

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Scientifique Recherche la de et Supérieure l'Enseignement de Ministère

جامعة الجيلالي بونعامة خميس مليانة

Université Djilali Bounaama - 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'étude

En vue de l'obtention du diplôme de master en Sciences Agronomiques

Spécialité : Aménagement Hydro Agricole

Thème

**L'effet de l'ombrage sur le système eau-sol-plante.
Cas de la pomme de terre (variété locale)**

Encadré par :

Mr Touil S

Présenté par :

MOHAMMEDI Asma

FELLAHI Khawla

Soutenu devant le Jury :

Président : Maten. N. C (MAA)

Examinatrice : Karahacane.H (MCB)

Encadreur : Touil. S (MCB)

Co-Encadreur: Richa. A (MCA)

Année universitaire : 2020/2021

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Dieu Tout-Puissant qui nous a permis d'atteindre ce niveau. Nous adressons nos sincères remerciements et notre appréciation à notre encadrant, Mr TOUIL Sami qui nous a donné de bons et de précieux conseils, et qui a mis toute sa confiance en nous et à notre travail « merci d'avoir été là pour nous - symbole d'un père et ami en chemin ». Que Dieu lui accorde santé et succès continus dans sa carrière. Nous exprimons également notre plus grand respect et nos remerciements à tous ceux qui ont contribué à atteindre ce niveau et cette réalisation, y compris les enseignants du département des Sciences Agronomiques en général et de spécialité aménagement Hydro-agricole en particulier pour mentionner. Abdessalam, Mr Merrouche, Mme Maten, Mme Karahacane, Mme Bouaichi, Mr Imessaoudane, Mr Ratiat. Nos remerciements vont également à Mme RICHA Amina et encore une fois à monsieur TOUIL Sami et 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,

*A la mémoire de ma chère mère fatma, repose en paix et sois certaine
de toujours rester vivante en moi.*

*A ceux qui m'ont donné vie et tendresse qui se sont sacrifiés pour mon
bonheur et ma réussite, à ma chère mère Houria et mon cher père
Ahmed, qui n'ont jamais été absents pour m'aider et me guider dans
La période la plus difficile de ma vie, que Dieu leur accorde santé et
bonheur.*

A mon chère mari Mahdi pour ses encouragements et son aide.

A Ma chère sœur Salima pour son soutien constant et sa motivation .

*A mes chers frères Mohammed, Morad, Hamid et Farid. Pour leur
soutien moral et l'encouragement.*

*A mes neveux Ahmed, Sohaibe, Wissale, Roaa, Razane, Rawane,
Yakine,*

Aux femmes de mes frères Nacira et Nessrine

A tout ma famille MOHAMMEDI, SEGIR MOH et DEHIMI

A mon binôme Khawla

A mes chers amis : Dajahida ,Fatima,Djihane,Hanane,nezha.

*A tous mes chers collègues et amis sans exception de la promotion
d'aménagement hydro agricole 2020-2021.*

ASMA

Dédicace

Je dédie ce modeste travail,

*A la mémoire de mon cher père, repose en paix et sois certaine de
toujours reste vivante en moi.*

*A ceux qui m'ont donné la vie, la tendresse, qui s'est sacrifiés pour
mon bonheur et ma réussite, à ma chère mère fariha.*

A mes chères sœurs Fatima, Amina, KHadidja

A mes chers frères Mossua, Ali ,smail. Houcin, Ibrahim

A mes neveux Amine Yousef ,Ibrahim

,Rahma,Takhwa,Hibat allah ,mohammed

A tout ma famille Fellahi ,Madadi

A mon binôme Asma

A mes chers amis : Djahida, Hadjer

*A tous mes chers collègues et amis sans exception de la promotion de
aménagement hydro agricole 2020-2021.*

khawla

ملخص

بسبب انخفاض مصادر الطاقة وزيادة النمو الديمغرافي ، وجب البحث عن أنظمة جديدة تجمع بين توفير الطاقة وتحقيق الاكتفاء الذاتي.

في هذه الدراسة ، سنسعى لاستخدام الطاقة الشمسية في الزراعة .على وجه التحديد، تأثير تظليل الألواح الشمسية على النظام (ماء،تربة،نبات)وتوفير الطاقة.في حالة نبات البطاطس. أجريت التجربة في سهل خميس مليانة بجامعة جيلالي بونعامه.

تم تصميم المخطط بخمسة صفوف من الألواح الشمسية في الصف الأوسط مقسمة إلى 9 قطع ثم نزرع البطاطا .توصلت نتائج الأبحاث في بلجيكا و والصين إلى أن تأثير التظليل المناخ الجزئي (درجة الحرارة،النتج، الرطوبة).كان ايجابيا .في حين اختلفت النتائج سلبا و ايجابا حول مورفولوجية النبات(حجم الدرنات و مساحة الأوراق) أظهرت النتائج أن تأثيرات

التظليل، موجبة أو سلبية، ترجع في المقام الأول إلى اختيار نوع المحصول.

الكلمات المفتاحية: الطاقة الكهروضوئية ، المحتوى المائي ، التظليل ، البطاطس

Résumé

En raison de la diminution des sources d'énergie et de l'augmentation de la croissance démographique, il est nécessaire de rechercher de nouveaux systèmes alliant économie d'énergie et autonomie.

Dans cette étude, nous chercherons à utiliser l'énergie solaire en agriculture. Plus précisément, l'effet de l'ombrage des panneaux solaires sur le système (eau, sol, plante) et les économies d'énergie, dans le cas des plants de pomme de terre. *L'expérience a été menée dans la plaine de Khemis Miliana à l'Université de Djilali Bounama.

Le plan est conçu avec cinq rangées de panneaux. Panneaux solaires dans la rangée du milieu Divisé en 9 micro zone, puis nous plantons des pommes de terre.

Les résultats de recherches en Belgique et en Chine ont conclu que l'effet de l'ombrage sur le microclimat (température, transpiration, humidité.) était positif. Alors que les résultats différaient positivement et négativement sur la morphologie de la plante (la taille des tubercules, la surface des feuilles...).

Les résultats ont montré que les effets d'ombrage, positifs ou négatifs, sont principalement dus au choix du type de culture.

Mots clés : Agro photovoltaïque, teneur en eau, l'ombrage, pomme de terre

Abstract

Due to decreasing energy sources and increasing population growth, it is necessary to look for new systems that combine energy saving and self-sufficiency.

In this study, we will investigate the use of solar energy in agriculture. More precisely, the effect of shading of solar panels on the system (water, soil, plant) and energy savings. The experiment was conducted in the plain of Khemis Miliana at the University of Djilali Bounama.

The strategic plan is designed with five rows of panels. Solar panels in the middle row divided into 9 pieces, then we plant potatoes.

Research results in Belgium and China concluded that the effect of shading on the microclimate (temperature, transpiration, humidity) was positive. While the results differed positively and negatively on plant morphology (tuber size, leaf area...).

The results showed that shading effects, positive or negative, are mainly due to the choice of crop type.

Keywords: Agro photovoltaics, water content, shading, potatos

Liste Des Abréviations

APV : Agro-Photovoltaïque Système.

PV : Photovoltaïque.

AEG : Entreprise D'électricité Générale

ISO : International Organisation For Standardisation

IEC : Institut d'Estudis Catalans

MCS : Multinational Character Set

EEE: Electrical and Electronic Equipment

WEEE: Waste Electrical and Electronic Equipment

NASA: National Aeronautics and Space Administration

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

T: Températures

Min : Minimale

Max : Maximale

Moy : Moyenne

C° : Degré Celsius

s : Seconde

ms : Méli Semaince

m³ : Mètre Cube

m : Mètre

mm : Millimètre

MES: Matière En Suspension

FAO: Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

ONILEV : Office National Interprofessionnel des Légumes et des Viandes

Liste des figures

Figure N° 1 : type des cellules solaire source (Hegger et all 2011).....	2
Figure 2 : Pomme de terre en croissance sous une installation APV en Allemagne (Université de Hohenheim, année ,2019).....	7
Figure 3 : Système Agro photovoltaïque WTAREMED 4.0 PROJET (mohammedi et fellahi, 2021).	10
Figure 4 :Volumes de déchets de panneaux photovoltaïques en fin de vie d'ici 2050 dans le monde (Weckend et al. 2016).	12
Figure 5 : Morphologie d'un plant de pomme de terre (Bezvershenko ,2020)	16
Figure 6 : la production de pomme de terre par continent (FAOSTAT, 2020). Error!	
Bookmark not defined.	
Figure 7 : Répartition géographique de la principaux Wilayas productives de la pomme de terre en Algérie (compagne agricole 2004/2005). (M.A.D.R, 2006)...	22
Figure 9 : Variation de précipitation moyenne mensuelle au niveau de la station de Khemis Miliana (ANRH 1981-2018).	29
Figure 8 : Répartition spatiale du réseau pluviométrique de la plaine alluviale de Khemis Miliana. (ANRH 1981-2018).	29
Figure 10 :. : variation de la température moyenne mensuelle de la station de Khemis Miliana ANRH (1981- 2018)	33
Figure 11 Diagramme Ombrothermique de Gausson (P=2T) de la station de Khemis Miliana(ANRH 1981-2018).....	31.
Figure 12 Variation de vitesse moyenne mensuelle du vent au niveau de la station de Khemis Miliana (1981-2018).....	35
Figure 13 : Variation d'humidité relative moyenne mensuelle au niveau de la station de Khemis Miliana (ANRH 1981-2018).....	35
Figure 14 : Réseau hydrographique de la Plaine de khemis Miliana (DSA, 2010)	35
Figure 15 : Carte Géologique du Haut Cheliff (GUENDOUIZ M'Hamed, 2018).	36
Figure 16 : Plan du système APV (WATEREMED 4.0 Projet.2021).....	39
Figure 17 : Matériels utilisés dans l'installation des panneaux solaire et local techniques(Mohammedi Et Fellahi, 2021).	40
Figure 18 : matériels utilisés pour laboure du sol (Mohammedi et Fellahi ,2021).	41
Figure 19: matérielle utilisée dans l'irrigation et l'alimentation de bache en eau (Mohammedi et Fellahi ,2021).	42
Figure 20 : Schéma représentatif du bloc aléatoire.....	45
Figure 21 : Représentation graphique des besoins en eau de la PDT	49
Figure 22 : Comparaison entre la PAR mesurée et modélisée (Willockx et al. 2020)	55
Figure 23 : Température de bulbe sec mesurée dans la zone de référence et Ci-dessous modules PV le 8 août 2019	56
Figure 24 : Humidité relative mesurée dans la zone de référence et celle de la zone avec panneaux.	57

Liste des tableaux

Tableau N° 1: 5 Modules photovoltaïques disponible sur la marche mondiale...	4
Tableau 2: Etudes réalisés sur l'effet d'ombrage des panneaux photovoltaïques sur les performances des cultures (système ouvert).....	8
Tableau 3: Autres utilisations d'APV system	11
Tableau 4: Evolution de la production mondiale de pomme de terre entre 2008 et 2019	Error! Bookmark not defined.
Tableau 5: superficie cultivée et la production dans Consommation et Multiplication l'état pour l'année 2019 /2020 (Saisonnier et non saisonnier).	23
Tableau 6 : types cultivés dans l'état pour l'année 2019/2020	24
Tableau 7: températures moyennes mensuelles de la station de Khemis Miliana ANRH(1981- 2018)	30
Tableau 8: Précipitations et températures moyennes mensuelles de la station de Khemis Miliana. Source (ANRH 1981-2018).....	31
Tableau 9: Moyennes mensuelles des vitesses de vent (m/s), station de Khemis Miliana.....	32
Tableau 10: Moyennes mensuelles du taux d'humidité relative, station de Khemis Miliana (ANRH 1981-2018).....	33
Tableau 11: comportement hydrogéologique des différentes formations de la plaine du HautCheliff.....	37
Tableau 12: fertilisant utilisés dans l'expérimentation.....	43
Tableau 13: Fertilisation utilisée pour le traitement de fleuraison et fécondation.	43
Tableau 14: Fertilisation utilisée pour traitement de fleuraison et fécondation.	44
Tableau 15: les fertilisations utilisées pour traitement des fruites :.....	44
Tableau 16: dimensionnements de la parcelle sous panneaux (ombrée) et témoin sans les panneaux (non ombragée).	46
Tableau 17: ci-dessous combine deux expériences à cet égard.	53

