparition des maladie(Ouhemna et Boutareg)	77

### Liste des tableaux :

Tableau 01: Evolution de la production, de la population, de la consommation, wilayas excédentaires et wilayas déficitaires (année 2017) .....	27
Tableau02 :principales maladies de la pomme de terre (BERNHARDS, 1998).....	34
Tableau 03:Réseau hydrographique de la plaine de Khemis-Miliana.....	39
Tableau 04 : comportement hydrogéologique des différentes formations de la plaine du Haut Cheliff (Ikhlef S,2005). .....	41
Tableau 05: Répartition de la population de Khemis Miliana.....	41
Tableau06 : Taux d'accroissement de la population.....	42
Tableau 07: Précipitations moyennes annuelles de Khemis Miliana (1988-2018).....	42
Tableau 08 : Températures extrêmes et moyennes mensuelles en °C (1988-2018).....	43
Tableau 09 : Evaporation moyenne mensuelle en mm (1988-2018) .....	44
Tableau 10 : Précipitations et températures moyennes mensuelles de la station de Barrage Harraza (1998-2018) .....	46
Tableau 11 : Caractéristique de la parcelle d'étude. ....	49
Tableau 11: Répartition des différents types de textures en fonction de diamètre des particules. ....	58
Tableau 12. Norme d'interprétation de la porosité (mémento d'agronomie, 1993).....	59
Tableau 14 : Echelle de classification du pH de la solution du sol .....	61
Tableau15 : Norme d'interprétation de la matière organique (méthode Anne ISO 10693).....	62
Tableau 17: Interprétation de SAR.....	65
Tableau 17 :densité apparente et de porosité.....	68
Tableau 18 : Résultats de pH et CE.....	69
Tableau 19 : Résultat de matière organique. ....	69
Tableau 20 : Résultats des analyses des sols avant fertilisation.....	70
Tableau 21 : Résultats des analyses des sols après fertilisation .....	70
Tableau 22 : Résultats des analyses de l'eau d'irrigation .....	70
Tableau23 : Evapotranspiration de référence .....	71
Tableau24 : Evolution de la longueur (Rameau + Feuille) en cm dans le témoin et le APV. .	74
Tableau 25 : Evolution du nombre de feuilles par plant dans le témoin et le APV .....	74
Tableau26 : Évolution de la hauteur du plant dans le témoin et le APV : .....	75
Tableau27 : Évolution de Nombre de ramifications par plant dans le témoin et le APV .....	76

## Table des matières

<b>Liste Des Abréviations .....</b>	<b>5</b>
<b>Liste des figures .....</b>	<b>6</b>
<b>Liste des tableaux : .....</b>	<b>8</b>
<b>Table des matières .....</b>	<b>9</b>
<i>Introduction générale : .....</i>	<i>1</i>
<b>Chapitre I: Système Agro-Photovoltaïque (APV)</b>	
<i>1-Impact de l'embargo sur l'état hydrique du sol .....</i>	<i>4</i>
<i>1-1-Notion d'humidité du sol .....</i>	<i>4</i>
<i>1-1-1-Définition .....</i>	<i>4</i>
<i>1-1-2-Enjeux de la connaissance de l'humidité du sol .....</i>	<i>4</i>
<i>1-1-3-Facteurs influençant l'humidité du sol .....</i>	<i>4</i>
<i>1-1-4-Influence du climat sur l'humidité du sol .....</i>	<i>4</i>
<i>1-1-5- Influence de la topographie sur l'humidité du sol .....</i>	<i>5</i>
<i>1-1-6-Influence de la couverture végétale sur l'humidité du sol .....</i>	<i>5</i>
<i>1-1-7- Influence de la structure sur l'humidité du sol .....</i>	<i>6</i>
<i>1-1-8-Influence de la Texture sur l'humidité du sol .....</i>	<i>6</i>
<i>1-1-9- Influence de la matière organique sur l'humidité du sol .....</i>	<i>6</i>
<i>3-Définition d'Agro-photovoltaïque .....</i>	<i>7</i>
<i>2-Historique d'APV .....</i>	<i>7</i>
<i>4-Configuration des dispositifs agrivoltaïques .....</i>	<i>8</i>
<i>4-1-Panneaux solaires fixes au-dessus des cultures .....</i>	<i>8</i>
<i>4-2-Agrivoltaïque dynamique .....</i>	<i>9</i>
<i>4-3-Panneaux bifaciaux .....</i>	<i>10</i>
<i>4-4-Autres approches .....</i>	<i>12</i>
<i>5-Avantages de l'agrophotovoltaïque .....</i>	<i>12</i>
<i>6-Défférents types de générateurs photovoltaïques .....</i>	<i>13</i>
<i>6-1-Panneau solaire polycristallin .....</i>	<i>13</i>
<i>6-1-1-Avantages .....</i>	<i>13</i>
<i>6-1-2-Inconvénients .....</i>	<i>13</i>
<i>6-2-Panneau solaire monocristallin .....</i>	<i>14</i>
<i>6-2-1-Avantages .....</i>	<i>14</i>
<i>6-2-2-Inconvénients .....</i>	<i>14</i>
<i>6-3-Silicium amorphe .....</i>	<i>14</i>

6-3-1- avantages.....	14
6-3-2 inconvénients.....	14
7-Principe d'une cellule photovoltaïque .....	15
8-La relation entre la production photovoltaïque et la production agricole .....	15
9-L'effet de la pente des panneaux photovoltaïques sur le sol .....	15
10-Effets des panneaux solaires sur les eaux de surface.....	16
Conclusion.....	16

## **Chapitre II: Pomme De Terre**

1-Présentation et origine de la pomme de terre.....	18
1-1 Présentation de la pomme de terre.....	18
1-2 -La culture de la pomme de terre dans le monde .....	18
1-3-En Algérie .....	18
1-4- Dans la wilaya d'Ain Defla.....	19
2-Botanique et taxonomie.....	19
3-Morphologie de la plante.....	21
3-1- Partie aérienne.....	21
4-Cycle de développement.....	22
4-1-Repos végétatif.....	23
4-2- Germination .....	23
4-3- Phase de croissance .....	23
4-4- Tubérisation .....	24
4-5- La maturation des tubercules.....	24
5- La production de la pomme de terre.....	24
5-1-Dans le monde.....	24
5-2-En Algérie .....	25
6-Exigences écologiques de la pomme de terre .....	27
6-1- Exigences climatiques.....	27
6-1-1-Température.....	27
6-1-2- La lumière.....	28
6-1-3-L'humidité.....	28
6-2-Exigences édaphiques .....	28
6-2-1-La structure et texture du sol.....	28
6-2-2- pH .....	28

6-2-3-salinité .....	28
6-3- Exigences hydriques.....	29
6-4- Exigences en éléments fertilisants.....	29
7-Irrigation .....	30
7-1-Dose d'irrigation.....	30
7-2-Fréquence d'irrigation.....	31
7-3- Qualité de l'eau d'irrigation.....	31
8-Utilisation de la pomme de terre.....	31
8-1-Sur le plan alimentaire.....	31
8-2-Sur le plan nutritionnel .....	31
8-3-Sur le plan médicamenteux .....	32
9-Importance économique.....	32
9-1- Dans le monde.....	32
9-2- En Algérie .....	32
10-Les maladies et les ennemis de la pomme de terre .....	33

### **Chapitre III: Milieu Physique**

1-Présentation générale de la zone d'étude .....	37
1-1-Situation géographique .....	37
1-2-Contexte pédologique.....	38
1-3-Population et démographie .....	38
1-4-Topographie et relief.....	39
1-5-Réseaux Hydrographique .....	39
1-6- Géologie et hydrogéologie.....	40
1-6-1-Géologie.....	40
1-6-2-Hydrogéologie .....	40
1-7-Situation démographique .....	41
1-8-Situation climatique .....	42
1.8.1. Le Climat .....	42
Conclusion.....	47

### **Chapitre IV: Matériel Et Méthodes**

1-Présentation du site expérimental (site d'étude).....	49
2-Installation des panneaux solaires.....	49
2-1- Préparation de terrain.....	51
2-2-Choix de système d'irrigation à installer.....	51

2-3-Alimentation du bassin d'irrigation .....	51
2-5-Choix de culture.....	52
3-Calcul des besoins en eau des cultures .....	52
4-Dispositif expérimental .....	52
4-1-Plantation.....	52
4-2- fertilisation.....	52
5-Présentation du protocole expérimental .....	53
5-1-Explication du bloc aléatoire.....	53
6-Echantillonnage .....	53
7-Suivi de l'état hydrique du sol :.....	54
8-Suivi des caractéristiques morphologiques : .....	54
9-Contrôle visuel des cultures :.....	55
10-Analyses physiques-chimiques du sol.....	55

## **Chapitre V: Résultats Et Discussions**

1. Caractérisation du sol de la parcelle .....	67
1.1 Résultats des analyses physiques.....	67
1.1.1. Granulométrie .....	67
1.1.2. Densité apparente ( $D_a$ ) et porosité .....	67
1.2. Résultat des analyses chimiques.....	69
1.2.1. pH et conductivité électrique .....	69
1.2.2 Matière organique .....	69
1.2.3.Résultats des analyses des sols avant fertilisation .....	70
2.Résultats des analyses de l'eau d'irrigation.....	70
3.Calcul des besoins en eau des cultures et des besoins en eau d'irrigation :.....	71
4.Suivi de l'état hydrique du sol .....	71
5. Evolution de la croissance végétative : .....	74
6. Contrôle visuel : .....	77
7. paramètres de croissance : .....	78
8. Rendement .....	79
Conclusion.....	79
Conclusion générale :.....	81
Références bibliographiques .....	83

## Résumé

Le but de ce travail est de suivre l'effet du système photovoltaïque sur l'humidité du sol pour les pommes de terre. L'humidité du sol et le rendement du sol ont été affectés, et nous avons remarqué qu'il y a un effet des panneaux solaires sur l'humidité du sol afin qu'elle soit élevée à l'ombre des panneaux solaires.

**Mots-clés :** photovoltaïque, humidité, ombrage, pommes de terre

## Abstract

The aim of this work is to track the effect of the photovoltaic system on soil moisture for potatoes. Solar affected soil moisture and yield, and we noticed that there is an effect of solar panels on soil moisture so that it is high under the shade of solar panels.

**Keywords:** photovoltaic, humidity, shading, potatoes

## الملخص

الهدف من هذا العمل هو تتبع تأثير نظام الكهروضوئي على رطوبة التربة بالنسبة للبطاطا، حيث قمنا في عملنا هذا بدراسة مختلف تغيرات التي تطرأ على النبتة مورفولوجيا و فيسيولوجيا وكيميائيا بالنسبة لكل من الزراعة تحت الألواح الشمسية والزراعة العادية، لاحظنا أن النتائج التي تم الحصول عليها إلى أن الألواح الشمسية أثرت على رطوبة التربة والمردود ولاحظنا انه هناك تأثير للألواح الشمسية على رطوبة التربة بحيث تكون مرتفعة تحت ظل الالواح الشمسية.

**الكلمات المفتاحية:** الكهروضوئي، الرطوبة، التظليل، البطاطا

# **Introduction générale**

## **Introduction générale**

---

### **Introduction générale :**

Production dans l'économie varient selon la pensée économique dominante. Dans sa définition du concept de production, la pensée économique antique se réfère à toute activité humaine qui se pratique dans l'activité agricole, sauf que la doctrine de la physiocratie en est venu à le définir comme suit : L'activité humaine pratiquée dans le but de créer un produit matériel pur tel qu'il est, c'est le cas de la production agricole.(Al Hiyari 2018)

L'économiste (Smith 2018) a indiqué que la production : est un ensemble d'efforts et d'activités pratiqués par l'homme dans le but d'obtenir et de créer des fonds matériels, et cette définition inclut les produits agricoles et industriels. Enfin, on peut définir la production comme : ce produit matériel résultant d'un ensemble de pratiques qui conduisent aux fins de créer un bénéfice, qu'il soit matériel ou moral, qui n'a pas de précédent, ou d'augmenter un certain montant de bénéfice à un bénéfice préexistant .(Al Hiyari 2018)

Le réchauffement climatique et les changements climatiques ont des implications majeures pour l'agriculture, affectant les écosystèmes et les avantages qu'ils procurent aux sociétés. Cela affecte de plus en plus la production végétale et animale, les ressources agricoles en sols et en eau et la sécurité alimentaire. Les techniques nucléaires et isotopiques jouent un rôle essentiel dans l'évaluation des impacts du changement climatique.(IAEA-FAO 1999-2022)

La chaîne de valeur agricole et alimentaire consomme 30 % de l'énergie disponible. L'énergie est essentielle dans la production de cultures, de poissons, de bétail et de produits forestiers, dans le stockage et la transformation des aliments, dans le transport et la distribution des aliments et, bien sûr, dans la préparation des aliments.(FAO 2021)

Bien que la disponibilité des combustibles fossiles ait contribué de manière significative à rendre la nourriture disponible dans le monde, ces sources d'énergie sont limitées et causent généralement des problèmes environnementaux.(FAO 2021)

Solaire coûtera moins cher que les combustibles fossiles, l'installation sera un peu chère mais une fois que vous aurez récupéré le montant investi, l'énergie que vous aurez utilisée sera gratuite, c'est-à-dire que vous pourrez obtenir l'énergie complètement gratuit, en plus de cela, il existe maintenant de nombreuses entreprises qui fournissent aux agriculteurs les installations nécessaires pour démarrer cette étape sans crainte ni anxiété.(Th. Bid yalakshimi Deri ,2018)

Dans le cadre des efforts visant à promouvoir l'utilisation des énergies renouvelables en Algérie et à les intégrer dans diverses activités agricoles, le ministère de l'Agriculture et du

## **Introduction générale**

---

Développement rural a signé une convention de coopération avec le Bureau national d'études sur le développement rural « Bnider ».

La convention a été signée par le gouverneur des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, le professeur Nouredine Yasa , et le directeur général de l'Office national des études sur le développement rural, le représentant du ministre de l'agriculture et du développement rural au conseil d'administration du gouvernorat, Khaled ben Mohammed.

L'accord de coopération vise à préparer des études conjointes pour promouvoir l'utilisation des énergies renouvelables en Algérie, et à les intégrer dans les différentes activités d'agriculture, de pâturage et d'élevage.

Il vise également à promouvoir et à vulgariser l'utilisation des applications des énergies renouvelables dans le secteur agricole, notamment en ce qui concerne le pompage solaire de l'eau, la géothermie, le chauffage et l'éclairage solaires.

L'objectif de notre travail qui aborde le concept « Agro photovoltaïque » et l'effet de l'ombrage photovoltaïque sur l'humidité du sol.

Pour répondre à ce objectif, le présent mémoire s'articule autour de 5 chapitres :

- ✓ Un premier chapitre le système agrophotovoltaïque.
- ✓ Le deuxième chapitre la pomme de terre.
- ✓ Le troisième chapitre présentation de la zone d'étude.
- ✓ Le quatrième chapitre la méthode de travail.
- ✓ Le cinquième chapitre les résultats obtenus et l'interprétation.

**Chapitre I**

**Systeme Agro Photo**

**Voltaire (APV)**

**1-Impact de l'embargo sur l'état hydrique du sol****1-1-Notion d'humidité du sol****1-1-1-Définition**

Il existe dans la littérature plusieurs définitions de l'humidité. En effet la quantité d'eau contenue entre les particules du sol dans la zone non saturée des surfaces continentales est appelée l'humidité du sol (Truong, 2010) et Selon Thanh (2002) l'humidité du sol est l'eau évaporable contenue dans la portion de sol se trouvant au-dessus de la nappe libre.

**1-1-2-Enjeux de la connaissance de l'humidité du sol**

L'humidité constitue une variable fondamentale dans plusieurs disciplines des sciences de l'environnement, telles que l'agronomie, l'hydrologie, la météorologie et l'hydrogéologie. Sa connaissance précise est un élément clé pour surveiller la croissance de la végétation, prédire la production agricole, améliorer la gestion des ressources en eau; mieux comprendre les processus de transferts d'eau et de chaleur dans l'interaction entre surfaces continentales et l'atmosphère (Truong, 2010).

**1-1-3-Facteurs influençant l'humidité du sol**

L'humidité du sol dépend d'un ensemble de facteurs. Elle est influencée par le climat, le sol ainsi que le mode d'occupation du sol (Eilers, 1991). Le climat fait référence au bilan hydrique de la zone étudiée. En ce qui concerne le sol, on y inclut les propriétés physiques du sol qui ont une influence sur la vitesse et la direction de l'eau et le temps de saturation. Pour le mode d'occupation, on fait référence aux effets des diverses pratiques agricoles sur la relation entre l'eau et le sol (Eilers, 1991).

**1-1-4-Influence du climat sur l'humidité du sol**

L'apport d'eau en agriculture est fortement basé sur les précipitations. Toute l'eau des précipitations n'atteint pas le sol. Une partie de l'eau est évaporée pendant et après la pluie, les gouttes d'eau peuvent être interceptées en partie par le feuillage. L'eau qui atteint le sol ruisselle, s'infiltré et l'humidifie. S'il y a présence de végétation, les racines absorbent l'eau que la tige et les feuilles évaporent par transpiration. Un sol saturé en eau présente un excès d'humidité sous forme de mares d'eau ou inondation.

### **1-1-5- Influence de la topographie sur l'humidité du sol**

La topographie influence la variabilité spatiale de l'humidité de surface des sols. En effet, on peut observer qu'en haut de pente, l'humidité de surface est normalement plus faible et que plus on se dirige vers le bas, plus l'humidité est élevée (Pater et McReynolds, 2005). Ce phénomène est dû au ruissellement ainsi qu'à l'écoulement hypodermique et souterrain le long du gradient de pente. De plus, on peut associer à ce processus un déplacement de particules, plus particulièrement celles de petite taille comme l'argile et le limon fin, qui s'accumulent au bas de la pente. Ces particules sont facilement compactables, ce qui entraîne une diminution de la porosité, une augmentation de la densité du sol et affecte la teneur en humidité du sol (NRCS, 1996).

Ce gradient de pente entraîne également une différence dans l'évolution des sols (Lafond, 1992).

Ainsi, on retrouve souvent des podzols sur les crêtes et en haut de pente, des brunisols en milieu de pente et des gleysols ou sols organiques dans les dépressions, en bas ou dans le pied de pente. Le modèle peut être légèrement différent si le socle rocheux présente des ondulations, comme c'est fréquemment le cas dans les Appalaches (plissement appalachien). En bref, la topographie joue un rôle important dans la variabilité spatiale de l'humidité des sols (Lafond, 1992)

### **1-1-6-Influence de la couverture végétale sur l'humidité du sol**

La nature du couvert végétal influence le comportement de l'eau provenant des précipitations. En effet, la végétation s'oppose au ruissellement de surface et favorise l'infiltration. Les tiges constituent des obstacles à l'écoulement superficiel puisqu'elles diminuent la vitesse des filets d'eau. Quant aux racines, elles augmentent la perméabilité du sol. La présence et le type de culture influencent grandement les effets d'une précipitation sur un sol.

En effet, selon Beauchamp (2006), les conséquences des précipitations seront plus importantes pour une parcelle sous culture de mars, que pour une prairie. Il établit d'ailleurs qu'une prairie protégera le sol de sorte que seulement 5 % de celui-ci sera affecté par l'eau de pluie comparativement à 50 % pour la culture de mars. Le choix d'une culture a aussi un effet sur la gestion du sol en modifiant certaines propriétés du sol, telles que sa structure. Une culture sur billons peut entraîner le compactage de la zone non cultivée, qui aura pour effet de créer des zones d'accumulation de l'eau ainsi que des surfaces de sol nues non protégées.

**1-1-7- Influence de la structure sur l'humidité du sol**

La structure d'un sol a un impact direct sur la variabilité de la teneur en eau de ce sol puisqu'elle contrôle l'infiltration et la percolation de l'eau dans le sol ainsi que les réserves d'eau et de gaz (Shukla et Lai, 2002 ; Slater et Mancl, 2005). Une bonne structure est le fruit d'une activité biologique (microfaune et mésofaune) intense tant sur le plan du nombre que de la variété et de la complémentarité des espèces présentes (Savoie, 2009). De plus, elle est aussi le résultat d'un assemblage des particules élémentaires sous forme d'agrégats. La teneur en argile et la teneur en matière organique du sol jouent un rôle essentiel dans le degré de structure du sol et sa stabilité temporelle. Un bon assemblage assure au sol une certaine stabilité, une bonne aération et un bon drainage. La figure 2 illustre quelques exemples de structures de sol formées à partir de différents types de particules et met en comparaison l'écoulement associé à celles-ci.

**1-1-8-Influence de la Texture sur l'humidité du sol**

La texture du sol influence sa teneur en humidité (Fausey, 2002 ; Pater et McReynolds, 2005). Celle-ci joue à deux niveaux. Plus la texture est grossière, comme le sable, plus l'évacuation de l'eau sera facilitée. De plus, contrairement aux sables, les argiles ont une bonne capacité d'échange cationique ce qui leur procure une meilleure capacité de rétention en eau (Fausey, 2002; Pater et McReynolds, 2005). Les fragments grossiers de taille supérieure à  $> 2$  mm ne peuvent généralement pas retenir l'eau et plus leur nombre est grand, la capacité de rétention en eau des sols est moins.