Table des matières

Liste Des Abréviations.....	1
Listes des tableaux	
Liste des figures	
Introduction Générale	17
Chapitre I :	
1. Introduction.....	1
2. Définition des photovoltaïque	1
3. Les types des panneaux photovoltaïques	2
Cellule solaire cristallin	2
Le panneau solaire monocristallin.....	2
Les panneaux solaire poly cristallin.....	3
Cellule solaire a couche minces	3
4. Historique d'APV system	5
5. L'énergie renouvelable dans le monde de l'agriculture (Agro photovoltaïque (APV) ou agri voltaïque (AV) system).....	5
Introduction	5
Impotence d'APV system dans l'agriculture	6
5.2. A. L'effet des panneaux solaires sur l'eau dans le sol.....	6
5.2. b. Utilisation du système APV en Europe.....	6
5.2. C. Utilisation du système APV en Afrique	9
5.2. D. Utilisation du system en Algérie.....	9
Faisabilité économique de l'APV system.....	10
I.5.4 Autres utilisations d'APV system.....	11
Conclusion	13
Chapitre II : milieu physique	
II.I. Présentation de la zone d'étude	27
1. Situation géographique et Morphologique.....	27
2. Pédologie.....	27
3. Agriculture dans la plaine	27
4. L'occupation des sols	28
5. Population et démographie.....	28

6. Contexte hydro climatologiques.....	Error! Bookmark not defined.
6. A. Pluviométrie	28
6. B. La Température.....	30
6. B.1. Diagramme Ombrothermique	31
6. D. Le Vent.....	32
6. E. L'humidité relative.....	33
7. Réseau hydrographique	34
8. Géologie et hydrogéologie	35
Géologie	35
Hydrogéologie	36
Conclusion	37

Chapitre III : la pomme de terre

1. Introduction.....	15
2. Origine de la pomme de terre.....	15
3. Caractéristiques de la plante	16
3. A. Taxonomie.....	16
3. B. La morphologie.....	16
3. B.a. Le système aérien	17
3. B. b Le système souterrain.....	18
4. Stades de développement de la pomme de terre	18
5. Exigences écologiques de la plante de pomme de terre	19
5. A. Exigences climatiques.....	19
5. B. Exigences édaphique	20
5. c. exigences en éléments fertilisants.....	20
6. Les principaux ennemis de la culture	20
6. A. Maladies bactériennes : source (ITCF ,1998)	20
6. B. Maladies virales : source (INPV, 2011)	21
6. D. Maladies cryptogamiques : source (ITCF ,1998)	21
7. La culture de la pomme de terre dans le monde.....	22
7.1 La production de la pomme de terre par continent.....	23
7.2 La pomme de terre en l'Algérie.....	23
7.3 Ain Defla.....	24
Conclusion	26

Chapitre IV: méthodes et matériels

IV. Méthodes et Matériels	39
I. Matériels	39
1. Installation de système APV	39
1. A Installation des panneaux solaire	39
Préparation de terrain.....	40
Système d'irrigation	41
2. La fertilisation	42
B .Lors de la plantation.....	42
Traitement démarrage	42
Ce traitement utilisé au stade de démarrage	42
Traitement de racines.....	43
Traitement de fleuraison et fécondation	44
Traitement des fruits	44
3. Présentation du protocole expérimental.....	45
Explication du bloc aléatoire.....	45
4. Echantillonnage	46
. 5. Les paramètres de suivi.....	47
6. Méthodologie	47
Suivi le pourcentage de l'ombrage	47
7. Besoin en eau de la pomme de terre	49
Conclusion	51
Chapitre V: Résultat et discussions	
1. Résultat et discussions	53
2. L'effet de la pente des panneaux photovoltaïques sur le sol.....	54
3. L'effet de panneaux photovoltaïque sur le Micro climat.....	54
Sur la photosynthèse	54
La température.....	55
Transpiration	56
Impact de l'ombrage sur la culture	57
Conclusion	57
Référence	61

Introduction Générale

Introduction Générale

L'un des principaux défis de la transition et du développement humain est la production d'énergie à grande échelle, mais cette production d'énergie dépend uniquement des sources qui polluent l'environnement (pétrole, charbon, gaz...). La combustion des combustibles fossiles et la déforestation à grande échelle ont entraîné une augmentation de 25 % des concentrations de dioxyde de carbone dans l'atmosphère depuis la révolution

industrielle, ce qui accroît en continu la pollution et favorise le réchauffement de la planète. **(Houghton et al 1989)**

Il existe un certain nombre de voies par lesquelles le changement climatique peut provoquer un effondrement social qui a été reconnu, l'une d'entre elles étant l'insécurité alimentaire **(Gowdy, 2020)** le changement climatique devrait miner les systèmes agricoles et perturber l'approvisionnement alimentaire **(FAO, 2020)**, ce qui peut conduire à des chocs économiques, à l'instabilité sociale et politique, d'où la nécessité d'utiliser des énergies alternatives renouvelables en même temps et de les relier à la production alimentaire pour que les pays deviennent auto-suffisants. Les panneaux solaires photovoltaïques (PV) offrent des avantages durables à travers les terres agricoles **(Parkinson et al., 2020)** ce qui est considéré comme la meilleure solution pour introduire le concept « agro photovoltaïque ».

Ce concept a été appliqué dans certains pays comme l'Allemagne, la Chine, la France, l'Italie et le Japon. En 2015, le secteur agricole en France a contribué à la production de 20 % des énergies renouvelables, ce qui représente un volume de vente de 1,4 milliards d'euros, dont 109 millions d'euros pour les panneaux photovoltaïques **(marrou et al. 2013)**. L'Algérie, c'est l'un des pays qui se concentrent sur l'utilisation du pétrole et du gaz en termes de production d'électricité, elle possède les deuxièmes plus grandes réserves de gaz et les troisièmes plus grandes réserves de pétrole en Afrique **(OPEC)**. Cependant, ces rangs vont diminuer en raison de la demande accrue d'énergie et de l'augmentation de la croissance démographique. De plus, il s'agit d'une ressource non renouvelable, il est donc nécessaire de rechercher une alternative qui contribue au développement de l'économie locale et nationale, à l'élévation du niveau de développement et à l'atteinte de l'autosuffisance. L'Algérie étant stratégiquement située, le jumelage de la production énergétique et production agricole (agro-Energie) vont apporter un double intérêt dans les deux secteurs.

Introduction générale

Ce double intérêt « Agro-énergétique » va constituer une meilleure solution pour les fermes isolées et donnera une lancée considérable au développement des pratiques agricoles et/ou de production dans ces régions.

En raison de son climat semi-continentale et de l'immensité de son désert, l'énergie solaire est devenue la meilleure et la plus efficace solution pour l'économie nationale afin d'atteindre l'autosuffisance grâce à une production locale et/ou nationale abondante, sans oublier la production d'une Energie propre et permanente d'où l'objectif de notre travail qui aborde le concept « Agro photovoltaïque » et influence de l'ombrage sur le système « sol, eau, plante).

Pour illustrer cela, nous avons divisé cette étude en :

- Synthèse bibliographique
- Matériels et méthode
- Résultats et discussion

Chapitre i

APV Système

1. Introduction

Le changement climatique est la question déterminante de notre époque. Les impacts mondiaux du changement climatique sont de grande envergure et d'une ampleur sans précédent, dus aux changements climatiques qui menacent la production alimentaire. Par conséquent, les scientifiques et les chercheurs ont dû s'adapter à la question et trouver des solutions à ce phénomène. Par conséquent, la transition vers une production d'énergie plus propre est le principal défi auquel les chercheurs sont confrontés pour résoudre la crise du changement climatique (**Ayop tan et al.2020**).

Le soleil fournit une énergie colossale à la Terre (10 000 fois l'énergie nécessaire) sous forme lumineuse. Mais le problème réside en ce que la forme sous laquelle nous la recevons n'est pas nécessairement celle sous laquelle elle est utilisable. C'est pourquoi, nous devons utiliser des processus de conversion. Du soleil en énergie électrique (**Touafek et al. 2008**).

On assiste depuis le milieu des années 1970a une utilisation croissante des sources d'énergie renouvelable suite à l'augmentation des prix des combustibles fossiles depuis la catastrophe du réacteur nucléaire de Tchernobyl en 1986 ce phénomène s'est amplifié et les effets sont perceptibles depuis les années 1990 (**Hegger 2011**) et Les énergies qui remplacent simultanément les combustibles fossiles joueront un rôle essentiel pour répondre à cette demande (**Schindele et al. 2020**), La technologie photovoltaïque (PV) est l'une des technologies les plus prometteuses pour améliorer la sécurité énergétique et atténuer le changement climatique. Le marché du photovoltaïque connaît une croissance rapide et une nouvelle expansion du marché est attendue dans le monde entier. En plus de ses impacts positifs sur la sécurité énergétique et le changement climatique, la technologie photovoltaïque est également l'une des technologies les plus respectueuses de l'environnement de toutes les technologies de production d'énergie et d'électricité, en particulier lorsqu'elle est évaluée du point de vue du cycle de vie, y compris la gestion de la fin de vie.

2. Définition des photovoltaïques

Le terme est issu du mot grec (phos) photos (lumière en français) et du nom du physicien italien Alessandro Volta nom également donné à l'unité de tension électrique. La découverte de l'effet photovoltaïque remonte au vingtième siècle et découle des travaux du physicien Alexandre Edmond Becquerel. Les premières installations pilotes terrestres datent des années 1970.

Le panneau solaire est un dispositif spécialement conçu pour capter une partie du rayonnement solaire qui sera par la suite converti en énergie électrique ou thermique, grâce à des capteurs photovoltaïques ou thermiques. Les cellules solaire sont repartie en différentes catégories et désignées en fonction de leur structure et des matériaux de base utilisés la composition de la majorité des cellule aujourd’hui c’est la silicium (SI) est un matériau adapté pour les cellule solaires (Hegger 2011).

3. Les types des panneaux photovoltaïques

3.1 Cellule solaire cristallin

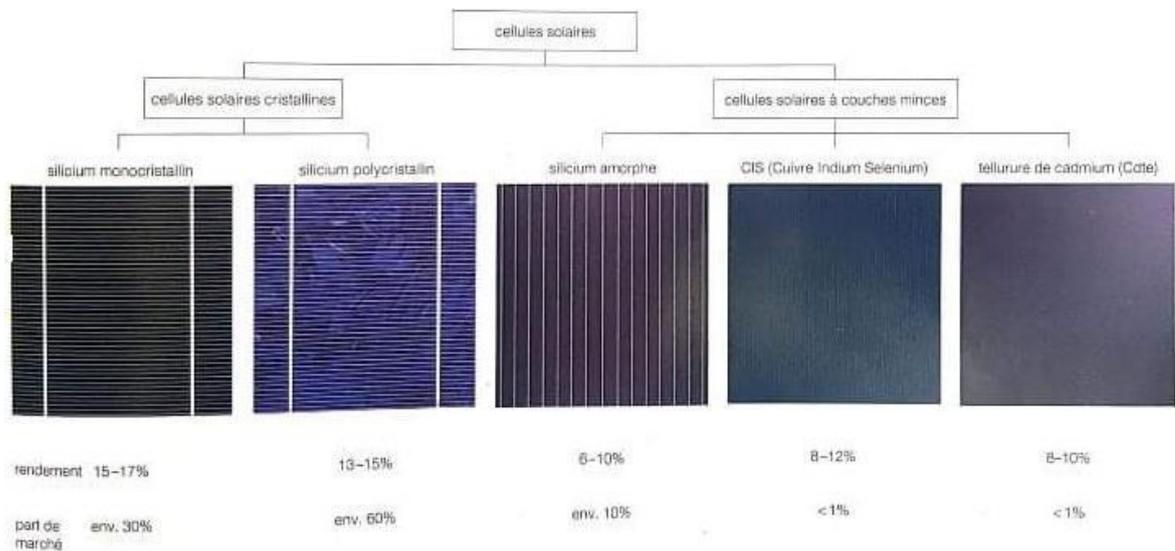


Figure N° 1 : type des cellule solaire source (Hegger et all 2011).

Le panneau solaire monocristallin

Classique des cellules monocristallines s’effectue à partir d’un lingot de silicium très pur et la monocristallin qu’est découpe en fines ci tranches circulaires pour pouvoir mieux arranger les cellules sur une surface elles sont souvent découpées d’auteur méthodes consistent à colure le silicium dans des blocs pour obtenir directement des format carres aspect plus sombre que le panneau poly cristallin. De manière générale, il est performant mais également plus coûteux (Hegger 2011).

- **Les panneaux solaire poly cristallin**

Une cellule poly cristalline est constituée d'un alliage de silicium et en raison du processus de refroidissement, de nombreux cristaux se forment ces cellule sont appelées poly cristallin liens ou multi cristalline la dimension des cellules d'épand de épaisseur et de la dimension du lingot originel des dimensions comprises entre 10 ×10cm et 15 ×15 cm se sont avérées adaptées a une minimisation de l'épaisseur des cellule (**Hegger 2011**) ,Sa couleur bleue, moins performants que les monocristallins, plus grande simplicité de fabrication les rend plus abordables. Pour le secteur résidentiel, La plupart des panneaux solaires sont mono faces (transforment les rayons du soleil en électricité que grâce à leur face avant.) Néanmoins, se développe depuis quelques années le panneau solaire biface qui permet d'utiliser l'effet d'albédo.

3.2 Cellule solaire a couche minces

La technologie des couche minces s'est développée dans les années 1970 avec le silicium amorphe dans ce cas le matériau est directement déposé sur une couche portos en verre en métal ou en plastique ce que permet de réaliser des économies de matériaux et d'énergie considérable lors de la fabrication d'autres alliages semi-conducteur comme le tellure de cadmium (CDTE) ou le cuivre indium sélénium (CIS) ont récemment été employés dans la technologie des couches minces la taille et la forme des cellule prouvent être définies en fonction des dimension du martiaux porteur et des propriété électrique souhaitées ou une grande liberté formelle (**Hegger 2011**).

Le marché de l'énergie solaire a connu une croissance exceptionnelle ces dernières années, en raison de l'augmentation du volume d'énergie solaire produite. Le tableau suivant présente les cinq principaux fabricants de panneaux solaires.

Tableau N° 1: 5 Modules photovoltaïques disponible sur la marche mondiale.

Entreprise	Certificats
<p>AEG (Marque commerciale influente dans les affaires)</p>	<p>Il répond aux normes ISO 9001 (système de gestion de la qualité), ISO 14001 (gestion de l'environnement) et OHSAS 18001 (système de gestion de la santé et de la sécurité au travail).</p> <p>Garantie produit de 20 ans plus garantie de puissance linéaire de 25 ans</p>
<p>Bisol</p> <p>Fabricant slovène de solutions d'énergie solaire (modules, systèmes de montage et le panneau solaire au sens large). Ses produits sont fabriqués en Europe puis vendus dans plus de 70 pays</p>	<p>ISO 9001, ISO 14001 et OHSAS 18001. S</p> <p>Garantie linéaire de 25 ans (85% de la puissance de sortie après 25 ans) et garantie produit de 20 ans</p>
<p>Eurener</p> <p>D'origine espagnole. Depuis 1997</p>	<p>IEC 61215:2005 , IEC 61730-1:2004, IEC 61730-2:2004 ; Charge frontale (neige) 5.400 Pa</p> <p>Charge arrière (vent) 2.400 Pa; Certificat de Résistance au Feu</p> <p>Class II (UNI 9177) ; MCS (Royaume Uni)</p> <p>EEE016-20130528-001 (France) ; WEEE en conformité en Allemagne.</p>
<p>Sun power</p> <p>Sun power est connu pour ses diverses collaborations avec la NASA et le Solar Airplane.</p> <p>Depuis 1985. Les cellules sont fabriquées en Malaisie, l'unité est assemblée au Mexique et la conception est faite aux États-Unis</p>	<p>En plus des certifications standards (ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001), Sun power bénéficie d'autres certifications telles que LEED (une certification environnementale pour les bâtiments aux États-Unis.)</p>

<p>Systoviseule entreprise française à proposer des panneaux solaires éoliens.</p> <p>Fondée en 2008</p>	<p>Ses certifications sont ISO 9001 (qualité) classique, ISO 14001 (environnement), IEC 61215 Ed.2, IEC 61230 ainsi que la certification MCS 5/10.</p> <p>Garantie du produit 20 ans</p>
--	--

4. Historique d'APV system

L'histoire de la mise en œuvre des systèmes agro-photovoltaïques a commencé

Avant moins de 20 ans Lorsque des scientifiques allemands ont proposé A. Goetzberger et A. 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 and 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 chercheurs se sont intéressés à ce concept, comme le professeur japonais Akira Nagashima qui a commencé à expérimenter dans ce domaine en 2003 A commencé à expérimenter dans ce domaine en 2003(**Adomavicius**)

5. L'énergie renouvelable dans le monde de l'agriculture (Agro photovoltaïque (APV) ou agri voltaïque (AV) system)

Introduction

Après la révolution que connaît le monde dans l'utilisation des énergies renouvelables, la tendance à appliquer ces énergies dans le développement de l'agriculture est naturelle de par son importance et sa capacité à répondre aux besoins des peuples. Parmi toutes les énergies propres et renouvelables, le solaire l'énergie est la source la plus abondante et disponible (**Malo et al. 2017**) surtout après les pénuries de pétrole Selon (**Weselek, et al. 2019**), le conflit entre la production énergétique et alimentaire est un problème majeur L'installation de systèmes énergétiques dans ces

fermes, c'est-à-dire des espaces ouverts, est l'option la plus efficace et la moins chère selon (Fraunhofer .2005).

Importance d'APV system dans l'agriculture

5.2.a. L'effet des panneaux solaires sur l'eau dans le sol

Une étude menée dans le désert du Ningxia en Chine a montré que le cycle de l'eau dans la région L'ombrage est affecté et le taux d'évaporation est légèrement inférieur à celui de la zone ouverte.

Ces résultats sont cohérents avec une étude de (Marrou et al. 2013) où il a été constaté que la couverture de dalle peut économiser jusqu'à 14-29% de l'eau qu'elle contient Évaporation dans les cultures maraîchères.

Une autre étude de terrain a été menée sur l'effet de l'ombrage Concernant l'utilisation de l'eau dans le sol, le calcul a été basé sur la différence de profondeur du sol à un taux de 10 cm à 60 cm, la zone ombragée était plus économe en eau, en raison du taux d'évaporation plus faible (ETP) dû au rayonnement solaire plus faible tout au long de la période, asséchant l'eau plus lente stockée sur le sol. A la fin de la période d'observation, L'humidité du sol dans la zone ombragée était presque double de celle de la zone ouverte de l'ordre de 328% (Hassanpour Adeh 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 ».

5.2. b. Utilisation du système APV en Europe

Les systèmes agri voltaïques offrent une solution à la demande croissante de nourriture et d'énergie, tout en diminuant la consommation d'eau, système en plein champ (Barron-Gafford et al. 2019). Des résultats des quelques travaux de recherches récents montrent que les panneaux solaires provoquent une faible réduction de la photosynthèse. Cependant, cela n'a pas affecté le rendement total, la morphologie des plantes, le nombre de fleurs par branche et la couleur des fruits (Aroca-Delgado et al. 2019). Et aussi une autre étude menée en Grèce a montré que les panneaux PV ont produit 50,83 kWh/m² pour la période de culture étudiée (Trypanagnostopoulos et al. 2017) et Dans une étude menée par Li et al. Il a été noté que photovoltaïques semi- transparents intégrés au bâtiment (BIPV) montés sur le dessus d'une serre de Tomates avec 20 % d'ombre produisent 637 kWh d'énergie électrique annuelle. Sans que le système n'affecte la croissance de

la plante et ce système diminue la température de l'air de (1-3 C°) par temps clair et n'a pas d'effet sur l'humidité relative (**Hassanien and Ming 2017; Hassanien et al. 2018**) et réduire la consommation d'eau en diminuant l'évapotranspiration. Les résultats également prouvent que les zones qui étaient sous les panneaux PV étaient significativement plus efficaces en matière d'eau (328 % plus efficaces).



Figure 2: Pomme de terre en croissance sous une installation APV en Allemagne (Université de Hohenheim, année ,2019).

Tableau 2: Etudes réalisés sur l'effet d'ombrage des panneaux photovoltaïques sur les performances des cultures (système ouvert).

Culture	Pays	La forme de système	Énergie produite	Énergie %	Remarques	Référence
Tomate	Au nord de TucsonAZ, USA	Lignes droites	—	—	Augmentation de la production de fruits	(Barron-Gafford et al. 2019)
Laitue	Montpellier, France	Lignes droites	6,5 A18 kWhm ²	50% 30%	Effet significatif sur le rendement des cultures Aucun effet significatif sur le rendement des cultures	(Marrou et al. 2013c) (Marrou et al. 2013b; Valle et al. 2017)
Concombre	Montpellier, France	Lignes droites	-----	50% Et 30%	Le nombre total de feuilles a été plus affecté et a réduit Les taux de croissance au début du cycle de vie de la plante.	(Marrou et al. 2013b)
Pommes de terre	Belgique	Damier	2447 kWh	50%	La surface foliaire totale des pommes de terre sous les modules PV était Plus grande que la surface de référence	(Willockx et al. 2020)

5.2. C. Utilisation du système APV en Afrique

Puisque le sujet de notre recherche est une étude d'ombrage sur la culture de pomme de terre, nous avons donc recueilli quelques expériences menées autour d'elles et voir l'effet de l'ombrage sur sa croissance.

Des expériences ont été mené en Chine sur trois variétés de la culture de pomme de terre a savoir "Xinxiang" (Xx), "Zheshu 13" (ZS 13) et "Zheshu 77" (ZS 77). Les trois variétés ont été plantés sous les traitements d'ombrage de panneaux PV et CK (sans panneaux PV). Les résultats ont montré que l'installation de panneaux photovoltaïques sur les terres agricoles a des effets négatifs sur l'intensité la hauteur des plantes et le rendement des tubercules augmentaient sous une réduction de 50 % de la lumière, par rapport à la pleine lumière du soleil.

Plein soleil. La hauteur de certains cultivars de pommes de terre a été affectée par l'ombrage artificiel (WEI et al. 2019). Dans des conditions de plein champ non fertilisées au Kenya, les pommes de terre ont également obtenu des rendements plus élevés dans le même contexte.

Quant aux pays du bassin méditerranéen, des expériences menées en Égypte sur des pommes de terre ont montré que les rendements étaient plus élevés (Nadir et al. 2018).

Des expériences menées en Égypte sur des pommes de terre ont révélé que les pommes de terre cultivées sous faible irradiation étaient plus grandes, mais les tubercules étaient plus petits et de forme irrégulière. En outre, le poids sec des tubercules était En outre, le poids sec des tubercules était réduit dans des conditions de faible éclairage (Gawronska et al. 1990).