**1-1-9- Influence de la matière organique sur l'humidité du sol**

La teneur en matière organique influe la teneur en humidité d'un sol, maintenant l'eau dans le sol par sa bonne capacité de rétention (NRCS, 1998). Certains sols ayant des teneurs en matière organique très élevées seront saturés en eau. C'est particulièrement le cas en milieu humide (tourbière, marécage, marais, etc.) caractérisé par l'accumulation de matières organiques qui se décomposent très lentement ( $> 17$  % de C organique). Cependant, la matière organique peut, dans certain cas, améliorer les teneurs en humidité des sols, en liant d'autres particules de sols (limons, argiles) pour former des agrégats favorisant ainsi une meilleure structure et porosité du sol (Fausey, 2002).

### 3-Définition d'Agro-photovoltaïque

Agro-photovoltaïque est un terme qui permet la production d'énergie photovoltaïque dans les terres agricoles sans affecter la production agricole, c'est aussi la coexistence entre les panneaux solaires et les cultures.(1)



**Figure01 : Pomme de terre en croissance sous une installation APV en Allemagne (Université de Hohenheim, année ,2019).**

L'agro-photovoltaïque, qui s'est développé dans un premier temps en Asie., dans des pays comme le Japon, la Corée du Sud ou encore le Vietnam, Europe et en France.

### 2-Historique d'APV

L'histoire de la mise en œuvre des systèmes agro-photovoltaïques a commencé avant moins de 20 ans lorsque des scientifiques allemands ont proposé (Goetzberger et Zastrow en 1981) le concept de terres à double usage - à la fois pour les besoins agricoles et pour la production d'électricité en utilisant des centrales photovoltaïques (PVPP). Ce concept a été publié dans leur ouvrage en 1982 (Goetzberger et Zastrow 1982). Au fil du temps, l'indice des prix des modules solaires a chuté de façon spectaculaire. Après avoir été coûteux, l'efficacité opérationnelle des unités a augmenté de façon significative dans les PVPP et les systèmes agro-photovoltaïques (APVS). Lorsque les chercheurs se sont intéressés à ce concept, comme le professeur japonais Akira Nagashima qui a commencé à expérimenter dans ce domaine en 2003, il a commencé à expérimenter dans ce domaine en 2003 (Adomavicius).

#### 4-Configuration des dispositifs agrivoltaïques

Il existe différentes configurations de dispositifs agrivoltaïques. Goetzberger et Zastrow ont étudié les conditions pour optimiser les installations agrivoltaïques[2]. Présentées au début des années 1980, ces conditions servent toujours de référence dans la définition des systèmes agrivoltaïques :

Orientation des panneaux solaires au sud pour des panneaux fixes ou est-ouest pour des panneaux en rotation sur un axe ; espacement suffisant entre les panneaux solaires pour une transmission lumineuse suffisante aux cultures au sol ; surélévation de la structure porteuse des panneaux solaires pour homogénéiser les quantités de rayonnement au sol.

Les installations expérimentales sont souvent dotées d'une zone agricole témoin. La zone témoin est exploitée dans les mêmes conditions que le dispositif agrivoltaïque afin d'étudier les effets du dispositif sur le développement des plantes.

##### 4-1-Panneaux solaires fixes au-dessus des cultures



- **Figure 02 : Panneaux solaires fixes au-dessus des cultures (producteur de framboises 2019 en Albers et Groenlevens)**

L'approche la plus simple consiste à installer des panneaux solaires fixes sur des serres agricoles ou en plein champs, surélevés au-dessus des cultures ou entre les cultures. Il est possible d'optimiser l'installation en modifiant la densité de panneaux solaires ou l'inclinaison des panneaux. Au Japon, les systèmes agrivoltaïques sont généralement constitués de

structures légères démontables avec des panneaux solaires allégés et de petite taille pour réduire la prise au vent.

#### 4-2-Agrivoltaïque dynamique

Dans des configurations plus élaborées, les panneaux solaires sont mobiles et peuvent être contrôlés pour optimiser leur positionnement afin de favoriser la production agricole.

Les premiers dispositifs agrivoltaïques dynamiques ont été développés au Japon. Les panneaux sont orientables manuellement( Latsuoka, no daté). Les agriculteurs modifient la position des panneaux en fonction de la saison ou du stade de développement des cultures pour augmenter ou diminuer l'ombrage et la production électrique. Les entreprises japonaises ont également développé plusieurs systèmes plus élaborés. Par exemple, des cultures poussent sous des systèmes composés de tables (25 panneaux solaires) fixées sur un poteau central et orientable sur deux axes (Solar journal).



**Figure 03: Agrivoltaïque dynamique :(2004 au dessus des rizières EN JAPON)**

En 2004, Günter Czaloun propose un système de panneaux solaires mobiles suspendus et actionnés par des câbles. Les panneaux peuvent être orientés pour améliorer la production électrique ou ombrer les cultures en fonction des besoins. Le premier prototype est construit en 2007 en Autriche. L'entreprise REM TEC a déployé plusieurs centrales équipées d'un système de rotation des panneaux solaires sur deux axes en Italie et en Chine. Leur système permet de positionner les panneaux avec une grande précision. Ils ont également développé un système équivalent pour équiper des serres agricoles.

En France, les sociétés Sun'Agri et Ombrea développent des systèmes mobiles selon un seul axe. D'après ces sociétés, leurs systèmes s'adaptent au besoin des plantes. La société Sun'Agri propose un système qui permet une rotation des panneaux selon un axe est-ouest.

D'après la société Sun'Agri, le pilotage infra-journalier est réalisé au moyen d'algorithmes qui intègrent les modèles complexes de croissance de plantes, les modèles de comportements hydriques des plantes, les modèles de prévisions météorologiques et un logiciel d'optimisation du positionnement des panneaux. Le dispositif de la société Ombrea est équipé de panneaux orientés vers le sud qui peuvent s'effacer grâce à un système de glissières.

La société Artigianfer commercialise une serre photovoltaïque dont les panneaux solaires sont installés sur des ouvrants mobiles. Les panneaux peuvent suivre la course du Soleil selon un axe est-ouest.

La difficulté de tels systèmes est de trouver le mode de fonctionnement pour maintenir les bons équilibres entre les deux types de production en fonction des effets recherchés. Le pilotage fin des panneaux pour adapter l'ombrage au besoin des plantes nécessite des compétences agronomiques avancées pour comprendre le développement des plantes. Les dispositifs expérimentaux sont généralement développés en collaboration avec des centres de recherches.

#### **4-3-Panneaux bifaciaux**

Les panneaux photovoltaïques bifaciaux (dont le prix approche celui des panneaux monofaciaux dans au début des années 2020) peuvent produire selon les fabricants de 5 à 30 % d'électricité en plus que des panneaux classiques, avec un rendement augmenté de 40 % en conditions vraiment optimales de forte albédo (site enneigé ou désertique à sol clair) .



**Figure04 : Panneau solaire Bifacial (Complet 2022 Mon kit solaire)**

Les panneaux photovoltaïques bifaciaux (dont le prix approche celui des panneaux monofaciaux dans au début des années 2020) peuvent produire selon les fabricants de 5 à 30 % d'électricité en plus que des panneaux classiques, avec un rendement augmenté de 40 % en conditions vraiment optimales de forte albédo (site enneigé ou désertique à sol clair) .

En France, les gains attendus sont plutôt, en moyenne, de quelques pour cent ces panneaux sont utilisé verticalement avec donc une très faible emprise au sol. Depuis la fin des années 2010, des tests sont faits en France, dont par le producteur indépendant d'énergie Corsica Sole à partir de 2022 (dans les Vosges, en Meurthe-et-Moselle, dans le Loiret et dans les Landes) pour comparer plusieurs technologies et configurations (sur friches industrielles, sols en béton, en gravier ou en milieu rural. Ces panneaux doivent être placés en hauteur pour bénéficier d'un réfléchissement, et solidement car ils ont une prise au vent importante, en ligne unique ou multiples (mais alors suffisamment pour limiter les effets d'ombrages. Ils peuvent jouer un rôle d'ombrière verticale ou être intégré à l'agrivoltaïsme.

Après des tests faits par le laboratoire Laborelec (dans un désert du Chili contexte où le gain était de 10 %), d'autres tests sont prévus, soutenus par la CRE, en France, dans les Pyrénées Orientales (à Thémis où la neige est fréquente), et dans les Hautes-Pyrénées (Lannemezan), en Haute-Garonne (Bessières) et dans le Morbihan (Gueltas) respectivement dans une ancienne carrière de craie, sur une friche, et sur un centre d'enfouissement technique).

Alors que les panneaux fixes classiques produisent plus quand le soleil est au zénith, ceux ci peuvent, de manière complémentaire mieux capter les rayons du matin et de l'après midi. La CNR va tester le bifacial en centrales linéaires le long de digues et voies de circulation (rail, route, voies cyclables) à Sablons et le long de la ViaRhôna et envisage ensuite des longueurs de 10 à 20 km (à partir de 2024), peut être avec une électricité exporté en courant continu selon un projet conduit avec le Super Grid Institute, via un réseau qui pourrait être partagé avec d'autres parcs (éolien, solaire) qui pourrait directement alimenter des bornes de recharge, des électrolyseurs...).

#### **4-4-Autres approches**

La société Sundrop Farms (en) commercialise une centrale photovoltaïque à concentration associée à des cultures agricoles pour les zones désertiques. Les plantes sont cultivées hors-sol dans des serres. Les miroirs de la centrale chauffent de l'eau de mer. La vapeur d'eau est utilisée pour climatiser la serre, pour irriguer les plantes et pour alimenter la turbine qui génère de l'électricité. Une première centrale a été construite à Port Augusta, en Australie entre 2014 et 2016. En 2017, deux autres centrales ont été implantées à Odemira au Portugal et dans le Tennessee aux États-Unis.

#### **5-Avantages de l'agrophotovoltaïque**

L'agrophotovoltaïque est une forme d'agri éco qui permet à l'agriculteur de concilier la préservation des terres agricoles et la marche vers la transition énergétique. Grâce à ce système, ils n'ont plus à artificialiser des terres cultivables pour aménager des installations solaires. Ces dernières se placent directement sur les cultures. Les panneaux peuvent ainsi produire et profiter des avantages de l'énergie solaire, sans diminuer leurs principales activités.

L'agrivoltaïque permet aussi d'améliorer la production des terres agricoles. En effet, les études menées sur les différents projets agrivoltaïques menés en France ont révélé une augmentation du rendement agricole.

À titre d'exemple, sur un champ de vignes, la présence des panneaux a permis de réduire l'évapotranspiration. Protégées, les plantes ont vu leur besoin en eau diminuer de 12 à 34 %. En parallèle, cela aussi a permis d'améliorer la qualité des raisins.

## 6-Défférents types de générateurs photovoltaïques

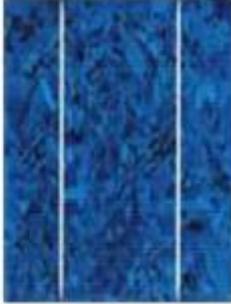
Type	monocristallin	polycristallin	amorphe
Rendement	11 à 16 %	10 à 14 %	5 à 6 %
			

Figure 05 : Défférents types de générateurs photovoltaïques

### 6-1-Panneau solaire polycristallin

Ses cellules sont fabriquées à partir de chutes de morceaux de silicium qui sont chauffés, fondus puis refroidis et assemblés par un processus plus rapide et plus économique. Elles présentent un aspect multi-facette bleutée typique de la présence de plusieurs cristaux de silicium. Le rendement d'un panneau solaire polycristallin va de 11 à 15 %, il est moins important que le panneau solaire monocristallin ce qui impose d'avoir un panneau légèrement plus grand. Néanmoins il possède un coefficient de température plus faible ce qui signifie qu'il sera plus performant dans une région à forte variation de température.

#### 6-1-1-Avantages

Plus économique. Empreinte écologique plus faible

Moins sensible aux variations de températures. Meilleur rendement par forte température

#### 6-1-2-Inconvénients

Encombrement plus important. Durée de vie légèrement inférieure

Moins bon rendement qu'un cellule. monocristalline : 11 à 15%

Ratio  $Wc/m^2$ ; moins bon que pour le monocristallin (environ  $100 Wc/m^2$ )

Rendement faible sous un faible éclairciment.

Ce sont les cellules les plus utilisées pour la production électrique (meilleur rapport qualité-prix). Durée de vie : 20 à 30 ans.

## **6-2-Panneau solaire monocristallin**

Les cellules monocristallines sont composées d'un seul cristal de silicium pur. C'est la technologie de première génération de panneau solaire et c'est encore aujourd'hui la plus efficace. Leur processus de fabrication plus complexe est par conséquent plus onéreux. Leur avantage est une meilleure performance par faible ensoleillement notamment les jours nuageux, le matin ou en fin de journée. Cette différence est difficilement quantifiable mais c'est de l'ordre de 5% de production supplémentaire sur une année.

### **6-2-1-Avantages**

Meilleur rendement par faible ensoleillement. Durée de vie légèrement supérieure.

Rendement plus élevé.. bon rendement, de 12% à 18%

Bon ratio Wc/m<sup>2</sup> (environ 150 Wc/m<sup>2</sup>) ce qui permet un gain de place si nécessaire

Nombre de fabricants élevé

### **6-2-2-Inconvénients**

Fabrication plus coûteuse. Rendement moins bon par température élevée.

coût élevé rendement faible sous un faible éclaircissement.

## **6-3-Silicium amorphe**

Le silicium lors de sa transformation, produit un gaz, qui est projeté sur une feuille de verre.

La cellule est gris très foncé. C'est la cellule des calculatrices et des montres dites "solaires".

### **6-3-1- avantages**

Fonctionne avec un éclaircissement faible ou diffus (même par temps couvert)

Un peu moins chère que les autres technologies. Intégration sur supports souples ou rigides.

### **6-3-2 inconvénients**

Rendement faible en plein soleil, de 6% à 8%

Nécessité de couvrir des surfaces plus importantes que lors de l'utilisation de

Silicium cristallin (ratio wc/m<sup>2</sup> ; plus faible, environ 60 wc/m<sup>2</sup>)

Performances qui diminuent avec le temps (environ 7%).

**7-Principe d'une cellule photovoltaïque**

Les cellules photovoltaïques sont fabriquées à partir d'une jonction PN au silicium (diode). Pour obtenir du silicium dopé N, on ajoute du phosphore. Ce type de dopage permet au matériau de libérer facilement des électrons (charge -). Pour obtenir du silicium dopé P, on ajoute du bore. Dans ce cas, le matériau crée facilement des lacunes électroniques appelées trous (charge +). La jonction PN est obtenue en dopant les deux faces d'une tranche de silicium. Sous l'action d'un rayonnement solaire, les atomes de la jonction libèrent des charges électriques de signes opposés qui s'accumulent de part et d'autre de la jonction pour former un générateur électrique.

**8-La relation entre la production photovoltaïque et la production agricole**

Le rendement d'un projet agrivoltaïque dépend de l'installation de panneaux solaires et de son adéquation avec les cultures ou les animaux. Sans être un spécialiste de l'agronomie, vous devinez sans doute que toutes les cultures ne doivent pas être couvertes. Certaines plantes ont plus besoin d'ombre que les autres.

Et c'est à elles que convient une toiture photovoltaïque. Il est toutefois possible d'installer une centrale photovoltaïque sur une exploitation agricole sans pour autant faire de l'ombre aux cultures qui n'en n'ont pas besoin.

Vous pouvez par exemple faire poser les panneaux solaires sur un hangar ou un magasin s'il y en a sur les lieux. Pour être une réussite, la mise en place d'un système agrivoltaïque doit être le fruit de la collaboration entre des techniciens de l'agronomie et de ceux de l'énergie solaire.

Chaque projet d'agrivoltaïsme est spécifique puisque l'orientation et la distance par rapport au sol des panneaux doivent être étudiées en fonction de l'activité agricole et de la situation géographique.

Une installation photovoltaïque, servant à protéger les cultures de la canicule, du gel et des pluies torrentielles, peut améliorer la qualité des produits. Cela permet de prolonger le cycle de vie de plantes comme la vigne. Pour leur part, les exploitations agricoles conviennent à la production d'énergie solaire principalement parce qu'elles offrent une grande superficie.

**9-L'effet de la pente des panneaux photovoltaïques sur le sol**

Tout d'abord, la structure de montage de la structure APV doit être ajustée en fonction des exigences des machines agricoles utilisées. (Les machines agricoles doivent être passées) et

au moins 4 à 5 mètres entre les colonnes. Ces dernières ont un effet sur la répartition de l'eau dans le sol en fonction de sa hauteur et de son angle d'inclinaison.

Lors de fortes pluies, les forts ruissellements des modules PV peuvent entraîner une érosion du sol et une diminution de la disponibilité de l'eau (Elamri et al. 2017) et la formation de ravines.

### **10-Effets des panneaux solaires sur les eaux de surface**

Une étude dans le désert du Ningxia en Chine a montré que le cycle de l'eau dans la région. Les ombres sont affectées et les taux d'évaporation sont légèrement inférieurs à ceux des zones ouvertes. Ces résultats sont cohérents avec une étude de (Marrou et al. 2013a) qui a trouvé que les couvre-assiettes permettent d'économiser jusqu'à 14 à 29 % d'eau de cultures maraîchères.

Une autre étude de terrain sur l'impact de l'ombrage sur l'utilisation de l'eau dans le sol, le calcul est basé sur une différence de profondeur de sol de 10 cm à 60 cm, Utilisation plus efficace de l'eau dans les zones ombragées grâce à un taux d'évaporation (ETP) plus faible réduit le rayonnement solaire tout au long de la période, asséchant l'eau stockée plus lente terrain. A la fin de la période d'observation, l'humidité du sol dans la zone ombragée était presque le double de celle de la zone ouverte de l'ordre de 328% (Hassanpour Akeh et al. 2018).

Ces résultats concluent que les panneaux permettent de réduire le taux d'évaporation, c'est-à-dire de maintenir l'humidité du sol le plus longtemps possible, économisant ainsi le pourcentage d'eau en « irrigation »

### **Conclusion**

Les panneaux solaires peuvent conserver les ressources naturelles nécessaires. L'agriculture exige d'énormes quantités d'eau douce, et les panneaux solaires dans les terres agricoles augmenteront la vitesse de croissance de certaines cultures comme les tomates, la laitue et d'autres qui ont besoin d'ombre pour croître efficacement.

L'énergie solaire aide le secteur agricole à devenir plus efficace et plus écologique.

L'un des plus grands avantages que l'énergie solaire offre au secteur agricole est la réduction de l'empreinte carbone que les agriculteurs ignorent.

# **Chapitre II**

## **Pomme de terre**

## 1-Présentation et origine de la pomme de terre

### 1-1 Présentation de la pomme de terre

C'est une plante vivace qui se propage par semis et par multiplication végétative et qui est cultivée comme une espèce annuelle (Rousselle et *al.* 1992). Cette plante à tubercules a subi une évolution que rarement des végétaux connaissent (amélioration et séquençage génétique par le biais de la biotechnologie). Les chiffres de sa consommation directe et des différentes transformations dans l'industrie lui prédisent un avenir des plus prometteurs.(Rousselle et *al.* 1992).

Sa culture pourrait contribuer à lutter contre l'insécurité alimentaire.

La pomme de terre est une plante des climats tempérés, à photopériodisme court, mais peut s'adapter aux climats chauds. Sa multiplication par les graines est de nos jours utilise surtout pour la création de nouvelles variétés tandis que la culture est faite à partir des tubercules (plants) (Somda., 2001).

### 1-2 -La culture de la pomme de terre dans le monde

Le secteur de la pomme de terre est en pleine évolution. Jusqu'au début des années 90, la plupart des pommes de terre étaient cultivées et consommées en Europe, en Amérique du Nord et dans les pays de l'ex-Union Soviétique. Depuis lors, la production et la demande de pomme de terre ont enregistré une forte croissance en Asie, en Afrique et en Amérique latine, où la production est passée de moins de 30 millions de tonnes au début des années 60 à plus de 100 millions de tonnes au milieu des années 90.

En 2005, pour la première fois, la production de la pomme de terre du monde en voie de développement avec 161,5 millions de tonnes environ à dépasser celle du monde développé (155,9 millions de tonnes). La Chine est devenue le premier producteur mondial de pommes de terre, et quasiment un tiers de tous les Tubercules sont désormais récoltés en Chine et en Inde. (Anonyme, 2007).

La production de la pomme de terre en 2010 dans les principaux pays producteurs (Benramdane, 2015).

### 1-3-En Algérie

En Algérie, la pomme de terre a probablement, été introduite une première fois au XVIème siècle par les Maures Andalous qui ont propagé les autres cultures dans la région : tomate, poivron, maïs, tabac... puis, elle est tombée dans l'oubli n'ayant pas suscité d'intérêt.

Dans la deuxième moitié du XIX<sup>ème</sup> siècle, les colons vont la cultiver pour leur usage, car les Algériens y sont réticents malgré les disettes successives. C'est la dernière grande famine des années 30/40 qui viendra à bout de cette opposition (Meziane, 1991).

#### **1-4- Dans la wilaya d'Ain Defla**

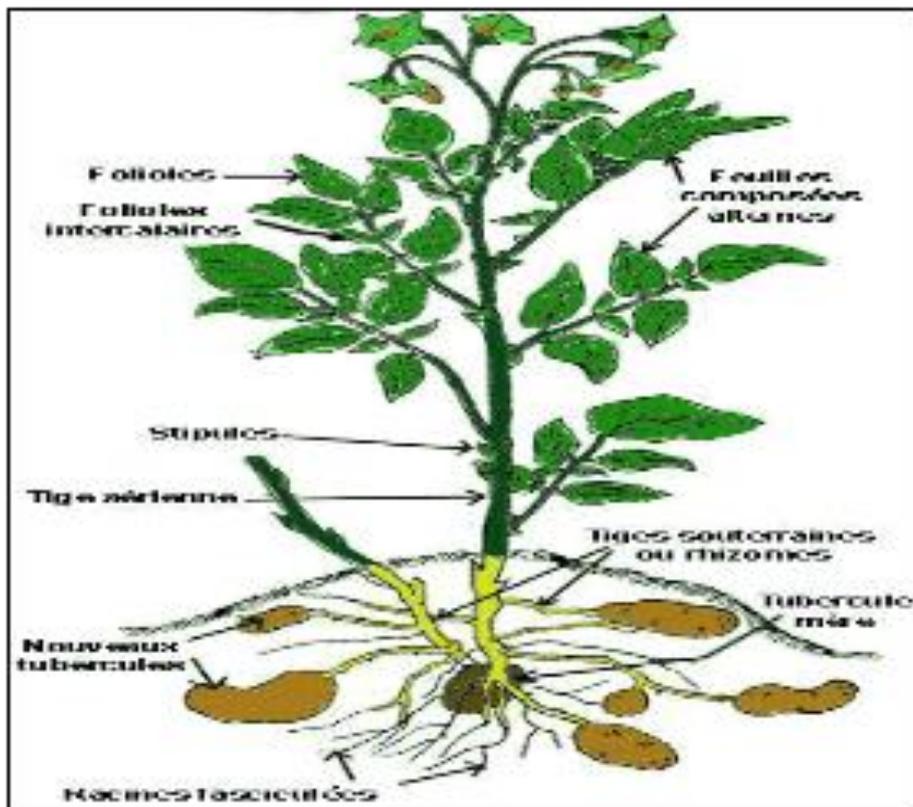
Introduite dans la région de Ain Defla dans les années 1970, l'exploitation du tubercule s'est développée à tel point que, aujourd'hui, les producteurs y sont trop à l'étroit. En fait, les opérateurs de Ain Defla jouent un rôle pivot dans la filière Algérienne de la pomme de terre, multiplication de la semence, stockage, production... etc. Ils ont réussi à instaurer un véritable monopole. Une success-story qui a débuté au milieu des années 1970 grâce à un groupe de pionniers. « Ce sont des fellahs d'El-Abadia, une localité de la commune de Mekhatria, qui, les premiers, ont tenté de planter de la pomme de terre. Au début, ils n'ont fait que copier les agriculteurs de Mascara, commune longtemps considérée comme le berceau de la pomme de terre en Algérie », indique Djilali Hadj, président de la chambre d'agriculture d'Ain Defla et lui-même producteur (Ahmed Bey 2011).

#### **2-Botanique et taxonomie**

Décrite en 1753 par Linné, la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) appartient à la famille des solanacées, qui renferme d'autres espèces telles que la tomate, l'aubergine, le piment, le tabac... (Somda, 2001).

L'ensemble de ces espèces forme un groupe ayant un nombre chromosomique de base 12 et allant du niveau diploïde jusqu'au niveau hexaploïde (Khaldi et Seghiri, 2006).

Sa classification exhaustive est présentée par Hawkes, 1990



**Figure 06 : Plante de la pomme de terre**

Règne : Métaphytes (Végétaux supérieurs)

Embranchement : Spermatophytes

Sous-embranchement : Angiospermes

Classe : Dicotylédones

Sous-classe : Asteridae

Ordre : Polemoniales

Famille : Solanaceae

Genre : Solanum L.

Sous-Genre : Potatoe (G. Don) D'Arcy

Section : Petota Dumort

Sous-section : Potatoae

Super-série : Rotata

Série/Groupe: Tuberosa (cultivées)

Espèce: tuberosum

Sous-espèce : tuberosum

### **3- Morphologie de la plante**

Elle comporte à la fois des tiges aériennes et des tiges souterraines. C'est une plante à fleurs gamopétales, dicotylédones, son port est plus ou moins dressé suivant les variétés (Darpoux et Dubelley, 1967).

#### **3-1- Partie aérienne**

- Tiges :

Chaque plante est composée d'une ou plusieurs tiges herbacées de port plus ou moins dressé, le nombre de tiges est influencé par le calibre du plant, son âge physiologique, les conditions de conservation et de germination (Grison, 1983).

- Feuille :

Elles sont alternées de types composés constituées d'importants nombres de folioles, emportés sur un pétiole terminé par une foliole unique (Neggaz, 1991). Les folioles présentent de nombreux caractères distinctifs, mais assez fluctuants, notamment, leur nombre, forme, couleur, pilosité et longueur des pétioles et pétiolules. Les jeunes feuilles sont densément recouvertes de poils soit longs et droits, soit courts et de type glandulaire (trichomes) (Cutter, 1978). La nervation des feuilles est de type réticulé avec une plus grande densité de nervures vers le bord du limbe (Rousselle et al., 1996).

- Fleurs :

Les fleurs de la pomme de terre sont disposées sur une inflorescence en cyme bipare, portée par un pédoncule plus ou moins long, fixé généralement au sommet de la tige. Elle est construite par 5 sépales, 5 pétales, 5 étamines, les fleurs ont des couleurs différentes blanches, bleutées, violacées et rouge-violacées. La coloration des fleurs est en fonction des variétés (Grison, 1983).

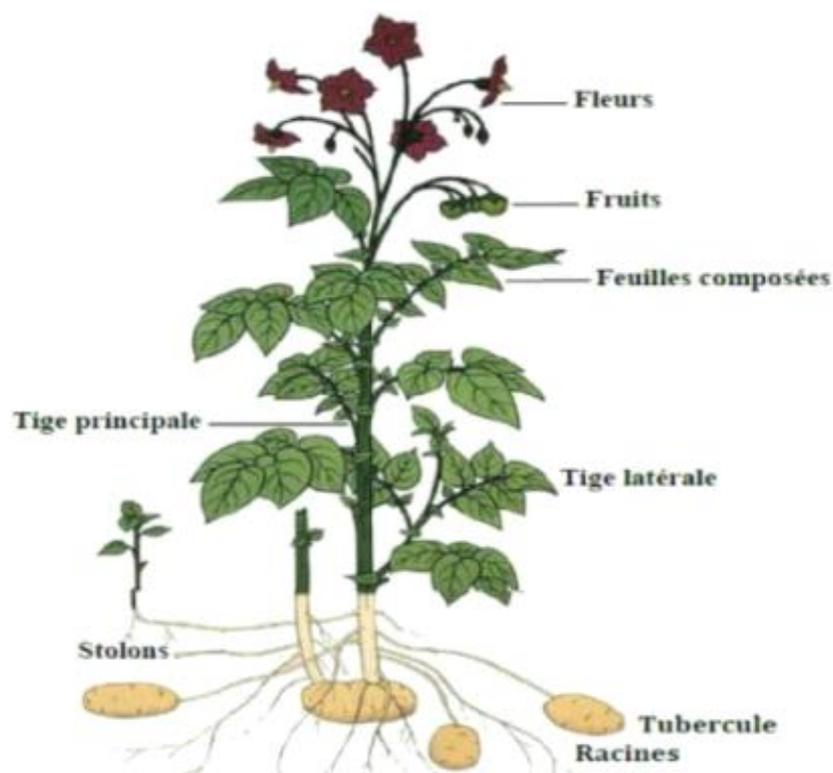
- Fruits :

Les fruits ou baies qu'elles produisent contiennent des graines dont l'intérêt est nul en culture (Soltner, 1979).

#### **3-2- Partie Souterraine :**

Le système souterrain porte :

- Les racines, nombreuses et fines, fasciculées et peuvent pénétrer profondément le sol, s'ils sont suffisamment meubles.
- Les tiges souterraines ou rhizomes, ou stolons, sont courtes et leurs extrémités se renflent en tubercules.
- Les tubercules sont les organes de conservation qui permettent de classer la pomme de terre parmi les plantes vivaces à multiplication végétative (solanet, 1979)



**Figure 07 : Caractéristiques morphologiques de la pomme de terre (Bernhardt,1998)**

#### **4-Cycle de développement**

Le cycle de la pomme de terre est très court (trois à quatre mois), depuis le semis jusqu'à la destruction de l'appareil végétatif (Martin, 2014), il se déroule en trois phase principale à partir de la récolte des tubercules : Germination, Phase de croissance, Tubérisation et la maturation des tubercules.

### 4-1-Repos végétatif

A la récolte, le tubercule de la pomme de terre ne peut germer même si les conditions de croissance sont favorables (température de 18 à 25° C et hygrométrie 90%). Sa durée constitue un caractère variétal mais peut être abrégé ou maintenu par différents constituants physiques ou chimiques. Sous l'action de haute température durant la végétation, le repos peut être abrégé. Il peut être rompu à une température de 23-24°C ou par substance chimique (la rindite) par contre, il est maintenu à température inférieure à 3° C par des substances anti-germes ou bien par des radiations gamma à faibles doses. (Madec et Perennec, 1962).

### 4-2- Germination

A la fin du repos végétatif, le germe entre en croissance s'il n'y a pas dormance induite par les conditions du milieu (Madec, 1966).

Madec et Perennec (1962). Ont dénommé stade d'incubation, le stade de tubérisation des germes, et période (phase) d'incubation, le temps s'écoulant entre le départ de la germination et la formation des nouvelles ébauches du tubercule par les germes (Zine,2009).

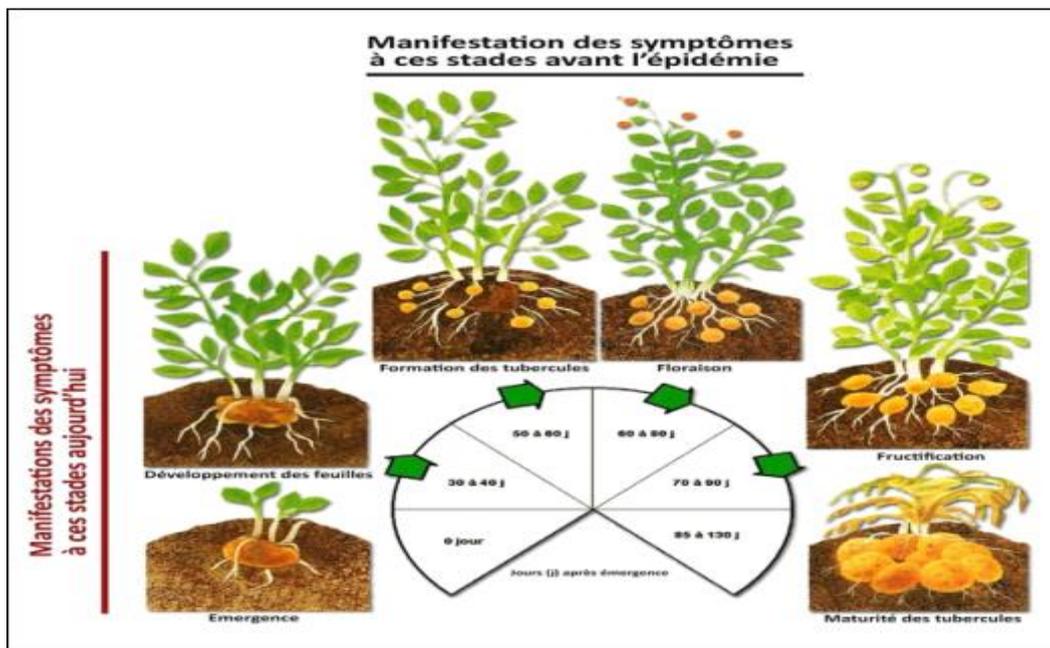


Figure 08 : Le cycle végétatif de la pomme de terre (Moëgne,2008)

### 4-3- Phase de croissance

Lorsqu'un tubercule germé est planté en terre, ses germes se transforment en tiges feuillées, dont les bourgeons axillaires donnent, au-dessus du sol des rameaux et au-dessous des stolons (Anonyme, 2003).

**4-4- Tubérisation**

C'est un processus physiologique à développement complexe, qui commence par une inhibition de croissance longitudinale (le stolon aérien), suivi d'une croissance du tubercule.

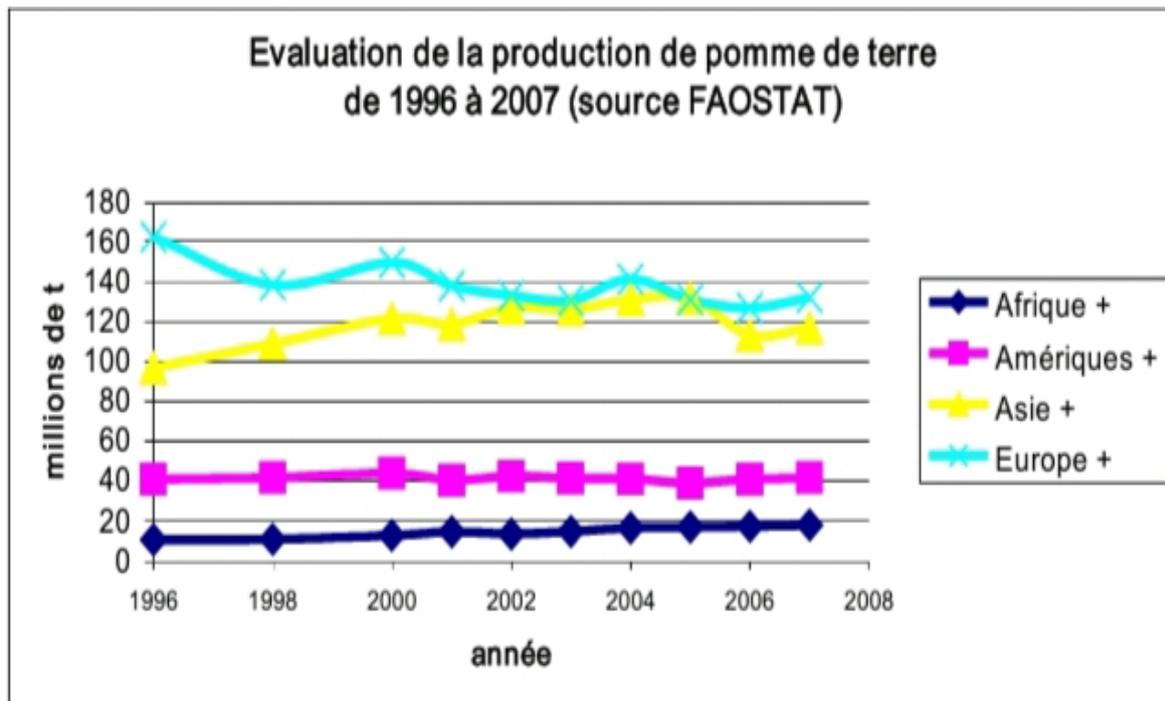
Le stolon souterrain une fois différencié, les cellules et les tissus augmentent de volume en emmagasinant des substances de réserves (Trindale, 2004).

**4-5- La maturation des tubercules**

Elle se caractérise par la sénescence de la plante, par la chute des feuilles ainsi que l'affaiblissement du système racinaire et des tubercules atteignant leur maximum de développement (Perennec et Madec, 1980).

**5- La production de la pomme de terre****5-1-Dans le monde**

La décision de l'ONU et de la FAO de faire de l'année 2008 l'« Année internationale de la pomme de terre » a permis de mettre l'accent sur l'importance de cette culture. En effet, le site officiel rappelle que « la pomme de terre joue un rôle clé dans le système alimentaire mondial. C'est la principale denrée alimentaire non céréalière du monde ». La production mondiale a été évaluée en 2007 (FAOSTAT) à plus de 300 millions de tonnes sur 18,5 millions d'hectares. Le site démontre également que depuis 1991 c'est dans les pays en voie de développement que l'accroissement de la culture est le plus marqué alors que, dans les pays développés, on observe une stabilité ou une légère diminution de la production.



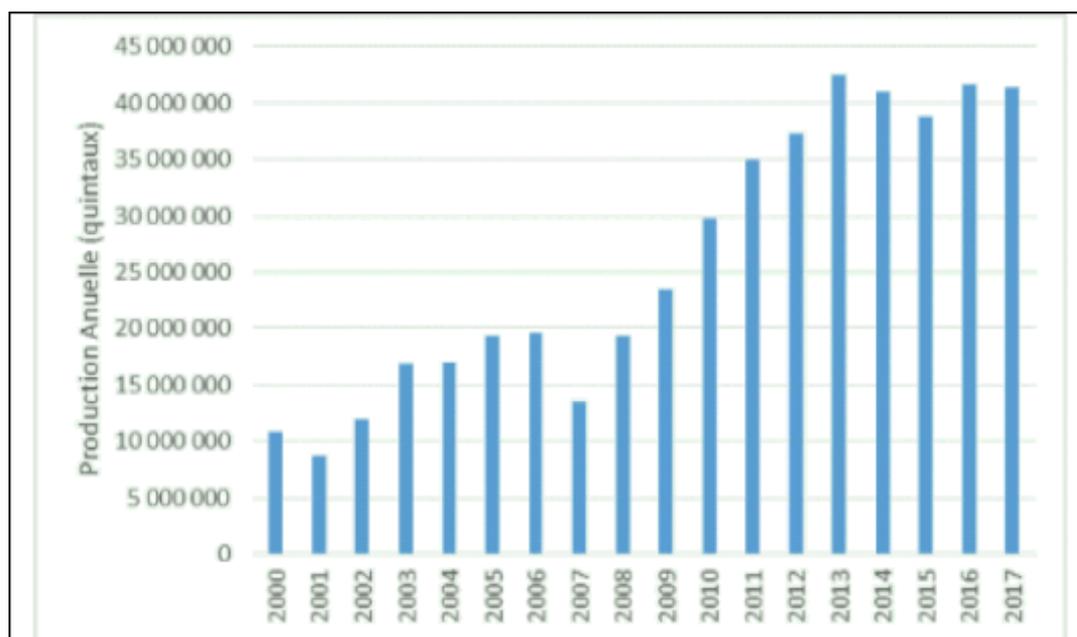
**Figure 09 : Evaluation de la production de la pomme de terre de 1996 à 2007 (source FAOSTAT 2015).**

C'est en Afrique que la culture a connu ces dix dernières années l'accroissement le plus élevé ; supérieur à 50 %. L'Asie suit avec une progression de 20 %.

### **5-2-En Algérie**

La pomme de terre en Algérie revêt un caractère prioritaire en tant qu'aliment de base dans le modèle algérien de consommation.

La production a quadruplé entre les années 2000 et 2017 passant approximativement de 10 Million quintaux à plus de 40 millions de quintaux. Pour l'année 2017 la production de pomme de terre a été de 41 342 662 quintaux pour une population à fin 2017 de 42,2 millions.



**Figure 10 : Evolution de la production de pomme de terre (2000-2017)**

La disponibilité atteindrait de près de 98 kg/habitant, en légère baisse par rapport aux à années précédentes. Le taux d'évolution de la population qui a repris une tendance à la hausse (plus de 2,5 % de croissance annuelle) ces dernières années expliquerait cette évolution.

En connaissant les populations et les productions par wilaya, on peut déduire les wilayas excédentaires et les wilayas déficitaires en pommes de terre. (Bessaoud et Lefki, 2018)

**Tableau 01: Evolution de la production, de la population, de la consommation, wilayas excédentaires et wilayas déficitaires (année 2017)**

<b>Wilaya</b>	<b>Production(2017)</b>	<b>Population Estimée (2017)</b>	<b>Consommation estimée (2017)</b>
<b>EL OUED</b>	11 530 000	870 000	852 224
<b>AIN DEFLA</b>	5 093 440	930 000	910 998
<b>MOSTAGANEM</b>	4 399 760	900 000	881 611
<b>MASCARA</b>	3 464 010	990 000	969 772
<b>BOUIRA</b>	1 452 530	785 000	768 961
<b>BATNA</b>	371 250	1 368 000	1 340 049
<b>BEJAIA</b>	29 990	1 040 000	1 018 751
<b>BLIDA</b>	286 305	1 306 000	1 279 316
<b>CONSTANTINE</b>	30 400	1 138 000	1 114 748
<b>TIZI.OUZOU</b>	130 170	1 270 000	1 244 051
<b>M'SILA</b>	134 400	1 290 000	1 263 643
<b>SETIF</b>	541 543	1 832 000	1 794 568
<b>ORAN</b>	33 893	1 820 000	1 782 814
<b>ALGER</b>	354 140	3 700 000	3 624 401

(Source :MADRP-DRDPA)

## **6-Exigences écologiques de la pomme de terre**

### **6-1- Exigences climatiques**

#### **6-1-1-Température**

Elle influence beaucoup le type de croissance. Les hautes températures stimulent la croissance des tiges; par contre les basses températures favorisent davantage la croissance du tubercule.

La pomme de terre est très sensible au gel. Le zéro de végétation est compris entre 6 et 8 °C.