5.2. D. Utilisation du system en Algérie

Le système APV est l'un des systèmes les plus développés dans le monde, il est donc utilisé dans de nombreux pays. Au vu des rendements positifs qu'elle a obtenus dans la production agricole, l'Algérie a décidé de l'utiliser pour la première fois. Il a été proposé d'intégrer l'Energie renouvelable dans le désert d'Algérie via un grand projet en 2013, notamment en raison de l'ensoleillement de la région, tout en étant une zone semi-isolée et de l'eau rareté.

L'objet de ce travail a été proposé pour un projet de fin d'études en 2020, mais il n'a pas été mis en œuvre en raison de la maladie Covid19.

En 2021, le projet a été de nouveau relancé. Une conférence internationale s'est tenue le 11 février 2021, au cours de laquelle le projet et ses objectifs a été présentés et discutés. Il est aujourd'hui en cours de mise en œuvre au niveau de la région de Khemis Miliana à Ain Defla (**PRIMA. WATERMED, 2021**).



Figure 3: Système Agro photovoltaïque WTAREMED 4.0 PROJET (mohammedi et fellahi, 2021).

5.3. Faisabilité économique de l'APV system

- Le Système APV pourrait couvrir de 20 à 38 % de la demande énergétique annuelle totale de la serre de laitue. Demande en énergie des serres de laitue PV
- La quantité totale d'électricité produite par le système APV était de 246 mWh et 41 % de l'électricité produite a été consommée localement par les agriculteurs. Electricité a été consommée localement par la communauté agricole communauté agricole (**Trommsdorff et al. 2021**)
- Le système APV pourrait faire des bénéfices en en vendant l'énergie produite à une société d'énergie. Plus récemment (**Schindele et al. 2020**)
- Le coût nivelé de l'électricité (LCOE) de la APV est 38% plus élevé que celui des fermes solaires PV conventionnelles (**Schindele et al. 2020**)
- L'énergie générée par la culture de tomates sous serre PV est supérieure à l'énergie consommée par la serre (76 %). L'énergie consommée par la serre (768 kWh culture/cycle).

5.4 Autres utilisations d'APV system

Tableau 3: Autres utilisations d'APV system

Pays	Type d'APV s	Informations système	Avantages agricoles
Inde	Légumes de Différents types (Santra et al. 2018)	Surface du terrain - 1 ha, Centrale PV - 105 kWh installée en 2016 avec un système de système de collecte de l'eau de pluie pour l'irrigation d'appoint	Électricité produite par année - environ 130 mWh. Eau de pluie récoltée par année - 150 m ³ ·AC-1·a-1. Revenus des cultures.
Angleterre	Oies (Adomavicius)	Surface du terrain - 4 ha, PV 1,74 MW, installée en 2011.	De l'électricité - pour la ferme. De l'herbe pour un troupeau d'oies. Pas besoin de couper l'herbe
Japon	Chèvres Poulets (Adomavicius)	Superficie du terrain – 0,1 ha, centrale photovoltaïque – 41 kWh, Installateur en 2014, Taux d'ombrage – 33 %	Énergie électrique produite Par an - environ 45 mW Pour la ferme. Herbe pour Poulets et les chèvres.
États- Unis d'Amérique	Moutons (Adomavicius)	Surface du terrain - 27 AC (11 ha), Centrale photovoltaïque - 4,5 MW, Installée en 2011. Un troupeau de 75 moutons s'est installés dans le champ solaire en 2018	L'électricité - pour l université de Princeton. Herbe pour un troupeau de moutons. Non besoin de couper l'herbe et les mauvaises herbes ou d'utiliser des herbicides

États- Unis d'Amérique	Les ruches (Adomavicius)	3 sites de panneaux photovoltaïques : 1,2 AC + 40 AC + 40 AC. Miel extrait par an - jusqu'à 1 814 kg (4 000 lb).	Miel et protection des abeilles ; préservation des espèces végétales ; meilleur rendement des cultures grâce à la pollinisation
------------------------	------------------------------------	--	---

6. Le recyclage des panneaux solaire

Les panneaux solaires photovoltaïques sont responsables de beaucoup de choses :

- Plus de déchets par unité d'énergie que toute autre source d'électricité. **(Baldwin et al. 2015)**
Comme le montre la courbe suivante

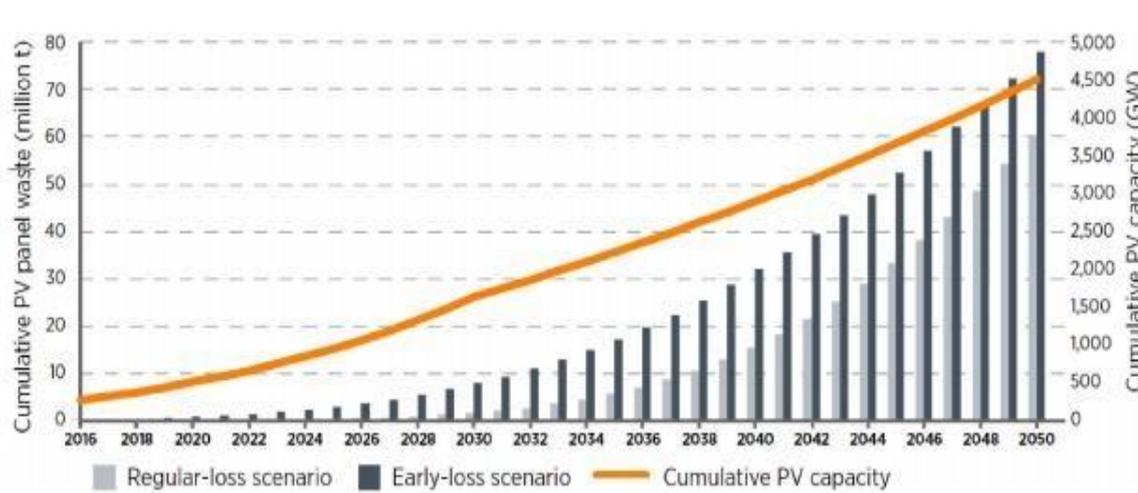


Figure 4 : Volumes de déchets de panneaux photovoltaïques en fin de vie d'ici 2050 dans le monde (Weckend et al. 2016).

Cette situation est aujourd'hui plus alarmante que jamais dans la plupart des pays développés, où 60 millions de tonnes de déchets photovoltaïques dans le monde devraient contenir des éléments dangereux tels que le plomb, le chrome, le cadmium. Rien n'a été fait pour éviter cette situation **(Weckend et al. 2016)** La nouvelle industrie s'est presque concentrée sur le recyclage des panneaux photovoltaïques **(Weckend et al. 2016; Domínguez and Geyer 2019)** On s'attend donc à ce qu'une valeur de 450 millions USD soit créée d'ici 2030 où 15 milliards USD pourraient être atteints d'ici 2050 en créant un bobine sur les panneaux photovoltaïques de recyclage où les panneaux solaires subissent des processus de séparation physique et chimique pour retourner à leurs composants d'origine pour le recyclage et la réutilisation .

Conclusion

L'énergie solaire est considérée comme une alternative à l'électricité, car les panneaux solaires absorbent les rayons du soleil par les cellules à son niveau, puis elle est convertie au niveau du générateur en énergie électrique de 220V. En plus de la production de l'Énergie renouvelable pour l'utiliser dans toutes les formes de besoins énergétiques de la ferme agricole (irrigation, pompage, petites machines...etc.), il est équipé par un système de récupération de l'eau pluviale pour fournir de l'eau d'irrigation dont les cultures ont besoin.

Par conséquent, l'utilisation de cette technologie est l'une des méthodes les plus efficaces et les plus développées pour moderniser du secteur agricole avec plus de perspectives énergiques en matière de coûts et de qualité.

Le système Agro photo voltaïque est donc utilisé dans de nombreux pays européens et certains pays arabes, et également est une option pour les zones isolées. En raison du retour positif qu'il a obtenu dans ces pays, nous avons décidé d'implanter ce projet en Algérie un site d'essai à l'université Djilali Bounaama Khemis Miliana, dans l'espoir d'obtenir des résultats

Chapitre II : la pomme de terre

1. Introduction

La carence en micronutriments typique du régime alimentaire de nombreuses populations, notamment dans les pays en développement, se répand rapidement dans différentes régions du monde. Ce phénomène n'est pas simplement désigné comme la "faim", mais comme la "faim cachée". Des études récentes de la **FAO** ils montrent qu'environ deux milliards de personnes souffrent de carences en micronutriments, principalement en raison d'une mauvaise alimentation. (**Fan&Pandya-Lorch, 2012**).

D'un point de vue agricole, les pommes de terre peuvent réduire ce phénomène Sa culture est intéressante D'un moment où l'agriculteur peut y consacrer du temps (hors saison des pluies). D'un point de vue nutritionnel, elle se classe parmi les plantes à racines ou à tubercules les plus nutritives. Il est intéressant de souligner que la pomme de terre est la plante qui produit la plus grande quantité de nourriture par jour d'occupation du sol ; elle nécessite donc moins de travail et moins d'eau. Comparaison de diverses plantes à racine sa culture est aisée et, en saison sèche fraîche, son potentiel de rendement est important (20 à 30 t/ha). Où se trouve

La pomme de terre est la quatrième culture la plus importante dans le monde après le riz, le maïs et le blé. Elle est largement répandue dans le monde. La production est répartie entre 152 pays producteurs de la pomme de terre dans une surface de 20 millions d'hectares (**Djebbour 2015**).

2. Origine de la pomme de terre

La pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) appartient à la :

famille des Solanacées, genre *Solanum* (**Quezel and Santa 1963**), comprend 1000 espèces dont plus de 200 sont tubéreuses (**Doré et al. 2006; Hawkes 1990**) , on pensait autrefois que la pomme de terre était issue d'une plante sauvage unique, l'espèce *S. tuberosum*, dès 1929, les botanistes avaient montré que cette origine était plus complexe et que l'on retrouvait parmi les ancêtres des espèces de pomme de terre cultivées, des plantes sauvages différentes (**Rousselle et al. 1992; Doré et al. 2006**). On les trouve des montagnes Rocheuses au sud du Chili, notamment en altitude. Toutefois, certaines espèces existent dans les plaines d'Argentine, d'Uruguay (**Rousselle et al. 1996**).

3. Caractéristiques de la plante

3. A. Taxonomie

La position systématique de la pomme de terre est (Boumlik, 1995):

Embranchement : Angiospermes

Classe : Dicotylédones

Sous classe : Gamopétales

Ordre : Polémoniales

Famille : Solanacées

Genre : *Solanum*

Espèce : *Solanum tuberosum*

3. B. La morphologie

La pomme de terre est une plante dicotylédone annuelle de la famille des Solanacées dont l'espèce commune blanche cultivée a pour le nom latin *Solanum tuberosum* (Kleinkopf, 1983) La pomme de terre (*Solanum tuberosum*) appartient à la famille des Solanacées, plantes fleurs gamopétales, dicotylédones dont plusieurs sont cultivées pour l'alimentation humaine (Darpoux, 1967).