Les températures optimales de croissance des tubercules se situent aux alentours de 18 °C le jour et 12 °C la nuit. Une température du sol supérieure à 25 °C est défavorable à la tubérisation (Bamouh, 1999).

### **6-1-2- La lumière**

La pomme de terre est une plante héliophile .Ses besoins en lumière sont importants surtout pendant la phase de croissance .Ce facteur est déterminant pour la photosynthèse et la richesse en facule de tubercules (Moule, 1972).

### **6-1-3-L'humidité**

Dans le cas d'une culture de pomme de terre , l'humidité est un facteur limitant de la production bien sur taux suffisant pour permettre à la plante de suivre son développement le plus normalement possible. A noter qu'une carence ou un déficit en humidité pourrait avoir des conséquences très grave vis-à-vis des rendements surtout aux stades croissance et tubérisation.

## **6-2-Exigences édaphiques**

### **6- 2 -1-La structure et texture du sol**

La plupart des sols conviennent à la culture de la pomme de terre à condition qu'ils soient bien drainés et pas trop pierreux. Les sols préférés sont ceux qui sont profonds, fertiles et meubles.

En général, la pomme de terre se développe mieux dans des sols à texture plus ou moins grossières (texture sablonneuse ou sablo-limoneuse) que dans des sols à texture fine et battante (texture argileuse ou argilo-limoneuse) qui empêchent le grossissement des tubercules (Bamouh, 1999).

### **6-2-2- pH**

Dans les sols légèrement acides (pH 5,5 à 6), la pomme de terre peut donner de bons rendements.

Une alcalinité excessive du sol peut causer le développement de la galle commune sur tubercule (Bamouh, 1999).

### **6-2-3-Salinité**

La pomme de terre est relativement tolérante à la salinité par rapport aux autres cultures maraîchères. Cependant, un taux de salinité élevé peut bloquer l'absorption de l'eau par le système racinaire.

Lorsque la teneur en sel est élevée, le point de flétrissement est atteint rapidement. On peut réduire la salinité d'un sol en pratiquant le lessivage . (Bamouh, 1999)

### **6-3- Exigences hydriques**

Les exigences en eau de la culture de pomme de terre sont très élevées. Elles sont de l'ordre de 250 à 300 kg d'eau par kilogramme de matière sèche .Par ailleurs, ses besoins sont constants pendant toute la durée de de végétation. En période de forte tubérisation c'est jusqu'à 80m<sup>3</sup> d'eau par hectare et par jour qui peut lui être nécessaires. La durée de végétation étant courte et souvent même très courte (variété tardive). Il faudra donc veiller à lui préparer une alimentation en eau abondante et régulière et une bonne préparation du sol.

Une sécheresse intense, ou survenant brutalement, peut arrêter la végétation. Lorsque celle-ci repart il y a (repousse) , les tubercules déjà formés émettent des germes au bout desquels peuvent se forme de petites tubercules, plus riches en azote et pauvres en sucre, difficiles à conserver , on dit encore que les premières tubercules : ils sont en partie vide de leur substance et deviennent plus ou moins inconsommable.

L'irrigation peut donc avoir un sérieux intérêt et doit être bien conduite. Un excès d'eau peut être néfaste en diminuant la richesse en fécule et en favorisant le développement du mildiou et de la pourriture (Moule, 1972)

### **6-4- Exigences en éléments fertilisants**

La pomme de terre est très exigeante en éléments minéraux surtout en azote, phosphore, potasse, Magnésium, et Calcium. Elle est très sensible à l'apport raisonné des engrais, car sa végétation est très intense et en générale courte 90 à 200 jours au maximum selon les variétés (Darpoux, 1967).

D'après HERERT et CROSNIER (1975), les besoins en éléments nutritifs du point de vue organique minérale, sont élèves et sensiblement proportionnels aux rendements notamment pour le potassium, le phosphore, et l'azote. Les exportation en éléments minéraux sont élevées, et sont dominées par le potassium, puis l'azote et le phosphore.

Selon les rendements, elles seront d'après Darpoux (1967) de l'ordre de :

3.2 a 5 kg d'azote/ tonne de tubercules,

1.6 a 2 kg d'acide phosphorique / tonne de tubercules,

6 a 10 kg de potasse / tonne de tubercules,

0.4 à 0.8 kg de magnésium / tonne de tubercules,

2.01 à 4.3 kg de chaux / tonne de tubercules,

0.3 de soufre / tonne de tubercules,

En sol bien pourvu en potasse, la pomme de terre peut absorber des quantités considérables de potassium réalise ainsi une consommation de luxe vis-à-vis de cette élément quise traduisant par des exportations très élevées pouvant atteindre les 300 kg/ha. (Darpous,1967).

Les exigences de pomme de terre en éléments minéraux dépendent des facteurs suivants :

Le rendement en tubercules, Le type de culture, Potentiel nutritif du sol, Les données pédoclimatiques,

### **7-Irrigation**

L'eau joue un rôle important dans la croissance de la plante en assurant les mécanismes suivants :

- \* Transport des éléments minéraux.
- \* Transport des produits photosynthétiques
- \* Transpiration et régulation thermique au niveau des feuilles.

La pomme de terre est très sensible à la fois au déficit hydrique et à l'excès d'eau. Une courte durée de sécheresse peut affecter sérieusement la production. De même un excédent d'eau entraîne l'asphyxie des racines et la pourriture des tubercules. Les besoins en eau varient selon la période de plantation (Bamouh, 1999).

Au cours de la germination, la quantité d'eau nécessaire est faible. Le tubercule mère doit être entouré du sol humide, mais pas mouillé. Les besoins en eau sont très élevés particulièrement au moment de la croissance foliaire et de la tubérisation (Bellabaci et Cherfouh, 2004).

#### **7-1-Dose d'irrigation**

La pomme de terre est une plante exigeante en eau. Les besoins en eau vont principalement avec la profondeur du système racinaire et varient selon la période de plantation. Ils se situent aux environs de 3 à 4 mm d'eau /jour avant la tubérisation et de 5 à 6mm/jour dès la formation des tubercules. Les besoins totaux atteignent environ 455 mm (Patrice, 2003).

### **7-2-Fréquence d'irrigation**

Au cours de la germination, la quantité d'eau nécessaire est faible. Le tubercule mère doit être entouré du sol humide, mais pas mouillé. De ce stade jusqu'à la formation des tubercules (60 à 90 jours) après plantation, l'irrigation doit être faite à un intervalle très court, 6 à 7 jours en sol léger et 12 à 15 jours en sol lourd. Les besoins en eau sont très levés particulièrement au moment de la croissance foliaire de la tubérisation (Bellabaci, Cherfouh, 2004). Pour tous les types de cultures (primeurs ou saison) on arrête l'irrigation 10 à 20 jours avant la récolte (Bamouh, 1999).

### **7-3- Qualité de l'eau d'irrigation**

La pomme de terre est relativement sensible à la présence des sels. L'irrigation par aspersion avec de l'eau contenant du sel peut brûler les feuilles. La présence de 4 g/l de sels totaux dans l'eau peut engendrer une réduction du rendement allant jusqu'à 50% (YACOUBI-SOUSSANE et al, 1999).

## **8-Utilisation de la pomme de terre**

La qualité de la pomme de terre est un ensemble de caractéristiques perçues comme favorable pour l'utilisateur. Elle est très riche en glucides, vitamines et potassium. C'est pour cela qu'elle est très utilisée pour l'alimentation de l'homme à des fins nutritionnelles mais également médicinales. (Rousselle et al, 1996).

### **8-1-Sur le plan alimentaire**

La composition de la pomme de terre en termes de teneur en calories, protéines, acides aminés indispensables, vitamines, sels minéraux fait d'elle un produit très consommée par l'homme. Sa diversité culinaire fait qu'elle est préparée sous forme de ragoûts, frites, parfois mélangée avec la salade ou même utilisée dans les sauces où elle sert d'ingrédients. Le tableau 3 présente la valeur nutritive de la pomme de terre. (Rousselle et al, 1996).

### **8-2-Sur le plan nutritionnel**

La pomme de terre est constituée d'eau, pour environ les 3/4 de son poids, d'une quantité relativement élevée de glucides, d'un faible taux de protides et de très peu de lipides (tableau 2). Cette richesse en eau et cette carence en lipides lui confèrent une valeur énergétique modérée, ce qui la distingue de la plupart des autres aliments amylacés (Rousselle (P) et al, 1996).

La pomme de terre est riche en vitamines notamment C et B. Ainsi, la vitamine C joue un rôle essentiel pour la formation et l'entretien des tissus conjonctifs, la cicatrisation des plaies et la bonne santé des dents. Quant à la vitamine B, elle joue un rôle très important dans la transformation des aliments en énergie, pour le système nerveux et pour les muscles (3).

La pomme de terre est également riche en fibre et permet un meilleur transit intestinal.

Enfin, le tubercule de la pomme de terre est riche en minéraux tels que le potassium qui aide à réguler la tension artérielle, le cuivre qui aide à la formation du sang et des os, le magnésium qui est vital pour la croissance, la niacine qui permet la respiration des tissus et l'élimination des toxines, l'acide folique et le fer essentiel à la formation des globules rouges. Le tableau 4 donne la teneur de la pomme de terre en éléments minéraux.

### **8-3-Sur le plan médicinal**

La pomme de terre possède plusieurs vertus médicinales. Ainsi, le jus cru de la pomme de terre aurait des propriétés antispasmodiques (destiné à empêcher les spasmes, les convulsions), diurétiques (qui augmentent l'excrétion de l'urine) et antiscorbutiques. Elle est aussi utile contre les ulcères. Crue et tranchée on s'en sert aussi pour soigner les inflammations, les brûlures et les gerçures ([www.encyclopediegratuite.fr](http://www.encyclopediegratuite.fr)).

## **9-Importance économique**

### **9-1- Dans le monde**

La pomme de terre joue un rôle clé dans le système alimentaire mondial. C'est la principale denrée alimentaire non céréalière du monde ; elle vient en quatrième position après le blé, le riz et le maïs qui constituent la base de l'alimentation humaine (FAOSTAT, 2015).

En 2013, la production mondiale de pommes de terre est estimée à 368.1 millions de tonnes, pour une surface cultivée de 19.4 millions d'hectares, soit un rendement moyen de 18.9 tonnes par hectare. Ce chiffre n'inclut pas les plants (semences) qui représentent 32.2 millions de tonnes. C'est la chine qui occupe le premier rang des pays producteurs avec une production qui atteint 88.9 millions de tonnes en 2013 (FAOSTAT, 2015). La pomme de terre peut présenter une solution aux problèmes de déficit alimentaire mondial (Rajnachapel, 1987).

### **9-2- En Algérie**

Après l'indépendance, la pomme de terre est devenue un produit important pour la consommation locale, et occupe une place importante dans le régime alimentaire. La demande

en cette culture s'est alors accrue ; elle représente la première culture maraichère du point de vue superficie et production (Chehat, 2008 in Agronomie Info ,2019).

En 2014, l'Algérie a occupé la deuxième place, après l'Egypte, dans la production de la pomme de terre en Afrique. La production nationale durant la dernière décennie (2003-2013) a augmenté de 1 879 918 tonnes en 2003 à 4 400 000 tonnes en 2013 pour une augmentation de la surface cultivée de 88 660 hectares en 2003 à 140 000 hectares en 2013. L'accroissement du rendement est aussi très significatif, de 21.20 tonnes par hectare en 2003 à 31.43 tonnes par hectare en 2013 ; c'est en dehors de la production de semences qui montre une nette augmentation durant cette période (FAOSTAT, 2015). Malgré cette nette augmentation des rendements, la production nationale n'arrive pas à satisfaire les besoins nationaux en semence de pomme de terre. Actuellement nous importons entre 120.000 et 150.000 tonnes de semences de pomme de terre, soit l'équivalent de 90 millions à 100 millions de dollars (MADR, 2018). La consommation par habitant et par an a subi une croissance très significative entre 1970 et 1998, passant de 20 kg à 42 kg.

A partir de 2005 la consommation a encore augmenté en raison des prix très accessibles affichés sur le marché pour atteindre 50 kg par habitant et par an. (ITCMI, 2008. in Agronomie Info, 2019).

### **10-Les maladies et les ennemis de la pomme de terre**

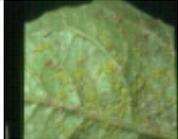
La pomme de terre est sujette aux attaques parasitaires. Ainsi, elle peut contracter un ensemble de maladies fongiques ou bactériennes qui affectent tout ou une partie de la plante (racines, tiges, feuilles, tubercules) pendant la phase de végétation et/ou pendant la phase de conservation des tubercules. 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 (ITCF-ITPT, 1998).

Selon qu'elle contracte une maladie en cours de végétation ou pendant la conservation, elle présente plusieurs aspects. Ainsi, en cours de végétation, elle concerne les niveaux que voici: partie souterraine des tiges et stolons, base des tiges aériennes (collet), attaque sur les tiges (possible à tous les niveaux), attaque sur les feuilles (feuilles du sommet de la tige enroulées et/ou décolorées), attaque sur les feuilles (feuilles décolorées ou tachées). S'agissant des

affections intervenant pendant la conservation, elles se présentent par des affections superficielles planes et profondes des tubercules.

**Tableau02 : Les principales maladies de la pomme de terre (BERNHARDS, 1998).**

Les Maladies	CAUSES	SYMPTOMES	ILLUSTRATION
<b>Mildiou de la pomme de terre</b>	Phytophthora infestance champignon se transmet par le vent	Brunissement de la base des tiges ou de portions de tige et de pétioles	
		Taches jaunâtres devenant brunes sur les feuilles de la base.	
<b>Virus X</b>	Virus X .Ce virus transmet par frottement	Décoloration bénigne en forme de mosaïque légère entre les nervures.	
<b>virus M</b>	Virus M. Le vecteur de cette maladie sont les pucerons	Faible décoloration des nervures, folioles apicales. Légère coloration rougeâtre des feuilles terminales. Une ondulation des bords et la formation de taches en mosaïque	
<b>Tache de rouille</b>	Virus du ratte	Une coupe des tubercules montre des tissus morts sous forme de tache rouge-brun	

<p><b>Rhizoctone brun</b></p>	<p>Rhizoctonia. Maladie fongique.</p>	<p>Attaques sévères sur les tiges et les stolons et enroulement des feuilles</p>	
<p><b>Bactéries pathogènes du genre Erwinia</b></p>	<p>Bactéries pathogènes du genre Erwinia, cette bactérie se transmet par la pluie, l'eau d'irrigation et les insectes.</p>	<p>La jambe noire (des nécroses de la base des tiges)</p>	
<p><b>Nématodes</b></p>	<p>Globodera rostochiensis et Globodera pallida</p>	<p>Mauvaise croissance du végétal Nanisme</p>	
<p><b>Puceron vert du pécher</b></p>	<p>Puceron vert du pécher</p>	<p>Déformation du limbe</p>	
<p><b>PLRV (potato leafroll virus)</b></p>	<p>Virus d'enroulement de la pomme de terre causé par l'accumulation d'amidon qui rend les feuilles dures</p>	<p>Enroulement des feuilles Le nanisme de la plante</p>	

# **Chapitre III**

## **Milieu physique**

## 1-Présentation générale de la zone d'étude :

### 1-1-Situation géographique :

La plaine alluviale de Haut Chélif appelée aussi plaine d'El Khemis appartient à la wilaya de Ain Defla, Située à 120 km au Sud-ouest d'Alger et à 25Km à l'Est du chef-lieu de la Wilaya sur la route nationale N°4.

Appartenant au sous bassin versant du Cheliff d'une superficie de 359 Km<sup>2</sup> et un périmètre de 159 Km et de 270 m d'altitude moyenne.

Elle est située entre les latitudes (36°18'36"6') N et les longitudes (2°-2°27') E, elle apparait sous la forme d'une dépression intra-montagneuse dans la partie nord de l'Algérie, et qui couvre des communes qui sont entre autre : Arib, Sidi Lakhdar, Khemis Miliana, Ain Sultane, Djendel, Bir Oueld Khelifa, et Djelida (Meziani et Bong, 2013).

La plaine de Khemis Miliana est limitée spatialement :

- Au Nord par la continuité occidentale du djebel Zaccar (1579 m d'altitude).
- Au Sud les contreforts de l'Ouarsenis qui culmine près de Bordj-Bounaama
- A l'Est par djebel Gantas (seuil de Djendel) 781m d'altitude ✓ A l'Ouest par le seuil de Djebel Doui.

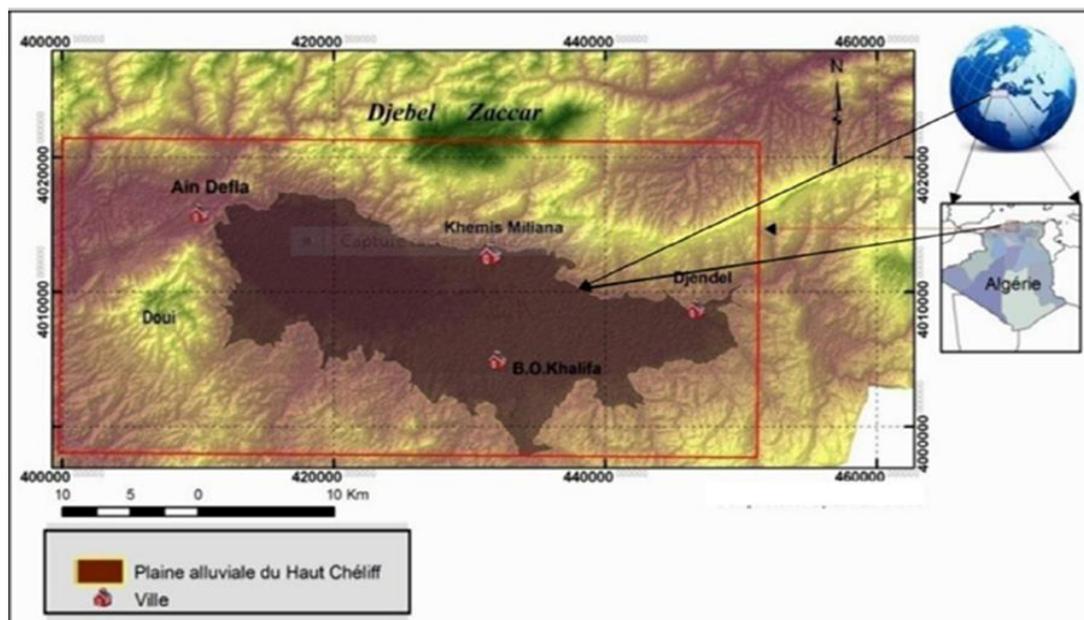


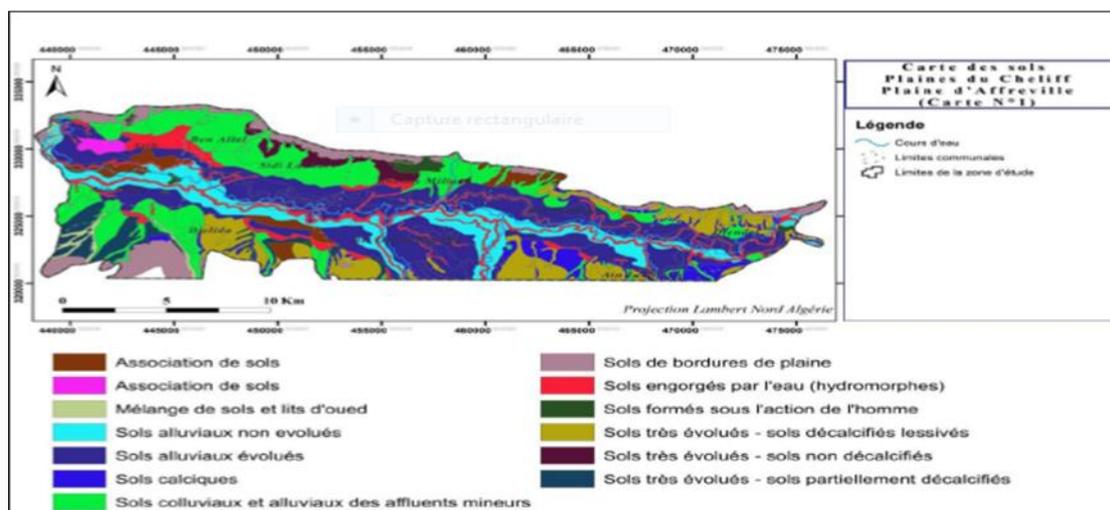
Figure 11 : Situation géographique de la zone d'étude (Gharbi.B,2014)

## 1-2-Contexte pédologique

### . Pédologie de la plaine du Haut Chélif

La plaine du Haut Cheliff est située à l'amont est à l'Est du sillon inter Tellien, c'est à la fois la plus élevée en altitude et celle dont le climat est le moins aride. Elle est bordée par des massifs assez élevés, le Doui et le Zaccar, qui la domine d'un millier de mètres, du point de vue géologique c'est un bassin largement conservé notamment sur la bordure Sud (**Boulaine J, 1957**).

D'après la carte pédologique de la plaine du Haut Cheliff (Boulaine, 1957), indique que la majorité des sols constituent la région sont des sols limoneux argileux. Les sols sableux sont principalement représentés le long d'Oued Cheliff. Alors que les sols argileux sont rencontrés dans la partie Nord, les sols limoneux sont plus présents aux bordures extrêmes Nord et extrême Sud.



**Figure 12 : Carte pédologique du Haut Cheliff (Boulaine, 1957 modifiée par Bouhini et Beghdadi, 2017)**

### 1-3-Population et démographie :

La population dans le bassin versant du Haut-Chélif à la fin 2016 était à 833 742 habitants avec un taux d'accroissement de 1,3% dont 82,55% sont concentrés en zones agglomérées et 17,45% uniquement en zone rurale.

Cette population est plus condensée dans les agglomérations qui sont localisée au Nord de la plaine.

Les plus significatives sont respectivement d'Est en Ouest : Djendel, Ain sultan, Khemis-Miliana, Sidi Lakhdar et Aribis, malgré qu'au Sud de la plaine les agglomérations sont minimales et moins denses (Sahraoui , 2014).

#### **.1-4-Topographie et relief :**

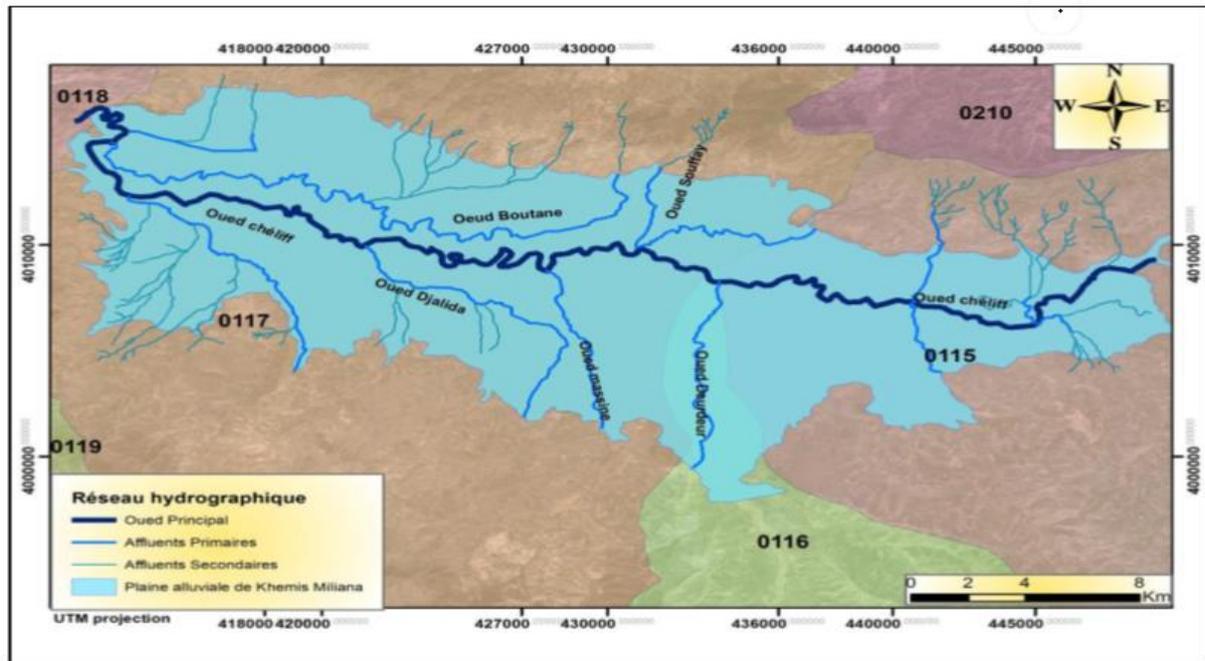
La région d'étude présente un relief assez accidenté avec une pente élevée. La topographie de cette région présente des pentes fortes de l'amont vers l'aval, ce qui favorise les écoulements avec des fortes vitesses.

#### **1-5-Réseaux Hydrographique :**

Le réseau hydrographique est sans doute l'une des caractéristiques les plus importantes du bassin et peut prendre une multitude de formes. Il est défini comme l'ensemble des cours d'eaux naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. La plaine alluviale de Khemis Miliana est traversée d'Est en Ouest par l'Oued Cheliff et ses principaux affluents qui alimentent la zone et qui sont l'Oued Souffay, l'Oued Millet et l'Oued Boutane au Nord, l'Oued Deurdeur, l'Oued Massine et l'Oued Harreza au sud,

**Tableau 03:.Réseau hydrographique de la plaine de Khemis-Miliana**

Cours d'eau (Les Oueds)	Longueur(m)	Direction d'écoulement
Souffay	4305.85	Nord-Sud
Millet / Boutane	5171	Nord Est-Sud Ouest
Deurdeur	30897	Sud-Nord
Massine	10273	Sud Est-Nord Ouest
Harreza	6424	Sud Est-Nord Ouest



FigureN°13: Réseau hydrographique de la Plaine d'El Khemis

## 1-6- Géologie et hydrogéologie

### 1-6-1-Géologie

La plaine est constituée par des alluvions récentes du Cheliff, formée de galets, graviers, sables sous-jacents à des niveaux argileux et limoneux dominant. Les alluvions anciennes sont de nature très diverse mais à fort pourcentage argileux en général. Au sud de la plaine, une carapace calcaire de tufs blanchâtres, compacts ou pulvérulents est particulièrement développée

### 1-6-2-Hydrogéologie

La plaine alluviale du Haut Cheliff est un remplissage alluvionnaire d'âge MoïPlio. En fin une carapace calcaire de tufs blanchâtres, compacts ou pulvérulents est L'alimentation de cette nappe est assurée par les eaux d'infiltration des: particulièrement développée au sud de la plaine (Sahraoui , 2014). résistivité de 100 ohm. m. Les marnes constituent le substratum de cet horizon aquifère

➤ Précipitation tombée sur la plaine.

La plaine proprement dite est constituée par des alluvions récentes du Cheliff, formée de

➤ Eaux de ruissellement des Oueds (Deurdeur, Cheliff, Souffay, Boutane).

(Tableau 2).

➤ Eaux d'irrigation excédentaire

**Tableau 04 : comportement hydrogéologique des différentes formations de la plaine du Haut Cheliff (Ikhlef ,2005).**

Formations	Epaisseur (m)	Age géologique	Comportement	hydrogéologique
Limons	6-20	Quaternaire	Imperméable	Peuvent rendre la nappe des alluvions captive
Alluvions grossière	50-150	Quaternaire	Perméable (Porosité d'interstices)	Captive a semi - captive(parfois libre)
Marnes	200	Pliocène	Imperméable	-----
Grés et Poudings	100-200	Miocène	Perméable (porosité d'interstices)	Captive a semi - captive (parfois libre)

#### 1-7-Situation démographique :

Selon les statistiques de la direction nationale des statistiques au 31/12/2016, la proportion de l'accroissement de la population pour la commune Khemis Miliana est estimée à 1,30% et le nombre de la population est de 94593 personnes .

**Tableau 05: Répartition de la population de Khemis Miliana**

Année	Nombre d'habitants
2012	89830
2013	90998
2014	92181
2015	93379
2016	94593

**Tableau06 : Taux d'accroissement de la population**

Année	Taux d'accroissement%
2012/2013	1,30
2013/2014	1,30
2014/2015	1 ,29
2015/2016	1,30

**1-8-Situation climatique :****1.8.1. Le Climat :**

Le climat de Khemis Miliana est caractérisé par un climat méditerranéen avec une saison sèche et chaude en été et une autre pluvieuse et froide en hiver. Les précipitations annuelles présentent une variabilité interannuelle importante, caractéristique d'un régime pluviométrique irrégulier. Les précipitations sont concentrées sur une partie de l'année (Octobre à Avril), et quant aux mois de Juin, Juillet et Août elles sont absentes ou faibles.

**A. Pluviométrie**

Sont dénommées précipitations, Formes variées sous lesquelles l'eau solide ou liquide contenue dans l'atmosphère se

dépense à surface du globe. Les différentes formes de la précipitation sont: la pluie, la neige, brouillard, grêle, rosée, la quantité de la précipitation est mesurée à l'aide d'un pluviomètre

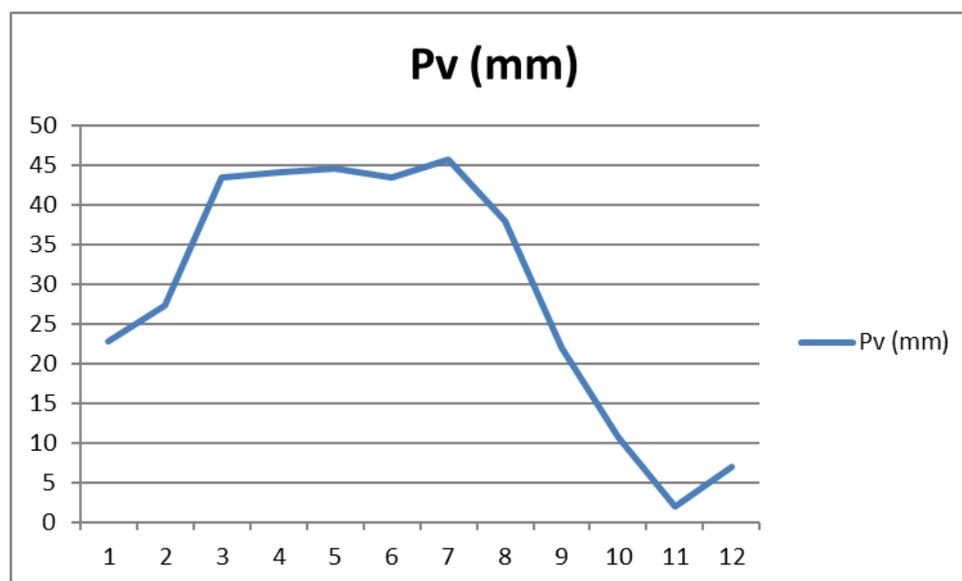
**B. Précipitations moyennes annuelles de Khemis Miliana :**

Pour l'étude des précipitations moyennes annuelles nous avons basé sur les données

Pluviométriques pour une période d'observation de 30 ans (1988-2018)

**Tableau 07: Précipitations moyennes annuelles de Khemis Miliana (1988-2018)**

Mois	sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Ver	Mar	Avr	Mai	Jui	Juit	Aou
<b>Pv (mm)</b>	24,0897	28,7297	44,634	43,3302	44,6656	44,1663	43,1951	36,9433	23,1259	10,9053	2.202	7,44789



**Figure N°14 : Variation des précipitations moyennes annuelles de la station de Barrage Harraza (1988-2018)**

On remarque que la période la plus pluvieuse s'étale du mois de

Janvier à Novembre, avec un maximum au mois de Janvier (44.6656mm).

La période sèche s'étale du mois de Juillet au mois d'Août, avec un minimum au mois de Juillet (2.202mm).

### C. La Température

La température est le deuxième paramètre de climat d'importance majeure pour la caractérisation du type de climat. Elle dépend du rayonnement solaire, de la pression de l'atmosphère, de sa composition en gaz.

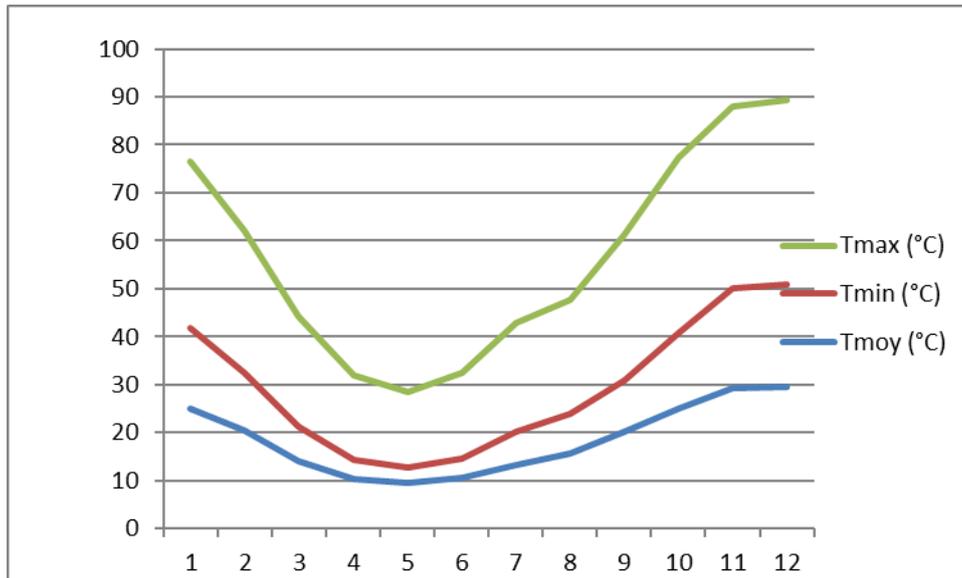
**Tableau 08 : Températures extrêmes et moyennes mensuelles en °C (1988-2018)**

mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Ver	Mar	Avr	Mai	Jui	Juit	Aou
Tmoy (°C)	25,0007	20,5	14,2	10,4	9,4	10,5	13,2	15,6	20,3	25,0	29,4	29,6
Tmin (°C)	16,8	12,1	7,0	4,0	3,2	4,1	7,1	8,2	10,7	15,7	20,8	21,2
Tmax (°C)	34,8167	29,6233	22,9733	17,5467	15,7933	17,7167	22,6867	24,0138	30,4333	36,65	37,84	38,6267

**T moy** : moyenne mensuelle des températures.

**T min** : moyenne mensuelle des températures minimales.

**T max** : moyenne mensuelle des températures maximales



**Figure N°15 : variation de la température moyenne mensuelle de la station de Barrage Harraza (1988-2018)**

- Un pôle froid allant du mois de Novembre au mois d'Avril ou la température atteint 3.7°C (En mois de Janvier).

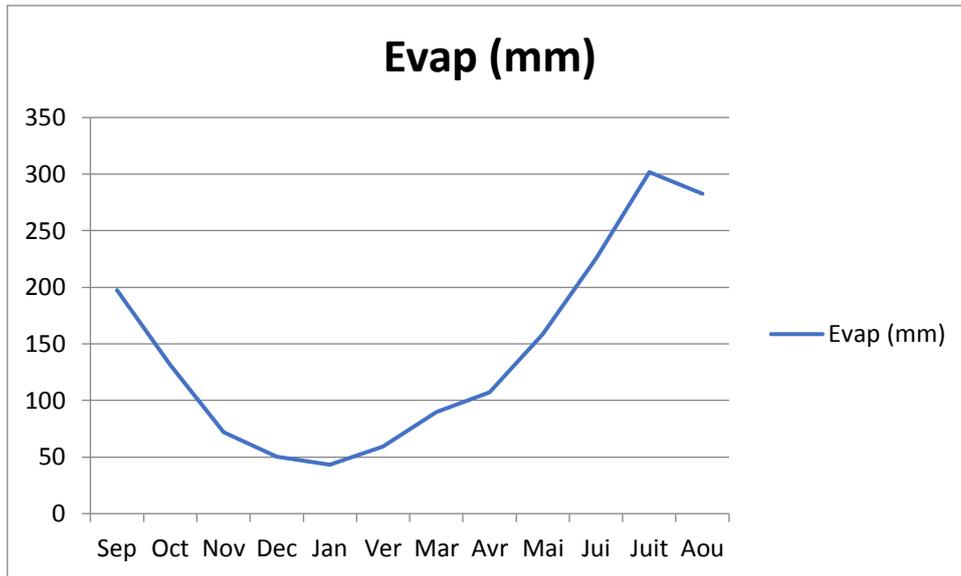
- -Un pôle chaud allant du mois de Mai au mois d'Octobre ou la température atteint 38.6267°C (En mois de AOUT).

**D. Evaporation :**

L'évapotranspiration est un facteur important dans le bilan hydrologique. C'est un paramètre essentiel pour l'évaluation des besoins en eau des cultures, et par conséquent pour la demande en eau à prendre en compte dans la planification (Aithassou, 2013)

**Tableau 09 : Evaporation moyenne mensuelle en mm (1988-2018)**

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Ver	Mar	Avr	Mai	Jui	Juit	Aou
Evap (mm)	197,4	131,857	72,07	50,15	43,2233	59,33	89,7	107,384	158,432	225,714	301,7	282,37

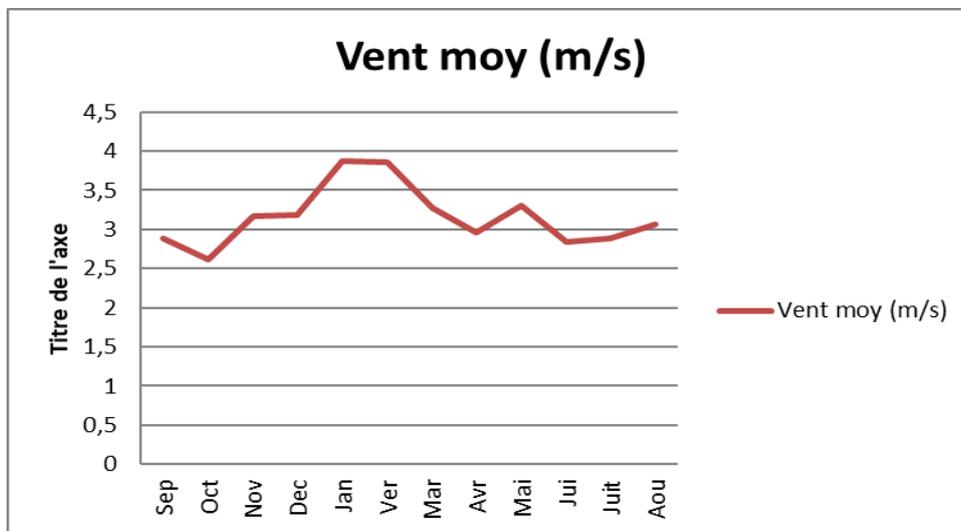


**Figure N°16 : Evaporation moyenne mensuelle (1988-2018)**

La valeur maximale de l'évaporation est enregistrée dans le mois de juillet, elle atteint 305.6mm.

-La valeur minimale de l'évaporation est enregistrée dans le mois de janvier, elle est de 44.6656mm. on remarque que la période la plus pluvieuse s'étale du mois de Janvier à Novembre, avec un maximum au mois de Janvier (44.6656mm).

La période sèche s'étale du mois de Juillet au mois d'Août, avec un minimum au mois de Juillet (2.202mm).



**Figure N°17 : Variation de vitesse moyenne mensuelle du vent au niveau de la station de Barrage de Harraza (1988-2018).**

-La vitesse moyenne mensuelle maximale est de 3,9 km/h, elle est observée au mois de janvier et février

-La vitesse moyenne mensuelle minimale est de 2,6 km/h, elle est observée au mois de Octobre.

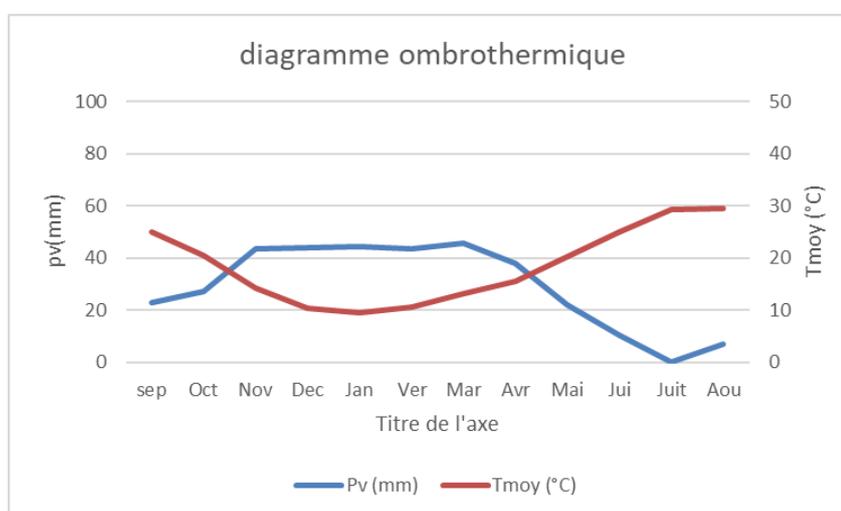
**E. Diagramme Ombrothermique de Gausсен :**

. Le diagramme Ombrothermique de Gausсен (1953) ou le climagramme pluviométrique de Gausсен est une représentation graphique de variation de précipitation et de température en fonction du temps (mois) qui nous permet de déterminer la période sèches et humides d'une région.

Le diagramme Ombrothermique de l'année concerée montre que la période séché est très longue, elle s'étale sur environ 07 mois allant du début du mois de avril jusqu'à le mois de novembre.la Période humide qui représente les mois pluvieux et ayant la basse température, au court de cette année. Elle commence à partir du mois décembre et se termine au mois d'avril (5mois).

**Tableau 10 : Précipitations et températures moyennes mensuelles de la station de Barrage Harraza (1998-2018)**

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Ver	Mar	Avr	Mai	Jui	Juit	Aou
T moy (°C)	25,0007	20,4767	14,2	10,4	9,4	10,5	13,2	15,6	20,3	25,0	29,4	29,6
P v (mm)	22,7733	27,2667	43,4467	44,06	44,5733	43,3733	45,6667	37,9867	21,9433	10,61	1,92	7,01



**FigureN°18 : Diagramme de Gausсен pour la plaine d'El Khemis.**

Le diagramme Ombrothermique a été établi à la Cheliff Harraza montre que le mois de mars représente le mois le plus pluvieux durant une longue période (1989-2018) de 45,66 mm., le mois de juillet représente le mois le plus sec. La période humide s'étale de la fin d'Octobre jusqu'à mi-avril.