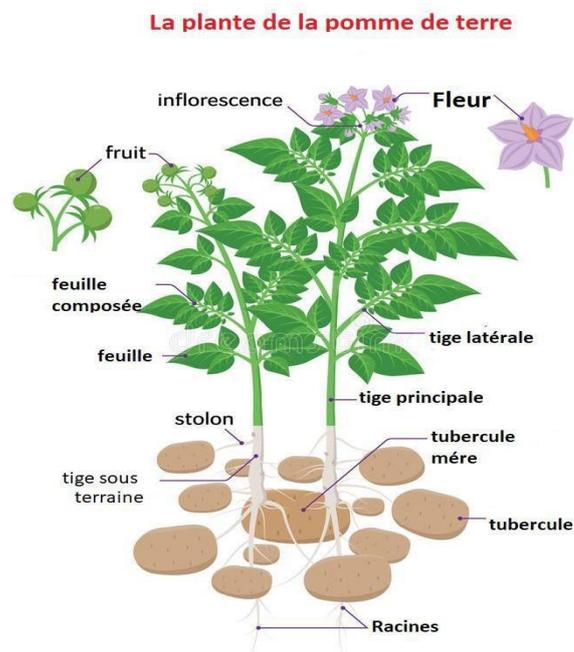


Figure 5: Morphologie d'un plant de pomme de terre (Bezvershenko, 2020)

3. B.a. Le système aérien

(Rousselle, Robert, & Crosnier, 1996) Une touffe de pomme de terre comprend un nombre plus ou moins élevé de tiges principales, d'abord dressées, mais qui avec l'âge, peuvent rester dressées (BF15) ou devenir partiellement ou totalement rampantes.

➤ L'Aspect des tiges

Trois paramètres principaux caractérisent l'aspect de la tige: - sa couleur : verte ou plutôt brunâtre du fait de pigments anthocyanes associés à la chlorophylle et présents sur toute la longueur de la tige (Early Rose) ou seulement au niveau de certaines portions

Sa forme et sa consistance cylindrique ou le plus souvent anguleuse (section triangulaire) avec de entre-nœuds plaines à la base, mais qui deviennent creux lorsque la tige est entièrement développée (Burton, 1989).

➤ Les feuilles

La porte de la feuille, qui dépend de son angle d'insertion sur la tige, est un caractère variétal relativement stable. La plupart des cultivars ont des feuilles à port horizontal, mais quelques_ un possèdent des feuilles dressées (BF15) ou retombantes (Arran Banner).

On distingue des feuilles peu divisées (de type Roseval, Bintje), ou à l'inverse très divisée, (type Ratte et espèces primitives), la nervation des feuilles et de type réticulé avec une plus grande densité de nervures vers le bord du limbe Au centre de chaque feuille, il y a généralement un bourgeon axillaire latent, qui se développe finalement dans l'état reproducteur.

➤ Les fleurs

La formule de la fleur actinomorphe et pentamère. Très caractéristique de la famille des Solanacées, Sur les tiges aériennes la floraison peut se produire. Favorisée par certaines conditions de milieu (jours longs, fortes intensités lumineuses, températures élevées). En générale les fleurs sont colorées blanches ou plus foncées (bleutées, violettes, rouge-violace) avec parfois la face supérieure blanche et la face inférieure teintée. On note aussi des variétés qui ne fleurissent pas.

➤ **Les fruits**

Est une baie sphérique ou ovoïde d'un à trois centimètres de diamètre, de couleur verte ou brun violacé, jaunissant à maturité. Il contient généralement plusieurs dizaines de graines, petites, plates, réniformes, baignant dans une pulpe mucilagineuse provenant de la transformation de l'endocarpe du fruit. La graine est albuminée avec un embryon nettement enroulé.

3. B .b Le système souterrain

Le système souterrain représente la partie la plus intéressante de la plante puisqu'on y trouve les tubercules qui confèrent à la pomme de terre sa valeur alimentaire. L'appareil souterrain comprend le tubercule mère desséché et des tiges souterraines ou stolons (**Bernhards, 1998**).

Le tubercule de pomme de terre n'est pas une portion de racine, c'est une tige souterraine.

Les racines prennent naissance sur différentes parties : au niveau des nœuds enterrés des tiges feuillées, au niveau des nœuds des stolons ou encore au niveau des yeux du tubercule (**Boufares 2012**)

4. Stades de développement de la pomme de terre

La pomme de terre est une grande consommatrice d'azote et de potassium. Elle a aussi besoin de phosphore, de calcium et de magnésium en bonne quantité et nécessite un sol équilibré en oligo-éléments. Elle préfère un sol dont le PH est légèrement acide et dont le taux d'humidité est suffisant pour lui permettre d'absorber ces éléments. Les besoins de la pomme de terre varient au fil de sa croissance. Cette dernière est divisée en plusieurs stades des développements.

➤ **Stade 0**

Le planton fournit toute l'énergie nécessaire à la croissance de la plante. À ce stade, les éléments nutritifs du sol ne sont pas utilisés, car les racines ne sont pas encore développées. Le stade 0 peut prendre d'un à deux semaines, selon la température du sol et l'éveil des tubercules au moment de la plantation.

➤ **Stade I**

Au stade végétatif débute la photosynthèse, qui fournit l'énergie nécessaire à la croissance et au développement de la plante. Les racines absorbent activement les éléments nutritifs du sol. À ce stade, qui peut durer entre 15 et 30 jours, selon la date de plantation, la pomme de terre n'utilisera que 15 % de ses besoins totaux en azote.

➤ Stade II

Est celui de l'apparition des boutons floraux début de la tubérisation. Ce stade est de courte durée (environ 10 jours), mais il est crucial pour la production. La pomme de terre y consommera près de 30 % de ses besoins en azote. L'humidité du sol, sa température, l'azote disponible et les hormones de croissance produites par la plante sont tous des facteurs qui vont influencer la formation des tubercules.

➤ Stade III

Au stade du grossissement des tubercules le développement se poursuit de façon linéaire si aucun des facteurs de croissance ne devient pas limitatif. Les hydrates de carbone (fabriqués à l'aide de la photosynthèse) et les minéraux mobiles se déplacent vers les tubercules. Les hydrates de carbone seront alors transformés en amidon et augmenteront le pourcentage de matières sèches des tubercules. Divers facteurs (conditions climatiques, fertilité insuffisante, etc.) Ce stade est d'une durée de 60 à 120 jours, selon les variétés. La majorité des éléments nutritifs utilisés par la plante le seront pendant cette période. Pendant le stade de maturation.

➤ Stade IV

Le taux de matières sèches des tubercules atteint son maximum, les nutriments de la partie aérienne et des racines se solubilisent et migrent vers les tubercules : c'est la sénescence du feuillage.

5. Exigences écologiques de la plante de pomme de terre**5. A. Exigences climatiques****➤ La lumière**

La lumière est un facteur important de régulation de la croissance des cultures de pousses de pommes de terre, de pommes de terre et a été largement étudiée en relation avec la propagation in vitro (Seabrook 1985; Wilson et al. 1993; Aksenova et al. 1994) Et la tubérisation. (Dobránski et al. 1999).

➤ La température

La pomme de terre est caractérisée par un zéro de végétation compris entre six et 8°C. L'optimum de température pour la croissance se situe entre 14 et 17°C et le feuillage est Le tubercule gèle entre 1°C et 2.2°C. La température de stockage de la récolte devra être inférieure à 6°C (Moule, 1972).

➤ **L'humidité**

Dans le cas d'une culture de pomme de terre ; l'humidité est un facteur limitant de la production biensûr taux suffisant pour permettre à la plante de suivre son développement le plus normalement possible.

5. B. Exigences édaphique

➤ **Le sol**

La pomme de terre est une plante qui s'accommode à toutes les terres

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**)

➤ **Le ph Rapporte**

Que la pomme de terre supporte les pH assez bas de 5.5 à 6. Néanmoins, elle peut s'adapter aux sols faiblement alcalins. (**Moule ,1972**).

5. c. exigences en éléments fertilisants

La pomme de terre est une plante exigeante en éléments nutritifs, tant au point de vue Organique que minéral, qui influent tant sur le rendement que sur la qualité.

➤ **Éléments minéraux**

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 général courte de 90 à 200 jours au maximum, selon les variétés (**Darpoux, 1967**)

Pour le potassium et le phosphore, LE même quantité d'azote peut bien correspondre à 30 ou 40 tonnes/ha. Les exportations en éléments minéraux sont élevées et sont dominées par le potassium, puis l'azote et le phosphore. (**Herert, In Crosnier, 1975**).

6. Les principaux ennemis de la culture

6. A. Maladies bactériennes : source (ITCF ,1998)

➤ Gale commune

Flétrissement bactérien des solanacées (*Streptomyces scabies*) Les symptômes de la gale communes manifestent uniquement en surface des tubercules et dépendent de divers facteurs, dont le type de souche de gale commune, la variété et les conditions climatiques. : Il est causé par un pathogène bactérien

➤ Jambe noire de la pomme de terre

C'est une infection bactérienne (*Erwnia carotovora*) qui provoque la pourriture des racines dans lesol et durant le stockage.

6. B. Maladies virales : source (INPV, 2011).

- Virus Y (poly virus) ou PVY
- Virus X (potex virus) ou PVX
- Virus de l'enroulement ou PLRV
- Virus de la mosaïque de la luzerne AMV

6. C. Insectes et ravageurs : source (ARVALIS, 2004)

- Teigne (*Photmea operculilla*).
- Noctuelles (*Spodoptera littoralis*, *Spodoptera exigna*).
- Pucerons (*Mysus persicae*, *Aulacortum solani*, *Macrosiphum euphorbiae*).
- Doryphore (*Leptinotarsa decemlineata*).
- Nématodes Nématodes Gallicoles (*Meloidoyne* spp).

6. D. Maladies cryptogamiques : source (ITCF ,1998)

- **Mildiou de la pomme de terre** : l'ennemi juré du tubercule à l'échelle mondiale est dû à une moisissure aquatique, (*Phytophthora infestans*), qui détruit les feuilles, tiges et tubercules.
- **Rhizoctone noir** : est provoqué par un champignon (*Rhizoctonia solani*), les tubercules contaminésportent à la surface de petits amas noirs très durs, appelés sclérotés, qui sont très visibles sur les tubercules lavés.
- **Alternariose**: est provoquée par les champignons (*Alternaria solani*) et (*A. alternata*). La maladie provoque surtout des dégâts en climat continental, chaud et sec, mais est accentuée en culture irriguée.
- **Verticilliose** : deux champignons (*Verticillium albo-atrum* et *Verticillium dahlia*) sont responsables de cette maladie. Les symptômes en végétation s'expriment tardivement :

dans un premier temps, il y a jaunissement des feuilles suivies d'un flétrissement du feuillage qui se. Il provoque de graves perd dans les régions subtropicales et tempérées.

Généralise ensuite à l'ensemble de la plante. Les feuilles flétries brunissent, tombent ou restent fixées à la tige qui conserve une couleur verte.

- **Fusariose (la pourriture sèche)** : elle est provoquée par des champignons du genre *Fusarium* (notamment *Fusarium caeruleum*). Cette maladie peut exceptionnellement être observée dès la récolte, mais généralement, elle se manifeste en cours de conservation, provoquant la destruction du tubercule.

7.2 La pomme de terre en l'Algérie

La pomme de terre est la quatrième culture la plus importante dans le monde après le riz, le maïs et le blé. Elle est largement répandue dans le monde. La production est répartie entre 152 pays producteurs de la pomme de terre dans une surface de 20 millions d'hectares (**Djebbour 2015**)

La pomme de terre occupe une place extrêmement importante par rapport aux autres cultures maraîchères. Elle représente actuellement 38% de la superficie cultivée en culture maraîchère et 30% de la production totale (**Hamza et al.**) L'illustration suivante montre également les principaux États producteurs de pommes de terre en Algérie.