La période sèche s'étale de mi-avril jusqu'à la fin d'Octobre, soit six mois pendant lesquels l'irrigation est indispensable pour compléter les besoins en eau des cultures.

**Conclusion :**

L'étude du cadre physique de la plaine de Khemis Miliana abouti aux conclusions suivantes :

La plaine de Khemis Miliana est soumise à un climat méditerranéen de type semi-aride, avec un hiver froid et pluvieux et un été chaud et sec

- L'agriculture au niveau de la municipalité de Khemis Miliana a un rang important et cela est dû aux terres fertiles et irriguées qui la caractérisent, car elle contient un important réseau hydrographique et contient de nombreux réservoirs.

# **Chapitre IV**

## **Matériel et méthodes**

### 1-Présentation du site expérimental (site d'étude)

Le site expérimental retenu se situe au niveau de l'université Khemis Miliana et qui correspond au site d'expérimentation du projet PRIMA-WATERMED. Les coordonnées géographiques de la parcelle d'étude sont les suivantes :

**Tableau 11 : Caractéristique de la parcelle d'étude.**

Wilaya	Commune	Périmètre (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Latitude	Longitude
Ain Defla	Khemis Miliana	160m	1200m <sup>2</sup>	36°15'01"N	2°14'20"E



**Figure 19 : Localisation de la parcelle d'étude (Google Earth, 2022)**

### 2-Installation des panneaux solaires

Premièrement, nous avons divisé le terrain en deux zones de 600 mètres carrés chacune, nous avons surveillé, nous avons juste labouré et planté. Le second est destiné à l'installation du système APV.

Le plan de génie civil des panneaux solaires et faux panneaux solaires se compose de cinq lignes espacées de 4,5 mètres et de 2,8 mètres de haut, et chaque ligne comporte 9 poteaux. L'énergie produite fournira de l'électricité verte pour la serre (hydroponie, humidificateur et pompes d'irrigation ) d'un côté. D'autre part, nous connectons ce système de générateur d'énergie renouvelable à la pompe reliée au réservoir d'eau d'une capacité de 20 à 25 mètres cubes.

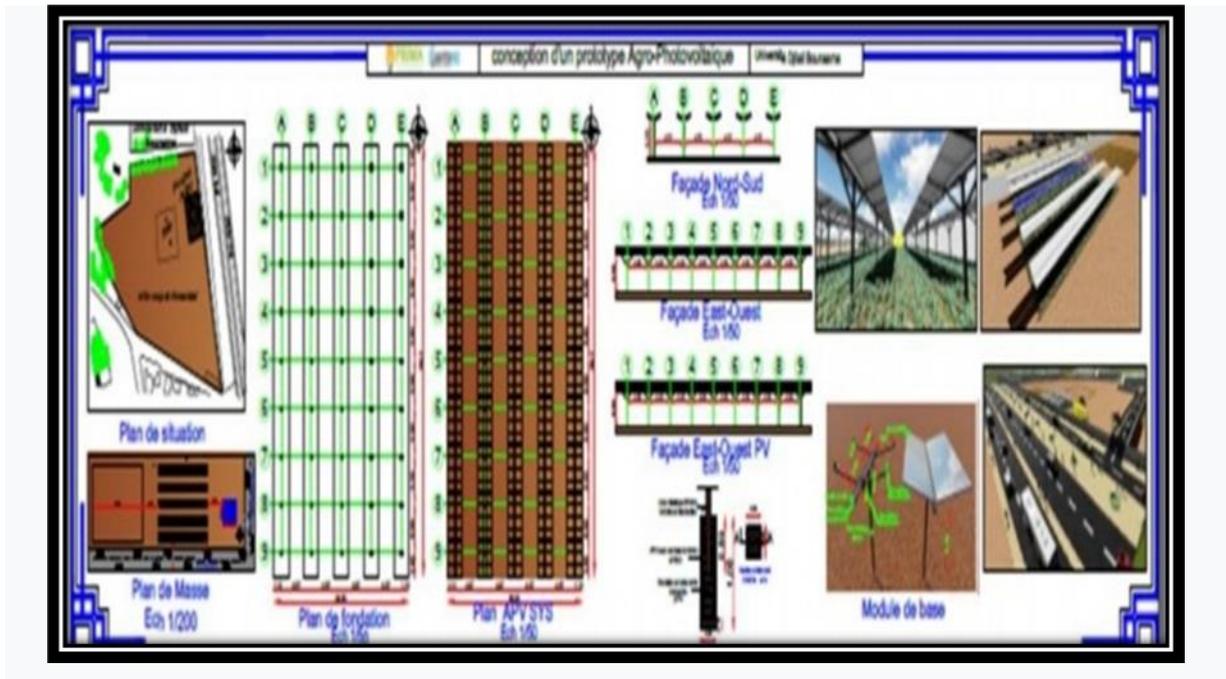


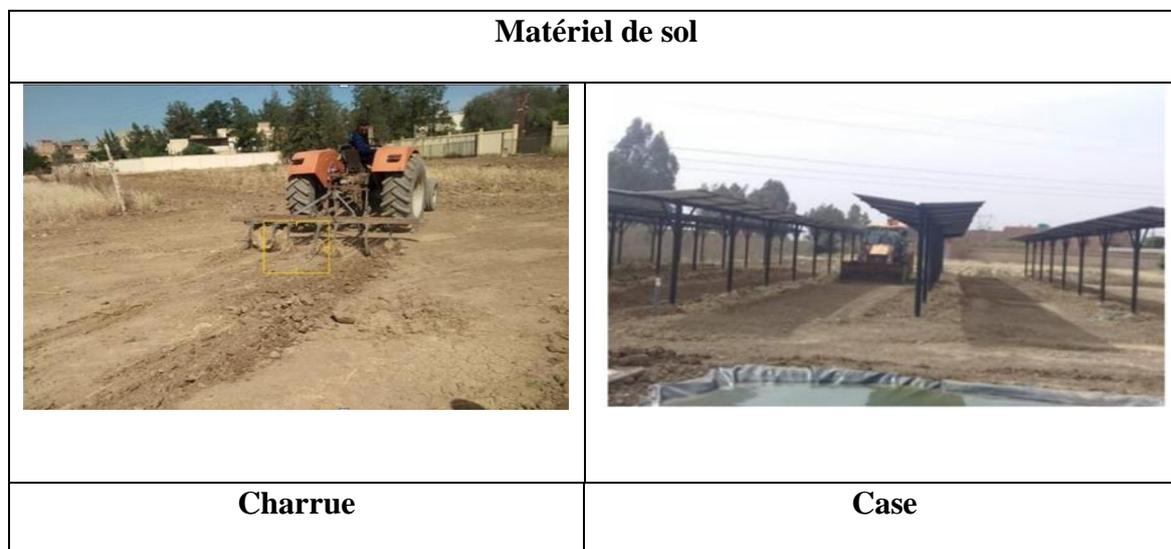
Figure 20: Plan du système APV (WATERMED 4.0 projet .2021)

Matériel utilisé dans APV		
		
Panneau solaire	Local technique	Système de transformation L'Énergie solaire à l'énergie électrique

Figure N°21: Matériels utilisée dans l'installation des panneaux solaire et local techniques.

### 2-1- Préparation de terrain

Il est d'abord suggéré d'aérer le sol et les pépinières pour la plantation par un labour superficiel avec une charrue canadienne. La correction de pente fait également partie de cette étape car une légère pente vers le côté sud du site expérimental (site expérimental) a été observée.



**Figure N°22 : matériels utilisée pour laboure du sol .**

### 2-2-Choix de système d'irrigation à installer

Le système d'irrigation utilisé pour cette expérimentation est le goutte à goutte. Ce système permet d'économiser l'eau en donnant ce qu'il faut à la culture (jusqu'à 30% de la ressource en eau). Il permet une certaine liberté de contrôle de d'irrigation.

### 2-3-Alimentation du bassin d'irrigation

Il est d'abord alimenté en eau par l'office National d'Irrigation et de Drainage et contient également un autre système d'alimentation, l'eau de la Pluie qui est récupérée par le système de récupération des eaux pluviales du système APV. Un autre type d'eau peut également être considéré dans cette expérience est la réutilisation de l'eau purifiée.



**Figure 23 : Bassin d'irrigation avec une pompe.**

### **2-5-Choix de culture**

Le choix de culture s'est porté sur la pomme de terre ; la pomme de terre c'est une culture localisée , le moment de la plantation est le moment de planter des pommes de terre.

La consommation des pommes de terre est importante.

### **3-Calcul des besoins en eau des cultures**

La détermination des besoins en eau d'une culture nécessite la connaissance de divers paramètres tels que les données d'occupation et de répartition culturale dans le périmètre ainsi que les données climatiques et pédologiques de la région.

### **4-Dispositif expérimental**

#### **4-1-Plantation**

Tout d'abord, Nous avons apporter des tubercules germes ; Le 27/02/2022 nous avons semé les tubercules par trou à 10 cm de profondeur environ avec une distance de 15 à 20cm entre deux plantes. Après 3 jours nous avons irrigué pendant 3 heures.

#### **4-2-La fertilisation**

le 17/03/2022 nous utilisons l'engrais NPK 15/15/15 ; 50kg dans le carré témoin et dans le APV.

### 5-Présentation du protocole expérimental

Nous avons opté pour une configuration du Protocole expérimental bloc aléatoire de telle sorte obtenir différentes micro zones en termes de pourcentage d'ombrage produit par le système agro photovoltaïque sur le sol

#### 5-1-Explication du bloc aléatoire

Le schéma suivant représente une explication détaillée. D'abord nous avons divisé le terrain d'une surface de 600 m<sup>2</sup> en 9 micros zone à égale distance, la distance entre chaque micro zone est 0,50 mètres. Chaque micro zone comporte 12 rampes de système d'irrigation goutte à goutte espacés de 0,50 m et 10 cm de distance entre goutteurs d'un débit 2 l/h. où la distance entre chaque plante est de 0,50 m ; Où les panneaux solaires sont déjà installés

Cette configuration est appliquée également à parcelle témoin.

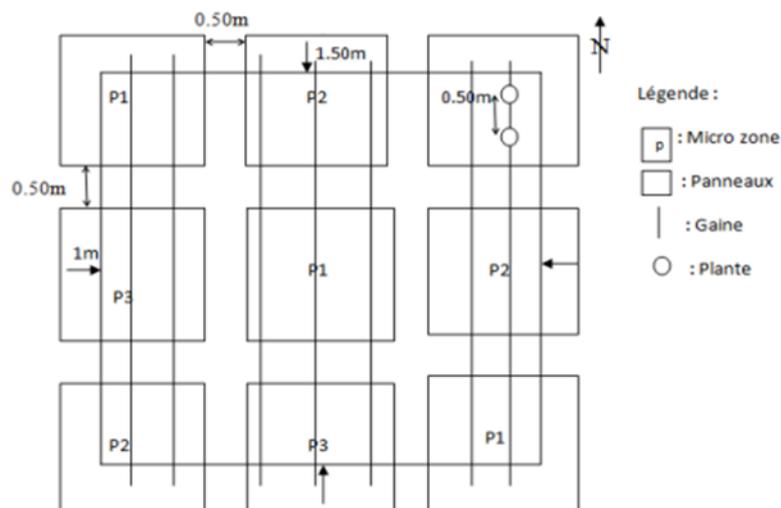


Figure 24: Schéma représentatif du bloc aléatoire.

### 6-Echantillonnage

Le prélèvement du sol sera abordé dans bloc aléatoire de manière à suivre les paramètres de l'eau, du sol et de la culture.

Nous prélevons des échantillons du sol, eau et culture de manière aléatoire sur deux profondeurs 0.20 m et 0.40 m.



**Figure 25: Prélèvement des échantillons Des sols à l'aide d'une tarière.(Ouhemna et Boutareg 2022)**

### 7-Suivi de l'état hydrique du sol :

**Méthode direct** (méthode de double pesée) : prendre un volume de sol à l'état humide est peser, faire l'échantillon dans l'étuve pondent 24 h à 105°C et refaire l'opération de peser. Après calculé la déférence entre le poids humide et le poids sec.

**Méthode indirecte** : utilisé le TDR



**Figure 26: Suivi de l'état hydrique du sol par TDR.(Ouhemna et Boutareg 2022)**

**Les formules utilisées dans les calculs :**

Humidité du sol  $P = (P_h - P_s) \times 100 / P_s$

Avec :  $P_h$  = le poids humide de l'échantillon.

$P_s$  = le poids sec de l'échantillon après le séchage dans l'étuve à 105°C.

### 8-Suivi des caractéristiques morphologiques :

Nous avons choisi trois plantes dans chaque plot pour faire le suivi de l'état morphologique des cultures. Les paramètres étudiés sont les suivants :

- Longueur (Rameau + Feuille)
- Nombre de feuilles par plant
- La hauteur de la plante
- Nombre de ramification



**Figure 27 : Suivi de la croissance végétative. (Ouhemna et Boutareg 2022)**

### **9-Contrôle visuel des cultures :**

Nous avons effectué un contrôle visuel sur l'ensemble de la parcelle depuis le jour de plantation. Ce contrôle permet de détecter les maladies qui peuvent apparaître au cours du cycle végétatif des cultures.

### **10-Analyses physiques-chimiques du sol**

#### **Echantillonnage :**

- **Séchage des échantillons :** Les échantillons doivent être séchés dans un endroit à température ambiante.
- **Tamissage :** Le tamissage sera effectué avec la réduction des agrégats pour séparer le plus souvent possible les particules ayant atteint taille voulue. On utilise un tamis de 2 mm

#### **1- Analyse physique :**

#### **Granulométrie (Pipette de ROBINSON)**

#### **Réactifs et appareillages utilisés**

- Eau oxygénée,  $H_2O_2$  à 6 %
- Pyrophosphate de sodium,  $Na_4P_2O_7 \cdot H_2O$
- Agitateur mécanique, balance, étuve, 1 bec BUNSEN

- Tamis de 0.05 mm, 0.2 mm et 20 mm
- 1 bécher de 1 l
- 2 éprouvettes de 50 ml (ou 100 ml)
- 1 flacon de 1 l avec bouchon en caoutchouc
- 3 petites boîtes métalliques pour prélèvement

**Mode opératoire****• Premier jour :**

- On tamise le sol avec un tamis de 2 mm pour séparer les éléments grossiers et fins
- On prend 10 g de sol fin (2mm) dans un bécher

**Destruction de la matière organique :**

- Verser dans un même bécher 50 ml de l'eau oxygénée à 30 %
- Laisser macérer pendant une nuit (on le met dans un grand bécher)

**Deuxième jour :**

- On chauffe le bécher sur agitateur à température 100 °C jusqu'à disparition de la mousse.
- On ajoute 20 ml d'eau oxygénée (on ajoute ces gouttes après l'échauffement de bécher).
- L'opération est terminée lorsqu'il y a arrêt de l'effervescence.

**Disparition des éléments argileux :**

- On ajoute le contenu dans un grand bécher + 40 ml d'héxamétaphosphate à 4 %.
- Agiter pendant 2h dans l'agitateur mécanique à une vitesse de 30 à 50 tours / min.
- Mettre un entonnoir avec tamis de 0.05mm sur le cylindre et tamiser la suspension.
- Laver avec de l'eau distillée jusqu'à ce que toutes les particules < 0.05 mm passent à travers le tamis dans le cylindre.
- Remplir le cylindre avec l'eau distillée jusqu'au trait ajusté au 1000 ml (1L).
- Mettre le sable : restant dans le tamis dans une capsule de poids connu et sécher dans l'étuve à 150 c° pendant 15 heures.

**Sédimentation et prélèvement :**

- Mesure de la température des solutions qui se retrouvent dans le cylindre.

• **Mesure à la pipette de Robinson :**

- Avant de commencer les mesures, il faut agiter plusieurs fois avec un pied spécial
- Pour la fraction totale < 0.05 mm (LG + LF + A + sels solubles) on agite le cylindre et on prend immédiatement un prélèvement de 10 ml du milieu du cylindre. Dans une capsule (avec couvercle) d'un poids connu.
- Pour la fraction < 0.02 mm (LF + A + sels solubles) on agite le cylindre et on prend un prélèvement à 10 cm après 4min 40 sec. Dans une capsule (avec couvercle) d'un poids connu.
- Pour la fraction < 0.002 mm (Argile + sels solubles) on agite 10 fois par le pied le cylindre et on prend un prélèvement à 6 cm qui correspond à la température de solution après 4h et 39min. Dans une capsule (avec couvercle) d'un poids connu.
- On met ces capsules du poids connu dans l'étuve à 105 c° pendant 15 heures pour le séchage.
- On laisse refroidir également le sable et on le pèse. Ensuite, on tamise à sec à l'aide de deux tamis superposés de 0.250 mm et 0.045 mm.
- On récupère les deux quantités dans les capsules de poids connu et on pèse ces capsules pour déterminer le sable fin (SF) et le sable grossier (SG).

$\%A = (a \times b) / (p \times v) \times 100$
$\%LF = (b-a) \times v / (p \times v) \times 100$
$\%SF = c/p \times 100$
$\%SG = d/p \times 100$
$\%LG = 100 - (\%A + \%LF + \%SF + \%SG)$

- a (grammes) :** Poids de l'argile prélevé et pesé à sec.
- b (grammes) :** Poids de (Limon fin + Argile) prélevé et pesé à sec.
- c (grammes) :** Poids de sable fin prélevé et pesé à sec.
- d (grammes) :** Poids de sable grossier prélevé et pesé à sec.
- v (grammes) :** Volume de la pipette de Robinson = 10 ml.
- V :** Volume total de l'allonge égale 1000 ml

**Tableau 11: Répartition des différents types de textures en fonction de diamètre des particules.**

Le diamètre des particules mm	Type de texture
< 0.002	Argile
0.002 à 0.02	Limono fin
0.02 à 0.05	Limono grossier
0.05 à 0.2	Sable fin
0.2 à 2	Sable grossier



**Figure 28: Analyse granulométrique avec pipette de Robinson.(Ouhemna et Boutareg 2022)**

#### **Densité apparente :**

Un cylindre de volume  $V$  connu est introduit entièrement dans le sol en préservant la structure de ce dernier. Le sol contenu dans le cylindre est ensuite séché à  $105^{\circ}\text{C}$  à l'étuve, puis son poids  $P$  est déterminé par pesée. La densité apparente ( $D_a$ ) est obtenue par le rapport  $D_a = P/V$ .

#### **Porosité totale :**

La porosité exprimée en % du volume du sol non occupé correspond à l'ensemble des vides du sol non occupé par les substances solides. Elle est déduite de la densité apparente par la formule  $P = (1 - D_a/D_r) \times 100$  Où 2,65 représente la densité réelle moyenne d'un sol séché

désagrégé. Les normes d'interprétation de la porosité d'après le Mémento de l'Agronome (1993) sont consignées dans le tableau ci-après.

**Tableau 12. Norme d'interprétation de la porosité (mémento d'agronomie, 1993)**

Porosité (%)	35	35-40	40-45	45-50	50-55
Appréciation	Très mauvais	Mauvais	Médiocre	Bonne	Très bonne

## 2-les analyses chimiques :

### 1. Conductivité électrique

#### • Réactifs et appareillage :

- Eau distillée
- KCL (0.02N)
- Balance, agitateur mécanique
- Bêchers de 100 ml

#### • Mode opératoire : (Extrait au 1/5)

- Peser 20 g de terre (2mm) dans un bécher de 100 ml et ajouter 100 ml d'eau distillée
- Agiter 1 heure avec un agitateur mécanique
- Laisser reposer demi-heure (ou bien faire le filtrage)

\*Pour l'étalonnage de l'appareil : On met le KCL (0.02N) à l'étuve, on mesure la température jusqu'à 25 0C

$$CE = CE3 \times f(t)/k$$

$$K = CE1 \times f(t)/CE2$$

**CE3** : CE de la solution à analyser lu l'appareil à la température (t).

**CE1** : valeur de la solution KCL lue sur l'appareil à la température T.

**CE2** : CE de KCL (0.02 N à 25 c°. Elle est égale à 2.76.

La valeur  $K < 1$

**F(t)** : Coefficient de correction de l'effet de la température.

**K** : Constante.

**Calcul de la CE3 (de la solution à analyser) :** elle est lue sur l'appareil à la température (t).

Echelle Américaine	Non salé	Peu salé	Salé	Très salé	Extrêmement Salé
CE (mmhos/cm) à 25°C	<2	2à4	4à8	8à16	>16

**Tableau 13 :** Interprétation des valeurs de la conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée à 25°C (USSSI, 1954).

## 2. Analyse de pH eau et pH KCl :

### • Réactif et appareillage :

- KCL 0.1 n
- Balance
- Bécher de 100 ml, éprouvette de 50 ml
- Tube en verre ou agitateur magnétique

### • Mode opératoire :

#### ➤ pH eau :

- On pèse 20g du sol (0.2mm)
- On le met dans un bécher et on ajoute 50 ml d'eau distillée.
- On agite pendant 5 min dans un agitateur rotatif.
- On passe au pH-mètre et on lit le résultat.