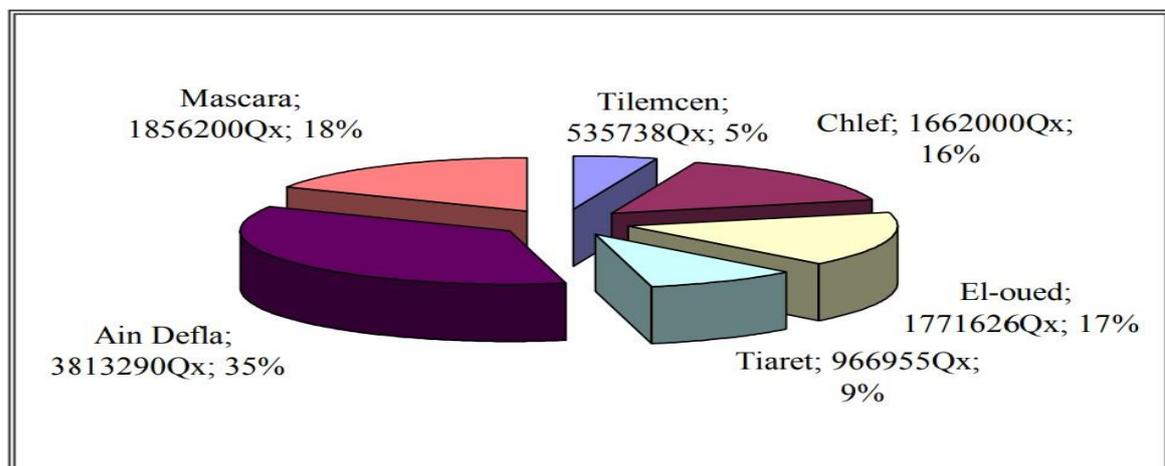


Figure 6: Répartition géographique de la principaux Wilayas productives de la pomme de terre en Algérie (campagne agricole 2004/2005). (M.A.D.R, 2006).

La figure montre clairement que d'Ain Defla occupe la première place en termes de production nationale (35 %), suivi d'un de mascara avec le pourcentage de production (18 %), puis EL-oued (17 %), puis Chlef 16 %) et dont le dernier est Tiaret et Tilemcen avec pourcentage (9 %)et (5 %).

7.3 Ain Defla

Superficie Agricole Totale in Ain Defla est 235.611 Ha avec Superficie Agricole Utile : 181.676 Ha La superficie totale plantée pour les pommes de terre en 2019/2020 s'élevait à 13,850 hectares et la superficie des semences étaient de 9 370 hectares. Environ 4,495836 quintaux et 2,279486 pour les semences ont été produits.

La superficie de la pomme de terre de semence a connu une diminution de 3150 Ha par rapport à la campagne précédente, alors que celle de la consommation a augmenté de 592.9 Ha Quant à la saisonnalité, les superficies cultivées s'élevaient à environ 7.700 hectares et 5.570 hectares de semences, ces dernières ont produit 2.852.019 quintaux. Quant aux semences, la production s'est élevée à 1.175.669.

La superficie cultivée pour la production arriéré saison s'élevait à 6.150 hectares et 3.800 hectares pour les semences, qui ont produit environ 1643817 quintaux, tandis que pour les semences, 703817 quintaux ont été produit (**DSA 2021**).

Tableau 4: superficie cultivée et la production dans Consommation et Multiplication l'état pour l'année 2019 /2020 (Saisonnier et non saisonnier).

Arrière-saison					
Superficie récoltée (Ha)			Production (Qx)		
Consommation	Multiplication	Total	Consommation	Multiplication	Total
1828	2672	4500	886580	697420	1584000
Saison					
Superficie programmée (ha)			Prévisions Production (Qx)		
Consommation	Multiplication	Total	Consommation	Multiplication	Total
2 000	5 000	7 000	1 120 000	1 250 000	1. 370 000

Source : (**DSA 2021**)

Tableau 5 : types cultivés dans l'état pour l'année 2019/2020

Les Variétés	Saison	Les Variété	Arrière-Saison
Spunta	3534	Spunta	1597.5
Kondor	52.5	Kondor	22
Bartina	518.5	Bartina	176.5
Désirée	105	Désirée	55
Kuroda	51.5	Kuroda	101
Synergi	112	Argos	6
Atlas	95	mouphis	30
Arizona	397	Evolution	32
Floris	4	Faluka	-
Elmondo	-	Royal	160
Manitou	106	Synergie	137
Memphis	-	Sarpomira	54
Royal	167.5	Floris	46
Yona	-	Rodolphe	320
Fabula	21	Manitou	161
Argos	67	Arizona	936
cimega	22	Senna	54
Gronos	10	Amorosa	

Source : (DSA 2021)

8.Importances économiques de la pomme de terre

A la faveur de la mobilisation de l'eau et de la mise en valeur des terres agricoles dans les hauts plateaux et le sud du pays la surface réservée à la culture de pomme de terre confinée jusque dans quelques wilayas du nord s'est variée s'étendant sur l'ensemble du territoire national permettant ainsi d'assurer la disponibilité de ce tubercule sur toute l'année avec une production ayant atteint 50 millions de Qx soit une consommation dépassant 100kg habitant par an

Il va de soi que cette évolution avec plusieurs impacts positifs :

L'amélioration du niveau des agriculteurs

La valorisation des terres agricoles principalement au niveau des wilayas de l'intérieur (hauts plateaux) et de sud, oued Souf, Tiaret, Laghouat, Djelfa, Bouira, Medea, Setif

La création d'emplois générés dans l'investissement de plusieurs segments à l'amont et à l'aval de la filière de la pomme de terre : production de la semence, stockage sous froid, équipements spécialisés et hydrauliques, transformations et exportation, etc

La considération de la pomme de terre comme aliment de base et sa large consommation compte tenu de sa disponibilité pendant toute l'année et à des prix accessibles pour les bonnes moyennes cela a permis de valoriser notre ration alimentaire

La récupération et utilisation des sous-produits de l'élevage animal et avicole comme engrais

Eu égard à tous ces éléments précités l'état s'est attaché, par le biais de plusieurs leviers, pour encadrer au mieux cette filière et garantir son développement continu, à savoir :

Le soutien et la promotion de la production de la semence au niveau national par des établissements agréés par le ministère national de la certification et de la conformité des semences et des plants (action de primes)

L'octroi de crédits sans intérêt pour les producteurs de pomme de terre de semence et de consommation, ainsi que pour les opérateurs devant investir dans la filière : acquisition de facteurs de production, réalisation de chambres froides, usines de transformations,

L'institution d'établissements publics chargés de la régulation de la pomme de terre (ONILEV,

L'organisation professionnelle par la mise en place d'un conseil national de la filière de la pomme de terre où tous les intervenants sont représentés

Conclusion

Comme toutes les cultures le rendement fourni par la pomme de terre est lié à un bon suivi de l'itinéraire technique, une bonne protection contre les maladies et les ravageurs et surtout la prise en compte d'exigences de la plante : une température convenable, une bonne luminosité, pas d'excès ou une insuffisance en eau et sol léger à pH compris entre 5.5 à 6.

La culture de la pomme de terre est une culture prometteuse qui offre de nombreux atouts ; d'un point de vue agronomique, sa culture est aisée, son potentiel de rendement est important (20 à 30 t/ha). D'un point de vue nutritionnel, elle se classe parmi les plantes à tubercule les plus nutritives avec une teneur énergétique élevée. D'un point de vue commercial, elle est très appréciée par les populations (l'Algérien consomme 60 kg de pommes de terre par personne et par an) et elle constitue une culture de renter pour de nombreux agriculteurs.

La place qu'elle occupe comme aliment de base pour la population mondiale a conduit l'Organisation des Nations Unies à déclarer l'année 2008 « Année internationale de la pomme de terre », la pomme de terre est en première ligne dans la lutte contre la faim et la pauvreté dans le monde.

Par conséquent, on peut présumer que l'extension de sa culture débouchera sur un accroissement de la sécurité alimentaire des pays producteurs.

Chapitre III

Milieu physique

Présentation de la zone d'étude

1. Situation géographique et Morphologique

Khemis Miliana est une commune de la wilaya d'Ain Defla, C'est une ville universitaire, située à 20 km à l'est d'Ain Defla et à 115 km à l'ouest d'Alger. Sa position géographique aux confins des villes de Tissemsilt, Tiaret, Chlef et Médéa, fait de cette cité un passage obligé pour tous ceux qui se rendent d'est en ouest et vice versa en traversant l'Algérie dans sa partie nord. Appartient aux sous bassins du Haut Cheliff Son périmètre est 1.025 km et sa superficie est 21.035km. N° : 15, 16 et 17, qui couvre une superficie de 359 Km² et un périmètre de 159 Km et de 270km d'altitude moyenne ; elle est située entre les latitudes (36°18'-36°6') N° et les longitudes (2°- 2°27') E; Limitée au nord par le massif du Zaccar (1576 m), et au sud par les premiers reliefs de l'Ouarsenis, on y pénètre l'est par le seuil de Djendel et on en sort l'ouest par le seuil des Aribis (DSA , 2021)

2. Pédologie

La vallée du Chélif est caractérisée par des sols d'apport colluvial et surtout alluvial. La Pédogenèse est très marquée par des phénomènes d'hydro orphie, holomorphie, tarification et la rubéfaction qui sont liés aux propriétés morphologiques.

Dans le périmètre du Haut Cheliff, on distingue :

- Les sols alluviaux sableux de la terrasse moderne du Chélif, qui sont peu évolués, profonds et perméables,
- Les sols alluviaux de texture limoneuse de la terrasse récente du Chélif, qui sont faiblement argileux,
- Les sols des terrasses anciennes, qui sont rouges sur tuf ou sur croute décalcifiée en surface.

3. Agriculture dans la plaine

La plaine d'El-Khemis est à vocation essentiellement agricole. Sa grande partie est occupée par les cultures maraîchère et arboricultures et l'autre partie est utilisée pour les céréales (OPIC ,2003).

4. L'occupation des sols

La couverture végétale est assez importante, elle est estimée à 65 % ; la région de Miliana (plaine de Khemis Miliana) est célèbre depuis l'Antiquité par

L'agriculture, grâce à sa situation géographique, où l'agriculture occupait environ 65 %. Se concentre sur les cultures herbacées (blé dur, blé tendre, orge, avoine) avec un taux de 73,5 %, suivi le marché de l'horticulture en deuxième position avec 17 %, principalement à base de pommes. Le boisement des fruits occupe la troisième place dans la région avec 10 % pour cent. 23 % d'agrumes, 59 % de grains et de graines, 17,8 % d'oliviers et 2 % de figuiers (DSA, 2010). Autre les cultures industrielles (cultures fourragères sèches) comme le maïs, le vert ... Et certaines zones restent en jachère. Il est principalement concentré en bir ould khalifa, djendel. Autre la production animale, en général, les vaches, les moutons, le petit bétail et la volaille. Cette zone est répartie sur la plaine de khemis avec 36 000 hectares, mais elle n'est pas entièrement irriguée, seulement 18 hectares environ sont irrigués à partir des barrages d'awlad moulouk et de sidi ben taïba. Malgré la présence de terres fertiles dans la région, il n'est pas utilisé (DSA, 2010).

5. Population et démographie

La population dans le bassin versant du Haut-Chéliff 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 localisées au nord de la plaine. Les plus significatives sont respectivement d'Est en Ouest, Djendel, Ain sultan, khemis Miliana, Sidi Lakhdar et Aribis, bien qu'au sud des plaines agglomérations sont minimales et moins denses (Sahraoui, N, 2014)

6. Contextes hydro climatologiques

Le climat de la plaine Haut Cheliff est caractérisé par un climat méditerranéen, avec un été très chaud et long et très sec à des hivers pluvieux et froids et des automnes et des Printemps très courts malgré leur relative proximité de la mer (50Km environ).

6. A. Pluviométrie

Sont dénommées précipitations, toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de La terre, tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle) et les précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre,).

Elles sont provoquées par un changement de température ou de pression. Les précipitations constituent l'unique « entrée » des principaux systèmes hydrologiques continentaux que sont les bassins versants (Hufty, 2001)

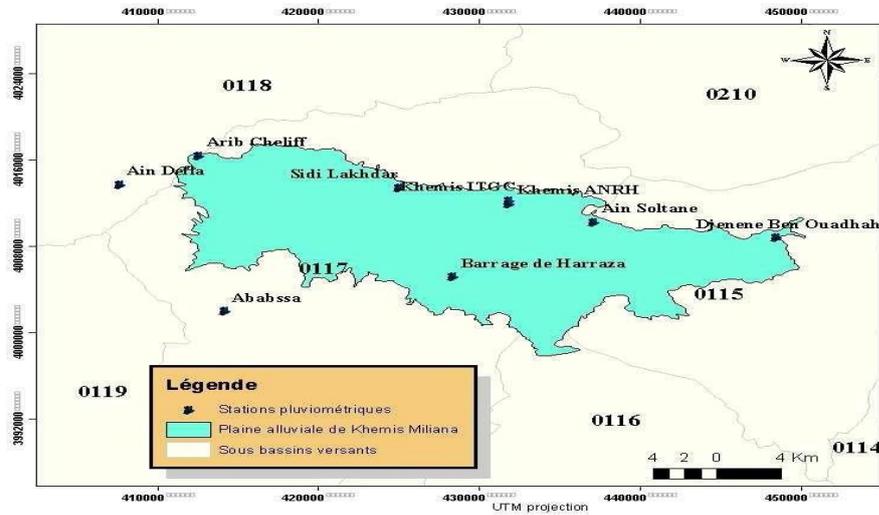


Figure 7 : Répartition spatiale du réseau pluviométrique de la plaine alluviale de Khemis Miliana. (ANRH 1981-2018).

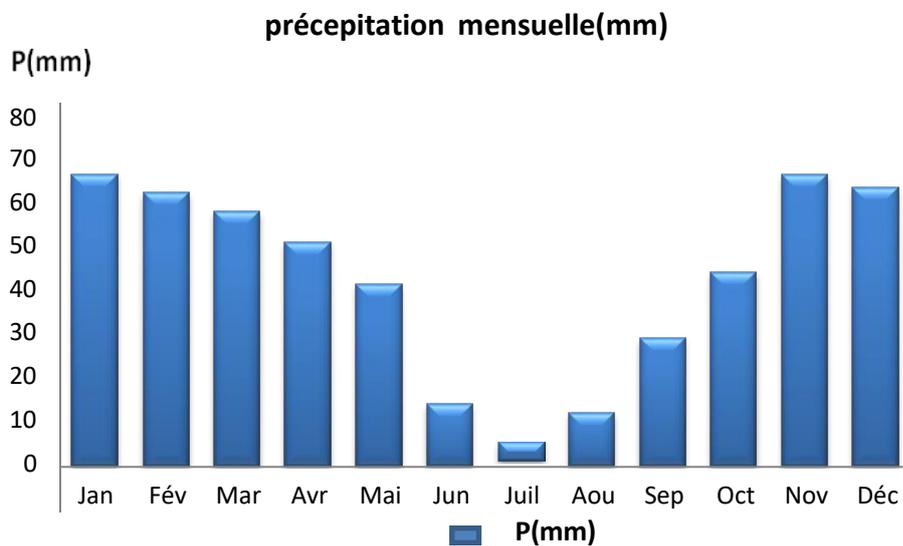


Figure 8: Variation de précipitation moyenne mensuelle au niveau de la station de Khemis Miliana (ANRH 1981-2018).

6. B. La Température

La température est l'un des éléments fondamentaux dans l'établissement du bilan hydrologique et dans la détermination du caractère climatique d'une région. Les données existantes sont celles des stations gérées par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH).

Les températures moyennes annuelles les plus élevées ('maximum) sont enregistrées dans la plainedu Haut Cheliff, dans la période (1981-2018) elles varient 26.82°C au Mois d'août qui reste le moisle plus chaud de l'année, dans la station de Cheliff-Harraza.

Et une température Les plus basses (minimum) sont enregistrées dans les Altitudes Nord et Sud ; elles varient 8.56°C. Les températures moyennes mensuelles minimales est enregistré pendant lemois de Janvier une valeur 4.92°C. Et des températures maximales est enregistré pendant dans le Mois d'août une valeur 33.38°C (Tableau N°7, Figure N°10)

Tableau 6: températures moyennes mensuelles de la station de Khemis Miliana ANRH(1981-2018)

Mois	J	F	M	A	M	J	JU	A	S	O	N	D
Tmax(c°)	13.38	14.28	17.17	19.95	24.07	29.29	33.33	33.38	28.95	24.13	18.19	14.46
Tmin(c°)	4.92	5.20	7.05	9.15	12.66	17.79	20.21	20.92	17.84	14.00	9.34	6.37
Tmoy(c°)	8.56	9.24	11.70	14.29	18.18	22.29	26.62	26.82	22.92	18.46	13.12	9.79

Source (ANRH 1981-2018)

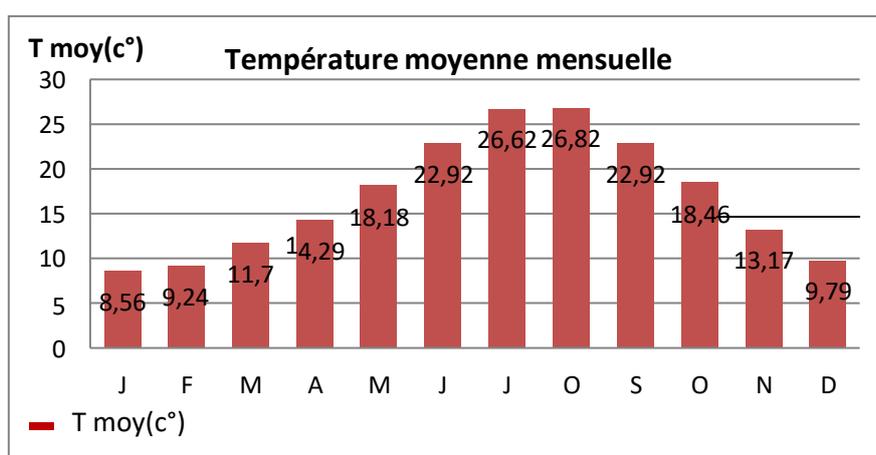


Figure N°10 : variation de la température moyenne mensuelle de la station de Khemis Miliana ANRH (1981- 2018)

6. B.1. Diagramme Ombrothermique

Le Diagramme Ombrothermique de Gaussen (1953) ou le diagramme pluviométrique de Gaussen 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.

Bagnoles et Gaussen (1953) ont caractérisé un mois sec par la relation $P \leq 2T$, avec

- P : moyenne mensuelle des précipitations en (mm)
- T : moyenne mensuelle des températures en (°C) avec $T = (M + m)/2$.

Tableau N°8

Tableau 7: Précipitations et températures moyennes mensuelles de la stationde Khemis Miliana.
Source (ANRH 1981-2018).

Mois	Jan	Fév.	Mar	Av	Mai	Jun	Jui l.	Aou t	Sep	Oct.	Nov	Déc.
T (c°)	8.56	9.24	11.70	14.29	18.18	22.92	26.2	22.92	18.46	13.12	9.79	6.93
P (mm)	67.18	62.98	58.62	51.57	41.85	14.32	4.48	12.41	29.44	44.60	67.05	64.06

Source (ANRH 1981-2018)

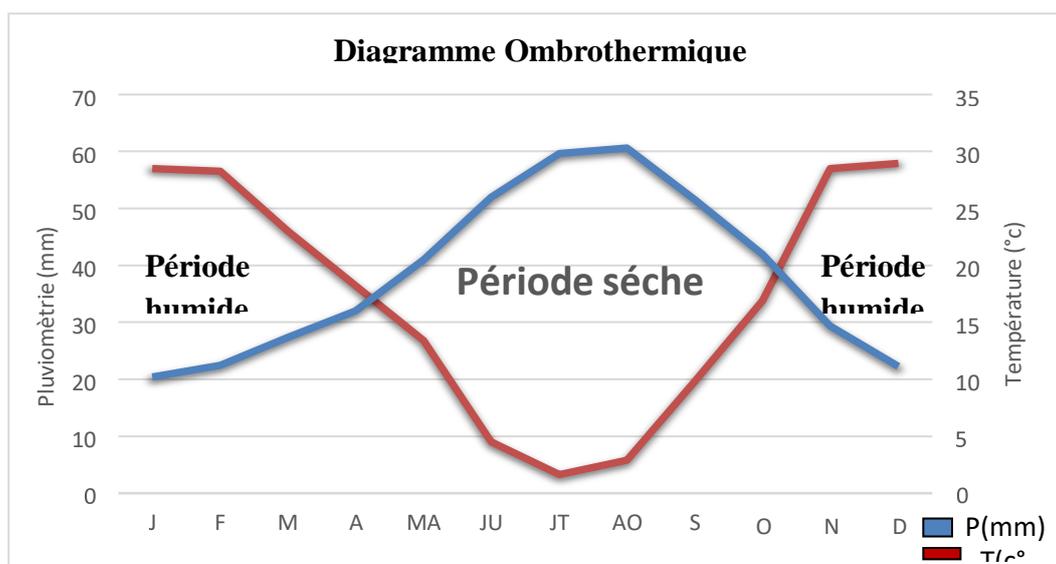


Figure N°11: Diagramme Ombrothermique de Gaussen (P=2T) de la stationde Khemis Miliana (ANRH 1981-2018).

D'après les résultats de Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnoles de la Station d'ANRH entre 1981 et 2018, on remarque une longue période de Sécheresse.

Elle s'étale sur sept mois allant du mois de mai au mois de novembre.

Le diagramme Ombrothermique a été établi à la Cheliff Harraza montre que le mois de février représente le mois le plus pluvieux durant une longue période (1981-2018) de 50.22mm. On constate que la période sèche s'étale du mois de mai au mois de novembre représente le mois le plus sec. La période humide s'étale du mois de janvier au mois d'avril.

6. D. Le Vent

Les vents soufflent fréquemment dans des directions instables et à différentes

intensités en fonction des saisons. Mesurés à la station de Khemis Miliana par l'anémogirouette, la variation de la vitesse de vent (m/s) au cours de l'année est représentée dans le tableau (N°9), et illustrée par la figure (N°12).

Les vents dominants, surtout à partir de 1000 m d'altitude, sont les vents d'Ouest (Evydal., 2012). Les données enregistrées au niveau de la station montrent que les vents prédominants sont d'une vitesse moyenne qui varie de 1.87 à 2.24 m/s pour une moyenne annuelle de 2.06 m/s.

Tableau 8: Moyennes mensuelles des vitesses de vent (m/s), station de Khemis Miliana.

Mois	J	F	M	A	M	J	JU	A	S	O	N	D
V Moye (m /s)	2.22	2.24	2.16	2.15	1.95	1.97	1.98	1.91	1.97	1.96	2.21	2.23

Source NOAA (1981-2018)

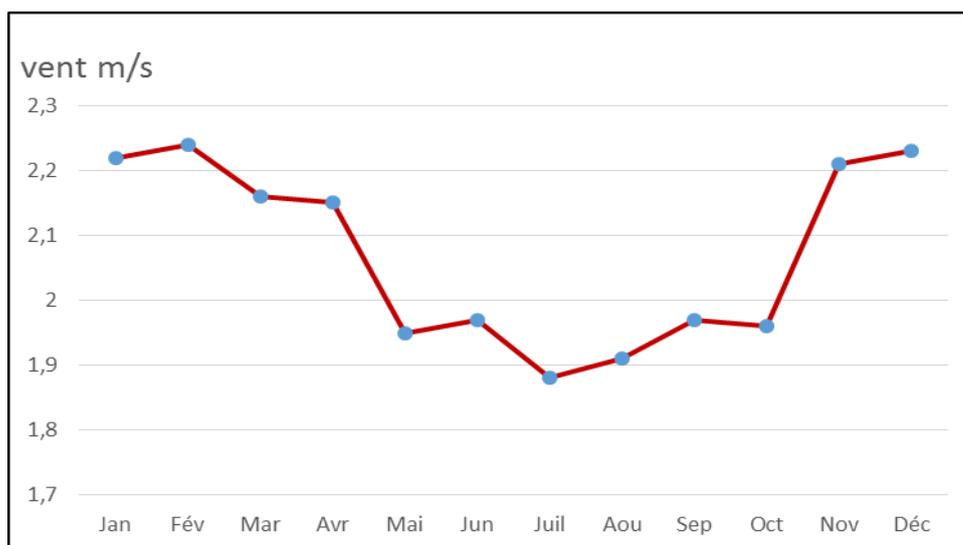


Figure 9 : Variation de vitesse moyenne mensuelle du vent au niveau de la station de Khemis Miliana (1981-2018).