#### ➤ pH KCL :

- On ajoute à la solution du pH eau 3.72 g de KCL.
- Agiter à l'agitateur rotatif pendant 5 min.
- On passe au pH-mètre et on lit le résultat

\*Pour étalonner l'appareil, on mesure la température de l'air et on règle la température de l'appareil.

Tableau 14 : Echelle de classification du pH de la solution du sol

pH	5-6.5	<3.5	3.5-4.2	4.2-5	6.5-7.5	7.5-8.57	<8.7
Classes	Hyper acide	Très acide	Acide	Faiblement acide	Neutre	Basique	Très basique



Figure 29: Dosage de pH.(Ouhemna et Boutareg 2022)

### 3. Dosage de la matière organique (Méthode Anne)

- **Pour l'échantillon :**

- On met 1 g de sol (0.2 mm) dans un bécher
- On ajoute 10 ml de  $K_2Cr_2O_7$  (Dichromate de potassium) + 20 ml d'acide sulfurique concentré.
- On mélange la solution et on laisse reposer 30 minutes

- **Pour le témoin :**

- Dans un bécher on met 10 ml de  $K_2Cr_2O_7$  + 20 ml d'acide sulfurique concentré
- Laisser reposer 30 minutes.
- Mettre chaque préparation dans des fioles de 250 ml et compléter avec l'eau distillée.
- Prélever 20 ml de chacun des béchers (échantillons et témoin) et ajoute 1 ml de  $H_3PO_4$  + 3 gouttes de diphénylamine et agiter pendant 5 minutes dans un agitateur rotatif.

- **Titrage :**

- On titre avec le sel de mohr à 0.2N, on le met dans une burette de titrage

- On titre les solutions jusqu'à ce qu'il y a virage du bleu foncé vers le vert
- On prend le volume descend sur la burette pour le témoin et aussi pour les échantillons

$$\% C = (V \text{ témoin} - V \text{ échantillon}) * 0.615/p$$

**P** : poids du sol égale 1 gramme.

$$\% MO = \% C * 1.72$$

**C%** : Le pourcentage du carbone oxydé.

**MO %** : Le pourcentage du Matière organique.



Figure 30 : Dosage de la matière organique.(Ouhemna et Boutareg 2022)

Tableau15 : Norme d'interprétation de la matière organique (méthode Anne ISO 10693)

Sol	Taux de matière organique %
Très pauvre	<1
Pauvre	1-2
Moyen	2-4
Riche	>4

### 1. Dosage du Calcium et $\Sigma(Ca+Mg)$ par complexométrie :

#### A- Préparation de la solution du sol :

##### • Réactifs et appareillage :

- Eau distillée
- Balance, agitateur mécanique



**\*Dosage du sodium (Na<sup>+</sup>) par spectrophotométrie d'émission de flamme :****A-Réactifs :**

- Peser 2.54 g de chlorure de sodium séché pendant une heure dans une étuve à 105°C.
- Dissoudre cette même quantité dans de l'eau distillée et compléter à 1 l. Cette solution a une concentration de 1000 mg/l de sodium.
- Conserver cette solution dans une bouteille en plastique
- Par dilution, préparer quotidiennement une solution de 10 mg/l, en 1 ml de la solution précédente dans 100 ml d'eau distillée.

**B-Mesure :**

- Faire passer le blanc (H<sub>2</sub>O distillée) 3 fois
- Faire passer en photomètre à flammes la solution d'étalonnage de 10 mg/l, 3 fois.
- Faire passer le blanc et après les échantillons, si la concentration en Na<sup>+</sup> est supérieure à 10 mg/l, procéder à la dilution de l'échantillon, la concentration correspondant aux extinctions X facteurs de dilution.

**Erreur absolue estimée : ±1.15 mg/l**

**\*Dosage de Potassium (K<sup>+</sup>) par spectrophotométrie d'émission de flammes :****A-Réactifs :**

- dissoudre 1.907 g de KCl (ayant été séché à 105°C pendant 1 heure de temps) dans un litre d'eau distillée. Cette solution a ainsi une concentration égale à 1000 mg/l de Potassium K<sup>+</sup>.
- Soit C1 = 1000mg/l, la solution doit être stockée dans une bouteille en plastique.
- A partir de C1 préparer quotidiennement une solution de 10 mg/l en prélevant 1 ml q.S.p.100.

**B-Mesure :**

- Faire passer le blanc (H<sub>2</sub>O distillée), ça doit afficher '0.00'
- Faire passer la solution de 1 mg/l trois fois et ça doit afficher '10'.
- Faire passer ensuite les échantillons orant passer le blanc. Si la concentration en Potassium dépasse 10 mg/l, procéder à la dilution de l'échantillon.



**Figure 31 : Mesure de potassium et sodium par photomètre a flamme .**

Calculer les SAR :

**SAR** :  $\text{Na} / \sqrt{1/2(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})}$ . Exprimé en meq/l.

**Tableau 17: Interprétation de SAR.**

L'échelle	0-3	3-6	6-9	Au-delà 9
Type d'eau	Très bonne qualité	Bonne qualité	Qualité médiocre	Très mauvais qualité

# **Chapitre V**

## **Résultats et discussions**

## 1. Caractérisation du sol de la parcelle

### 1.1 Résultats des analyses physiques

#### 1.1.1. Granulométrie

Les résultats de l'analyse granulométriques à différentes profondeurs sont présentés dans le tableau suivant :

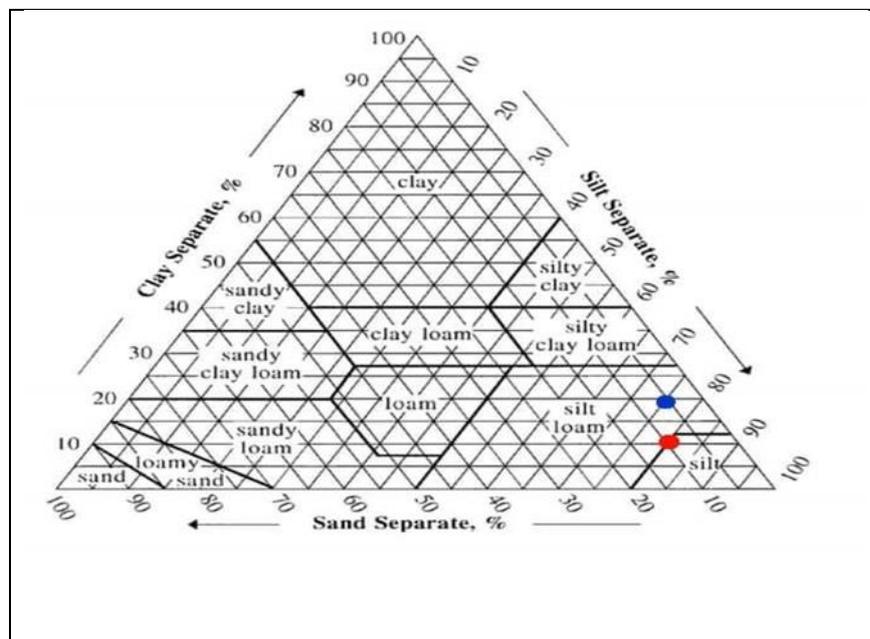


Figure 32 : Triangle de texture USDA

Les résultats granulométriques montrent, qu'il y a une diminution en teneur en sable entre 7.4 et 10.27 %, en limon entre 74-79 %, en argile entre 10-18 %

La proportion en limon est la plus importante dans tous les niveaux de mesure.

Selon le triangle de texture le sol a **une texture limoneuse**.

#### 1.1.2. Densité apparente ( $D_a$ ) et porosité

Les résultats obtenus pour les deux horizons sont portés dans le tableau suivant :

Tableau 17 : La densité apparente et de porosité

Point d'échantillonnage	Da (g/cm <sup>3</sup> )	Porosité %
APV 20	1,20	54,71
Témois 20	1,24	53,21
APV 40	1,66	37,36
Témois 40	1,82	31,32

Comme mentionné dans le chapitre précédent, la densité réelle est de 2,65 pour toutes Les mesures qui ont été faites à deux endroits et à deux profondeurs différentes, la densité varie légèrement. valeurs sont comprises entre 1.20%et 1.82%. Ces valeurs de densité apparente sont dues à l'abondance des particules argileuses fines qui compactent et densifient le matériau (Duchauffour, 1977). Ce qui caractérise le sol de notre parcelle d'étude avec une dominance de texture argileuse.

Les valeurs de la porosité dans les différents points sont comprises entre 31% et 37% à profondeur (0-20cm) dans APV et Témois. Les sols de ces sites présentent en général une mauvaise porosité.

Les valeurs de la porosité dans les différents points sont comprises entre 50% et 55% à profondeur (20-40cm) dans APV et Témois. Les sols de ces sites présentent en général une très bonne porosité.

Il est à noter qu'un horizon à faible porosité sera un horizon ayant une résistance mécanique plus importante à la pénétration des racines et il aura également un coefficient de ki perméabilité à l'eau nettement inférieur par rapport à un sol à porosité plus élevée.

## 1.2. Résultat des analyses chimiques

### 1.2.1. pH et conductivité électrique

**Tableau 18 : Résultats de pH et CE.**

CE (1/5) ds/m à 26 °C	APV	20cm 40cm	2,8
	Témois	20cm 40cm	2,84
pH(kcl)	APV	20cm 40cm	7,55
	Témois	20cm 40cm	7,59
pH(eau)	APV	20cm 40cm	7,94
	Témois	20cm 40cm	7,84

- Les résultats du pH indiquent la prédominance de sol à pH basique. (D'après les Normes de pH).
- La conductivité électrique des sols pour la profondeur de 20 cm varie entre 2.74 et 3.06 ds/m dans le témoin et APV. Pour la profondeur de 40 cm elle varie entre 2.6 et 2.86 ds/m témoin et APV.

D'après les normes d'interprétation de conductivité électrique (USSSI, 1954). le **sol Peu salé**. Donc ces valeurs de conductivité électrique ont un effet de diminution du rendement des cultures très sensibles au sel.

### 1.2.2 Matière organique

**Tableau 19 : Résultat de matière organique.**

	APV	Témois
20cm	2,19	1,59
40cm	2,50	2,67

L'analyse des résultats de la matière organique montre que le sol présente un teneur Moyen en matière organique.

### 1.2.3. Résultats des analyses des sols avant fertilisation

**Tableau 20 : Résultats des analyses des sols avant fertilisation.**

Analyses du sol	Profondeur	Calcium	TH mg/l	Phosphore	Potassium	Sodium	Azote mg/100g	Magnésium
APV	20cm	14,54	16,14	1,78	0,81	0,25	2116,67	1,6
	40cm	13,25	16,07	1,62	0,81	0,25	2166,67	2,82
Témoin	20cm	16,46	17,23	1,10	0,25	0,25	633,33	0,77
	40cm	13,57	17,16	0,82	0,082	0,25	550	3,58

### Résultats des analyses des sols après fertilisation

**Tableau 21 : Résultats des analyses des sols après fertilisation .**

Analyses du sol	Profondeur	Calcium	TH mg/l	Phosphore	Potassium	Sodium	Azote mg/100g	Magnésium
APV	20cm	3,06	36,02	4,82	9,95	0,38	46500	20,73
	40cm	2,89	35,70	1,35	4,73	0,81	46500	21,27
Témoin	20cm	2,91	16,33	0,15	3,61	3,38	46500	1,78
	40cm	2,35	20,45	0,0035	2,30	5,09	46500	8,69

### 2. Résultats des analyses de l'eau d'irrigation

**Tableau 22 : Résultats des analyses de l'eau d'irrigation**

Calcium	Magnésium s	TH	Sodium	Potassium	Phosphore	Ammonium	Born	Cl-	SO4 2-
192,38 mg/l	153,6 mg/l	345,98 mg/l	23,846 mg/l	3,851 mg/l	<0.2 mg/l	7 mg/l	0,22 mg/l	13,8 mg/l	3000 mg/l

**SAR : 0,31 meq/l**

D'après les normes d'interprétation de SAR d'eau d'irrigation **très bonne qualité.**

**3.Calcul des besoins en eau des cultures et des besoins en eau d'irrigation :**

**Tableau23 : Evapotranspiration de référence**

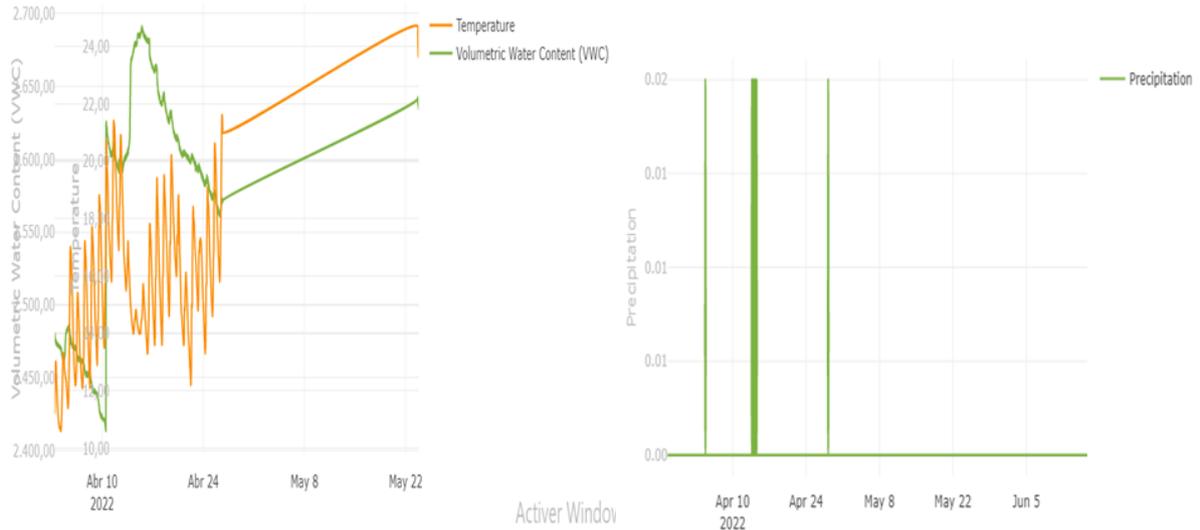
Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc	Jan	Fér	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août
ET0 (mm/mois)	123,44	80,47	47,32	33,27	39,65	44,45	77,77	98,3	138,87	154,71	175,29	164,86

mois	p moy (mm)	pluies eff	ET0	KC	ETM	RFU réelle	besoin net	besoin brute
septembre	23,03	15,35	123.44					
octobre	27	17,99	80.47					
novembre	45,36	30,23	47.32					
décembre	44,18	29,45	33.27					
janvier	41,99	27,99	39.65					
février	41,67	27,77	44.45					
mars	41,36	27,57	77.77	0,5	38,885	7,93	7,35	7,737345
avril	33,99	22,66	98.30	0,65	63,895	15,86	37,27	39,234129
mai	16,79	11,19	138.87	1,15	159,7005	31,73	132,6455	139,635918
juin	9,48	6,32	154.71	0,75	116,0325	31,73	93,8475	98,7932633
juillet	2,23	1,48	175.29					
août	5,39	3,59	164.86					

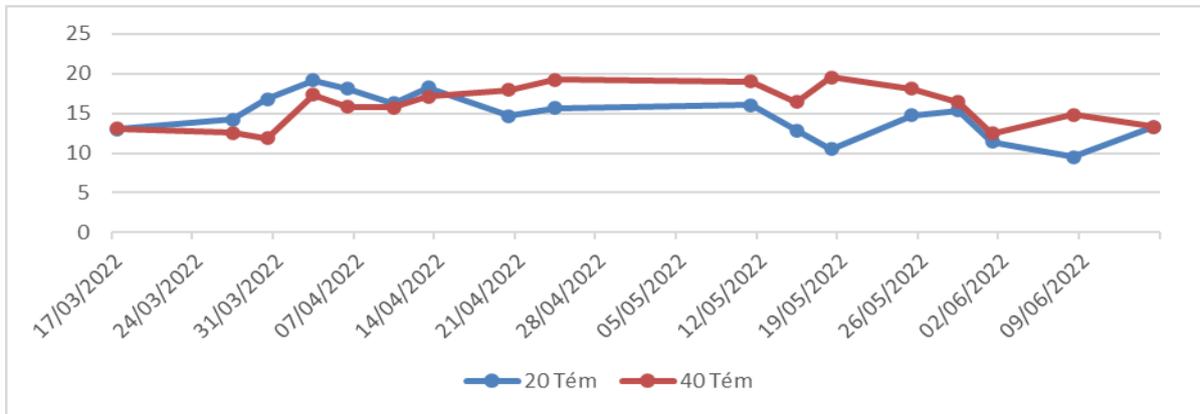
**4.Suivi de l'état hydrique du sol**

**Calendrier d'irrigation :**

LE mois	Mai	Juin
Les jours d'irrigation	8-12-22-27-31	5-10



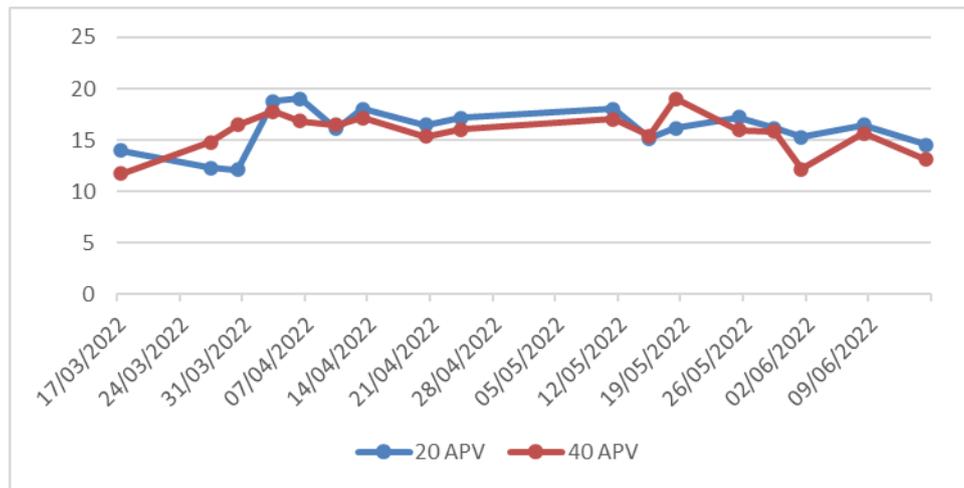
➤ **Témoïn**



**Figure 33: Evolution de l’humidité du sol (Carré témoïn)**

On remarque que l’humidité du sol Dans la période de la pluviométrie (17/03/2022 jusqu’à le 10/04/2022) importante dans la profondeur 20 cm par rapport de 40cm et après le 10/04/2022 jusqu’à 09/06/2002(période d’irrigation) On remarque que l’humidité du sol dans la profondeur 20 Cm diminue en fonction de l’augmentation de la température Et evatranspirations.

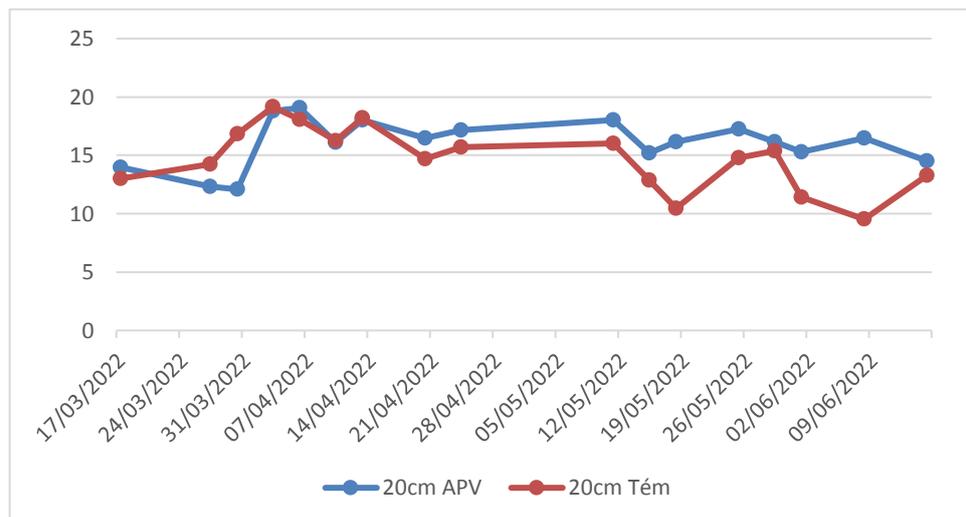
➤ **APV :**



**Figure34 : Evolution de l'humidité du sol (Carré APV).**

On remarque que l'humidité du sol est la même toute la période de la plantation sous les panneaux solaires, Surtout dans le période d'irrigation parce que l'ombrage réduit evatranspirations,

**Évolution de l'humidité du sol a 20 cm de profondeur dans le témoin et APV**



**Figure 35 : Évolution de l'humidité du sol a 20 cm de profondeur dans le témoin et APV**

On remarque que l'humidité du sol a 20 cm de profondeur dans la période de 27/03/2022 au 03/04/2022 élevé dans le témoin par rapport le APV (la période de pluviométrie) car les panneaux solaires empêchent le contact entre le sol et le ciel, et dans la période de 13/04/2022 au 15/06/2022 l'humidité du sol élevé dans le APV et réduire dans le témoin (période d'irrigation), car dans le APV l'ombrage baisse la température, donc l'évapotranspiration réduire. Et dans le témoin la température élevée donc l'humidité réduire.

Évolution de l'humidité du sol a 40 cm de profondeur dans le témoin et APV

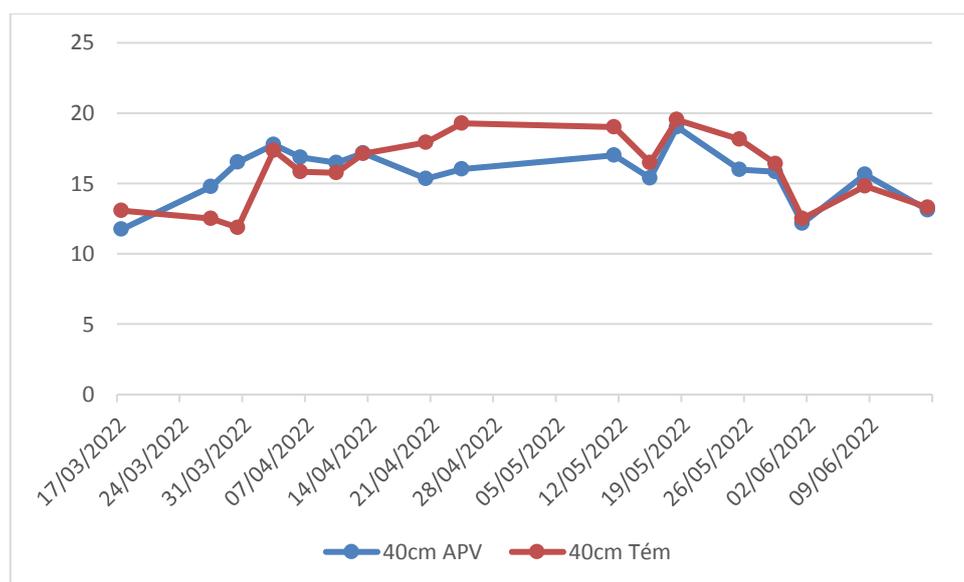


Figure 36: Évolution de l'humidité du sol a 40 cm de profondeur dans le témoin et APV

5. Evolution de la croissance végétative :

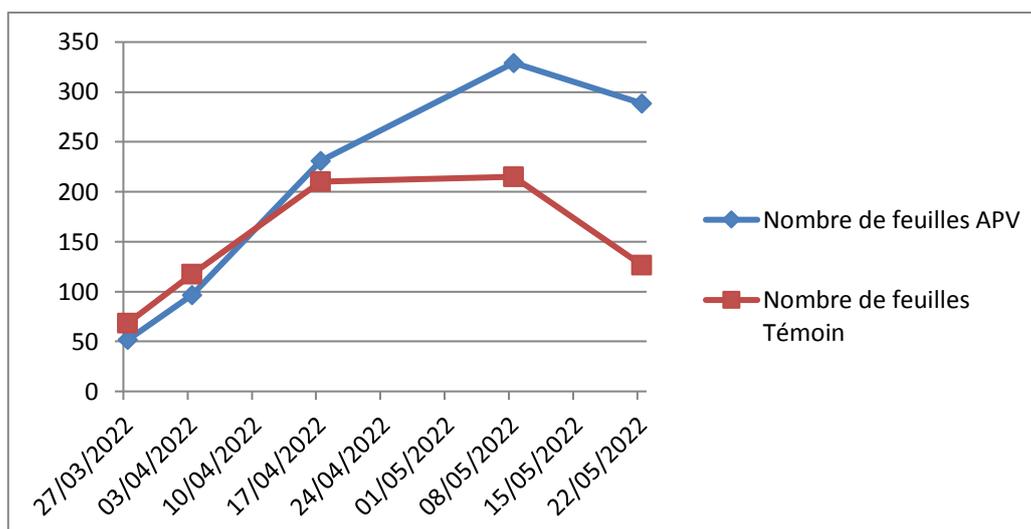
Tableau24 : Evolution de la longueur (Rameau + Feuille) en cm dans le témoin et le APV.

Date		27/03/22	03/04/22	17/04/22	08/05/22	22/05/22
Longueur (Rameau+feuille)	APV	13,77	17,62	20,11	24,74	23,03
	Témoin	13,24	17,46	21,74	22,09	18,03

Le graphe montre l'évolution de la longueur (Rameau + Feuille) présente une croissance convergente dans le témoin et APV du 23/03/2022 au 17/04/2022 et après la longueur (Rameau + Feuille) augmente rapidement en APV par rapport au témoin par ce que la température augmente dans cette période dans le témoin plus que le APV à cause de l'ombrage photovoltaïque

Tableau 25 : Evolution du nombre de feuilles par plant dans le témoin et le APV

Date		27/03/22	03/04/22	17/04/22	08/05/22	22/05/22
Nombre de feuilles	APV	51,74	96,37	230,70	329,14	288,33
	Témoin	68,59	117,25	210,14	215,03	126,40

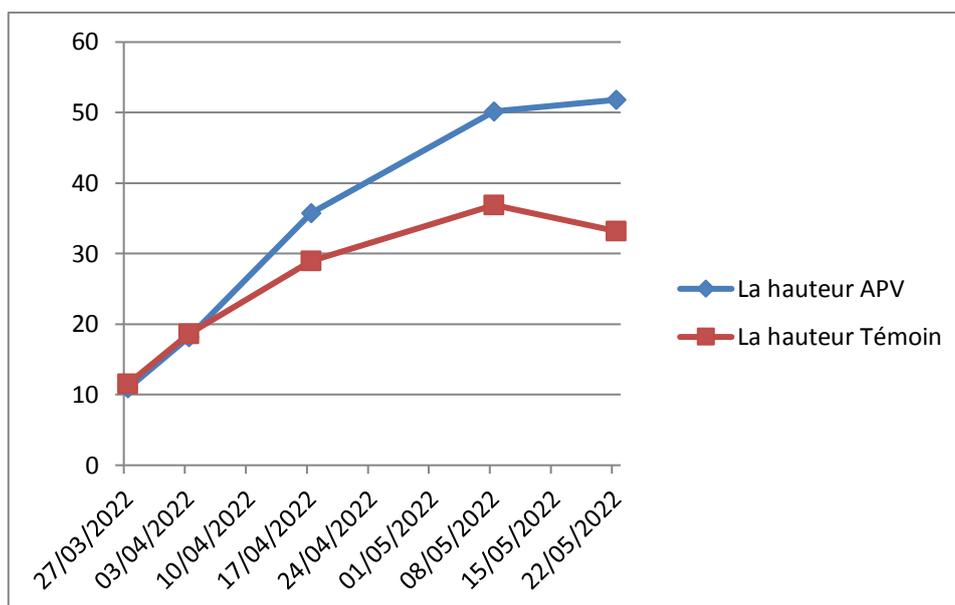


**Figure 37: Évolution de nombre des feuilles dans le témoin et le APV**

Le graphe montre l'évolution de nombre des feuilles dans le APV et témoin, On remarque une augmentation de nombre des feuilles du la fin du mars au mi-avril, mais l'augmentation de nombre de feuilles élevé dans le témoin par rapport à le APV du 27/03/2022 au 03/04/2022 ; A partir de 17/04/22 Jusqu'à le 08/05/22 on remarque une grande augmentation de nombre des feuilles dans le APV et une faible augmentation dans le témoin, a partir le 08/05/22 on a un chute de nombre de feuilles car la plante dans dernier stade de développement en plus les plantes touché par une maladie (alternariose).

**Tableau26 : Évolution de la hauteur du plant dans le témoin et le APV :**

Date		27/03/2022	03/04/2022	17/04/2022	08/05/2022	22/05/2022
La hauteur	APV	10,92	18,16	35,77	50,18	51,81
	Témoin	11,57	18,66	28,96	36,88	33,18



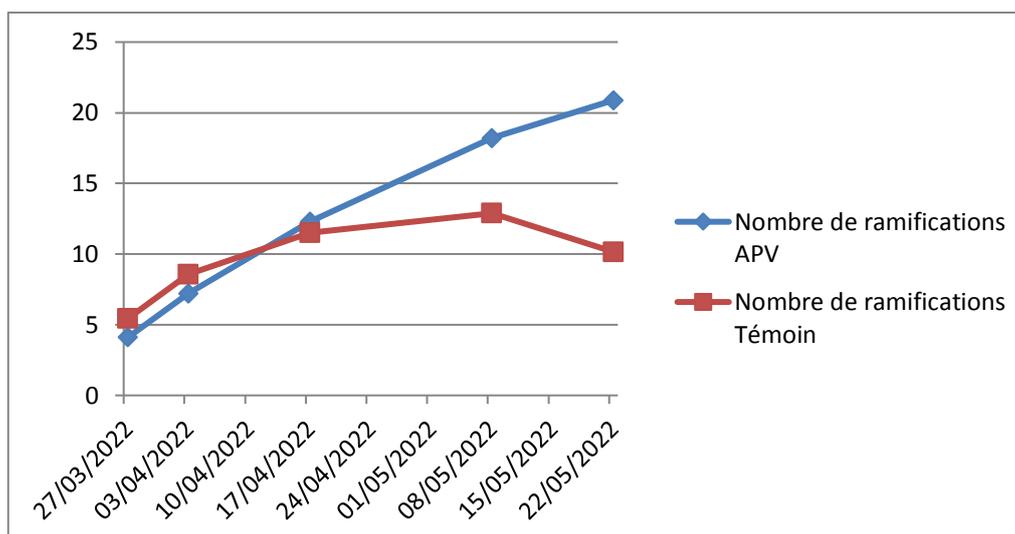
**Figure 38: Évolution de la hauteur du plant dans le témoin et le APV**

Le graphe montre l'évolution de la hauteur du plant. On remarque que la hauteur dans le témoin et APV se développent progressivement du 27/03/2022 au 03/04/2022, à partir du 03/04/2022 on observe que la hauteur du plant a augmenté dans le APV jusqu'à 08/05/2022 (effet de l'ombrage photovoltaïque); après le 08/05/2022 se développent progressivement dans le APV.

Du 27/03/2022 au 08/05/2022 développement progressivement dans le témoin et puis régression à la hauteur des plantes à cause de l'augmentation de température.

**Tableau 27 : Évolution de Nombre de ramifications par plant dans le témoin et le APV**

Date		27/03/22	03/04/22	17/04/22	08/05/22	22/05/22
Nombre de ramifications	APV	4,11	7,22	12,31	18,22	20,88
	Témoin	5,44	8,55	11,51	12,88	10,14



**Figure 39: Évolution de Nombre de ramifications par plant dans le témoin et le APV**

On observe que de Nombre de ramifications par plant dans le APV développent très rapidement dans toute la période de suivi, et dans le témoin se développent progressivement du 27/03/2022 au 08/05/2022, et dans la période 08/05/2022 jusqu'à 22/05/2022 on observe une diminution de Nombre de ramifications par plant.

#### 6. Contrôle visuel :

A partir de la mi-avril, nous avons remarqué une modification morphologique au niveau des feuilles de certaines plantes, surtout dans le APV.

Les lésions apparaissent, d'abord sur les plus anciennes feuilles, sous forme petites taches circulaires ou ovales de couleur variant de brun a noir qui s'étendent progressivement.

Celles-ci fondent par fois en grandes plages tissus nécrosés et provoquent un enroulement des feuilles qui rappelle celui de la brûlure apicale. Le temps chaude, et humide aggrave l malade, ce qui peut entraîne sa mort.



**Figure 40: Apparition des maladie(Ouhemna et Boutareg)**

Après avoir examiné les feuilles, on a découvert que les cultures sont touchées par l'alternariose.

**Alternariose de la pomme de terre.** L'alternariose est une maladie fongique causée par **Alternaria Solani** ou **Alternaria Alternata**. C'est une maladie qui provoque une sénescence précoce des feuilles. Elle peut causer des pertes importantes de rendement en cas d'attaque précoce.

### 7. Les paramètres de croissance :

APV: 16juin 2022	Moyenne
Nombre de tiges par plante	18,56
Nombre de tubercules par plant	5,56
Masse foliaire totale (g)	78,49
Masse totale de la plante (g)	95,81
Masse de tubercule (moyenne)	125,90
Surface foliaire SF	0,0117
Surface foliaire spécifique SFS (m <sup>2</sup> /g)	0,1179
Témois: 16juin 2022	Moyenne
Nombre de tiges par plante	15,67
Nombre de tubercules par plant	4,11
Masse foliaire totale (g)	56,94
Masse totale de la plante (g)	70,96
Masse de tubercule (moyenne)	120,81
Surface foliaire SF	0,0063
Surface foliaire spécifique SFS (m <sup>2</sup> /g)	0,1182

On remarque que toutes les paramètres de croissance élevé dans le témoin par rapport le APV.

La surface totale de la feuille de pomme de terre sous les modules PV était Plus grande que

la référence, et cela est dû au fait que les pommes de terre s'adaptent aux conditions ombragées, où le manque de photosynthèse est compensé par la grande surface de la feuille. (Willockx et al. 2020)

### 8. Le Rendement

	BLOC (A)	BLOC (B)	BLOC (C)	somme des BLO C
Rendement APV (kg)	105,96	173,79	143,16	422,91

	BLOC (A)	BLOC (B)	BLOC (C)	somme des BLO C
Rendement témoin(kg)	193,1	144,56	152,8	490,46

Le rendement élevé dans le témoin par rapport le APV car la maladie de l'alternariose développé dans le APV plus que témoin.

On remarque une augmentation du rendement égale à 490,46Kg pour chaque APV de 422,91 kg avec une différence de 77,55 kg.

La maladie C'est la cause de chute de rendement par ce que tout les paramètres la croissance indiquez que les résultats sont bons dans le APV.

### Conclusion

Les résultats obtenus dont des sites dans le témoin et le APV sont :

- Les panneaux solaires augmentent l'humidité du sol.
- Les panneaux solaires donnent des bons paramètres des croissances.

# **Conclusion Générale**

## **Conclusion générale**

---

### **Conclusion générale :**

Grâce au travail et à l'expérience que nous avons réalisés dans ce mémoire, différentes données ont été obtenues sur l'effet des panneaux solaires sur l'humidité du sol et sur l'agriculture en général.

D'un point de vue morphologique, physique et chimique, et sur l'état hydraulique du sol.

Les résultats peuvent être tirés comme suit :

L'effet de l'humidité du sol sous les panneaux solaires, les différents enregistrées au niveau de ( la longueur, la hauteur, nombre de tige, nombre de ramifications et de des feuilles, et le rendement) Ceci est dû à l'effet des panneaux solaires sur leur diminution

les valeurs de ses caractéristiques physico-chimique tels Que la densité apparente (1.48 g/cm<sup>2</sup>), la porosité ( 44,15 %), conductivité électrique (CE= 2.8ds), matière organique (2.19 à 20cm et 2.50 à 40cm dans APV , et 1.59 à 20cm et 2.67 à 40 cm dans témoin) ,pH (7.94 dans APV et 7.84 dans témoin).

Des travaux de recherche récents montrent que l'installation de systèmes photovoltaïques a un impact direct sur le rendement des cultures (rendement, qualité, morphologie, etc.). L'objectif principal est d'encourager l'agriculture photovoltaïque à ciel ouvert - un concept nouveau en Algérie - en analysant l'impact de l'ombrage Sur l'humidité du sol . Pomme de terre.

# **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

---

### Références bibliographiques

**Ahmed Bey, 2011** ; Algérie ; Ain Defla : la pomme de terre (article ; Article est issue du dossier « Agriculture africaine en jeux et perspective ».

**Amouh , 1999** : Technologie de production de la pomme de terre au Maroc in transfert de technologie en agriculture. Bull. Liai. Info., P.N.T.T.A., n° 52 :10-15.

**Anonyme. (2007)**. Pomme de terre en Afrique : <http://www.potato2008.org/fr/monde/Afrique.html>

**Benramdane . (2015)**. Étude des pucerons vecteurs de virus sur trois variétés de pomme de terre en plein champs (ENSA-El Harrach). Mémoire de magister : Santé végétale et l'environnement. El Harrach-Alger : Ecole nationale supérieure agronomique, 90PP

**Cutter, E.G., 1978-** Structure and development of potato plant. In: The Potato Crop.

**Darpoux , Debelley , 1967**. Les plantes sarclées. Edition. J.B. Baillière et fils France. Collection d'Enseignement Agricole. 307p.

**Fausey , 2002**. Drainage, Aeration, and Trafficability. Pages 361-363. Dans Rattan Lal.ed. Encyclopedia of Soil Science. Marcel Dekker, New York.

**Grison , 1983-** La pomme de terre caractéristiques et qualité alimentaire. Ed. CSTA,Rue de général Fay, 75008. Paris, 88p.

**Hawkes , 1990**. The potato, Evolution, Biodiversity and genetic resources .London. Belhaven Press. 259p

**IAEA-FAO(1998-2022)**. Agence intentionnel de l'énergie atomique, programme evaluation de l'impact du changement climatique

**Àl hiyari. Novembre 2018** production de la pomme de terre Introduction, le concept de production en économie

**Ken Matsuoka**, (<https://www.youtube.com/watch?v=bsbpifQjJM0>) [archive], 8 août 2013 (consulté le 18 novembre 2017). « Le programme Sun'Agri | Sun'Agri » (<https://sunagri.fr/le-programme-sunagri/>) [archive] (consulté le 31 janvier 2020)

## Références bibliographiques

---

- Khaldi et Seghiri , 2006** : Contribution à l'étude de l'effet calibre et densité de plantation chez deux variétés de pomme de terre (*Solanum tuberosum* .) dans les conditions a gro-climatiques de la région de Sétif –Mezloug. Mem. Ing. Agro., Univ. M'sila. Algérie., 57 p
- Lafond 1992.** , La pédogenèse et la classification canadienne des sols. Pages G1-81.D ans. R. Lafonde d. Pédologie Forestière. Direction générale de l'enseignement collégial du ministère de l'Enseignement supérieur de la Science. Québec.
- Massimo Cardelli**, Greenhouse and System for Generating Electrical Energy and Greenhouse
- Méziane , 1991** ; Histoire de la pomme de terre ; Diététique n°25 29 p.
- Neggaz, , 1991** - L'influence de cinq doses d'azote sur la croissance et le rendement de la pomme de terre variété claustra. Thèse d'ingénieur de Chélib.
- NRCS., 1996.** Soil Quality Resource Concems Soil Erosion: National Soil Survey Center.2p
- Pater , McReynolds , 2005.** Watershed Soils. Master Watershed Steward. 16 p.
- Roussell , Robert , Crosnier.J.C., 1996-** La pomme de terre production,
- Rousselle , Robert et Crosnier , 1992** : Utilisation des paramètres génétiques dans l'amélioration de la pomme de te problèmes poses. 10eme Conf. trisannuelle d'EARP. Danemark : 241-242.
- Shukla M K et Lai R 2002.**Water Infiltration in Soil. Pagesl -3. Dans Rattan Lal. ed. Encyclopedia of Soil Science Marcel Dekker. New York
- Solar Journal** », SOLAR JOURNAL, 1er décembre 2017 (lire en ligne (<https://solarjournal.jp/solarpower/20546/>) [archive], consulté le 29 décembre 2017). « Farmers to maximize profit through ‘ Agri- Voltaic: a Solar Energy and Harvesting Project’ | City Air News » (<http://cityairnews.com/content/farmers-maximize-profit-through-%E2%80%98agri-voltaic-solar-energy-and-harvesting-project%E2%80%99>) [archive], sur cityairnews.com (consulté le 19 août 2017)
- Soltner , 1979-**Les grandes productions végétales. Collection Scientifique des Technologies Agricoles. 16ème édition, 494p.
- TH. Bid yalakshimi deri et all(2018)**, Importance de l'énergie solaire dans l'agriculture
- Truong Tran., 2010.** Estimation de l'état hydrique des sols en Afrique de l'ouest par télédétection

## Références bibliographiques

---

spatiale. Sciences of the universe [physics]. Université de Grenoble, French. <tel ûû6û880l>.219p.

Mohamed, Z. D. : Z. Comportement statistique des précipitations annuelles et mensuelles : cas des stations de Miliana et Khemis Miliana. (Université Djillali BOUNAAMA de Khemis Miliana, 2015).

**Touaibia, W. & Harkat, I.** Étude Et Utilisation Du Stress Hydrique Comme Pratique Agro-Écologique Sur La Culture De Courgette Sur La Plaine De Khemis-Miliana. (Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana Faculté, 2019).

**SALHA, I.** étude de la pollution de la nappe alluviale du haut cheliff par les nitrates. (Hassiba BEN BOUALI –CHLEF, 2006).

**Aberkane Cherifa. Ben Zahra Radhia.** Evaluation des ressources en eau et en sol du bassin versant du Haut Cheliff. (Université Djilali Bounaama de Khemis-Miliana, 2018).

### Liste des sites :

**www.colabri.solar**

**Cultivation, 20 septembre 2013** (lire en ligne (<https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2013136276>) [archive]). « Panneaux photovoltaïques bifaciaux : les projets test se multiplient en France » (<https://www.actu-environnement.com/ae/news/projet-demonstration-panneaux-bifaciaux37411.php4>) [archive], sur Actu-Environnement (consulté le 20 janvier 2022).

**www.encycolopédiegratuite.fr**