6. E. L'humidité relative

L'humidité est supérieure à 63,13 % sur toute l'année. Le maximum est enregistré au Mois de décembre avec 76,46 % alors que le minimum 45,35 %, est observé au mois de Juillet (Tableau suivante).

Tableau 9: Moyennes mensuelles du taux d'humidité relative, station de Khemis Miliana (ANRH 1981-2018).

Mois	J	F	M	A	M	J	JU	A	S	O	N	D
Hum R %	76.19	74.32	69.71	65.19	61.10	52.78	45.35	46.86	56.36	63.05	70.87	76.46

Source (ANRH 1981-2018)

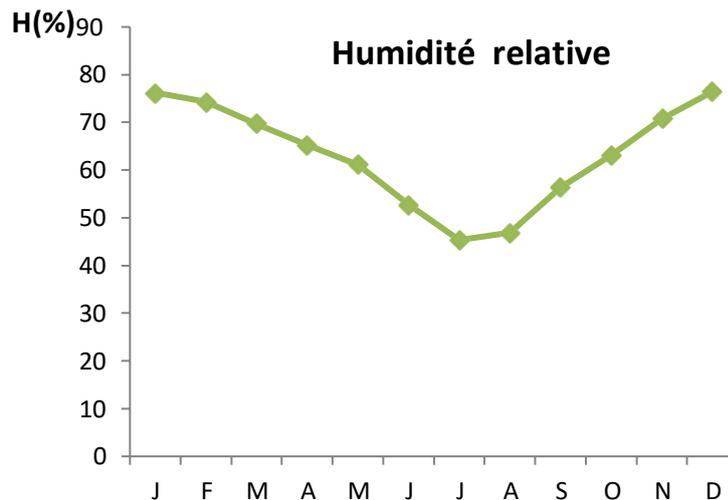


Figure N°13: Variation d'humidité relative moyenne mensuelle au niveau de la station de Khemis Miliana (ANRH 1981-2018).

7. Réseau hydrographique

La plaine du Haut Chélif a situé entre les montagnes du Zaccar et Dahra au nord et l'Ouarsenis au sud est une région principalement à région agricole, traversée par l'oued le plus important d'Algérie " l'Oued Chélif ". Dans la plaine du Haut- Chélif, Oued Chleff partage ce périmètre en deux rives : la rive droite couvre 11303 ha, tandis

Que la rive gauche ne fait que 9730 ha. Les principaux Oueds qui convergent vers la plaine son :

- **Oued Souffay :** Qui draine le secteur nord-est des monts du Zaccar et reçoit les eaux ruisseler de la ville de khemis.
- **Oued Boutane :** Qui collecte des eaux provenant du secteur nord du Zaccar, puis traverse la plaine où il présente, par endroits, des intercommunications avec la nappe alluviale avant de rejoindre l'Oued Chleff à l'ouest de la plaine.
- **Oued Deurdeur :** qui prend sa source dans les amonts d'Ouarsenis au sud du secteur d'étude. Il traverse la plaine sur plusieurs Kilomètre avant de confluer avec l'Oued Chélif.
- **Oued Harreza :** est également un Oued du Sud (Ouarsenis), il est caractérisé par un débit élevé du fait de l'impluvium. Dans la partie aval, il s'écoule dans la plaine où il présente un inféroflux en relation avec la nappe alluviale et rejoint plus en aval l'Oued Chleff.

- **Oued Massine** : sa direction d'écoulement est SSE-NNO, il alimente la partie sud de la plaine. (DSA).

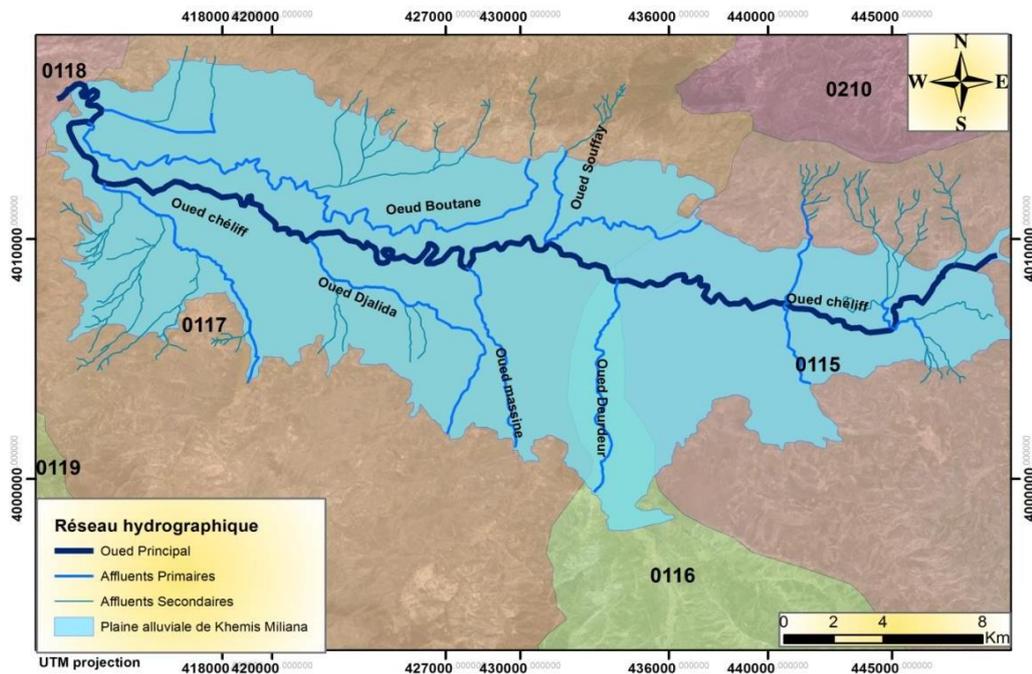


Figure 13: Réseau hydrographique de la Plaine de khemis Miliana (DSA, 2010)

8. Géologie et hydrogéologie

Géologie

La plaine proprement dite est constituée par des alluvions récentes du Cheliff, formée de galets, Gravier, sables sous-jacents à des niveaux argileux et limoneux dominant. On note les anciennes alluvions de nature très diverse, mais à fort pourcentage argileux en général.

Enfin une carapace calcaire de tufs blanchâtres, compacts ou pulvérulents est particulièrement, Développée au sud de la plaine (Sahraoui. N, 2014).

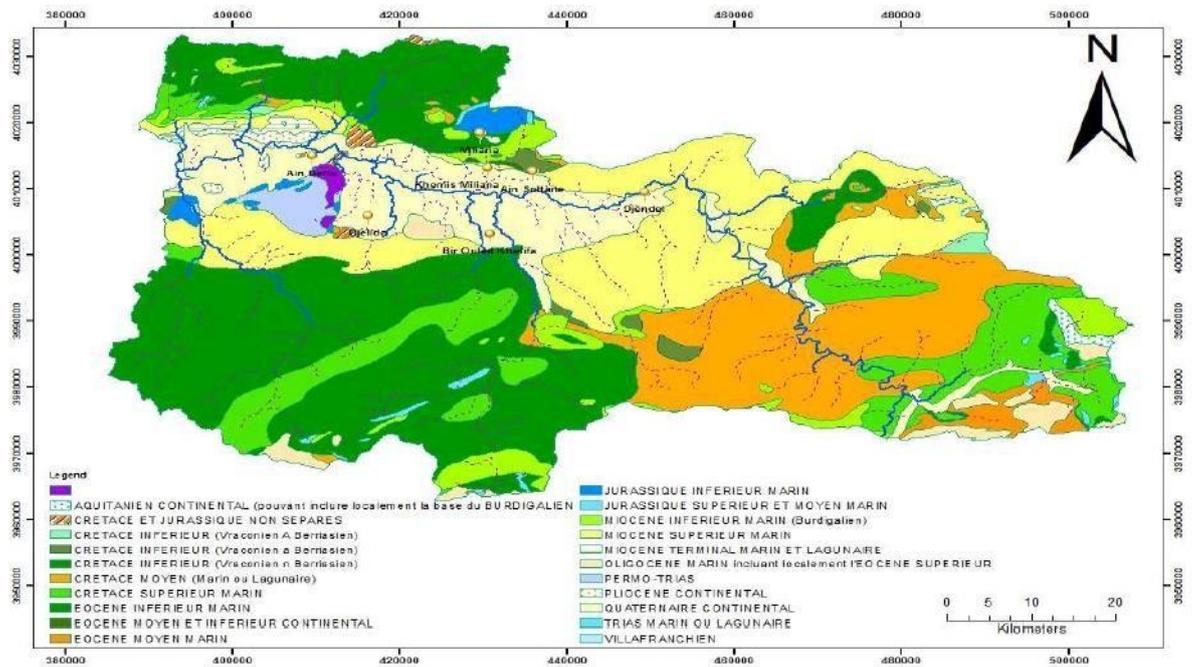


Figure 14: Carte Géologique du Haut Cheliff (GUENDOOUZ M'Hamed, 2018).

Hydrogéologie

La plaine alluviale du Haut Cheliff est un remplissage alluvionnaire d'âge Moï-Plio-Quaternaire représenté par des dépôts alluvionnaires comme du quaternaire et des grès de Moï-Plio-Quaternaire d'une épaisseur de 50 m à 100 m au niveau d'Oued Cheliff et d'une Résistivité de 100 ohm. m. Le marne constitue le substratum de cet horizon aquifère L'alimentation de cette nappe est assurée par les eaux d'infiltration des :

- Précipitation est tombée sur la plaine.
- Eaux de ruissellement des Oueds (Deurdeur, Cheliff, Souffay, Boutane).
- Eaux d'irrigation excédentaire.

Tableau 10: comportement hydrogéologique des différentes formations de la plaine du Haut Cheliff.

Formation	Epaisseur (m)	Age géologique	Comportement hydrogéologique	Type.de nappe
Limon	6 – 20	Quaternaire	Imperméable	Peuvent rendre la nappe des alluvions captives
Alluvions grossière	50 – 150	Quaternaire	Perméable (Porosité d'interstices)	Captive à semi - captive (parfois libre)
Marnes	200	Pliocène	Imperméable	/
Grés.et pouding	100 – 200	Miocène	Perméable (porosité d'interstices)	Nappe captive à semi Captive

Source : (DSA, 2021)

Conclusion

- La région se caractérise par son emplacement stratégique, car elle sert de support de tous côtés et est considérée comme un transformateur entre les états. Grâce à cet emplacement, la région a un climat méditerranéen, de sorte que nous pouvons distinguer les hivers froids et étés chauds. Il se caractérise également par sa nature géographique, car il contient de nombreuses zones montagneuses et plaines.
- 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.
- Grâce à ces caractéristiques de la région, nous l'avons choisi pour être le site de notre candidature pour le projet, car il a toutes les exigences de l'expérience.

Chapitre IV:

Matériels

Et

Méthodes

IV. Matériels et Méthodes

I. Matériels

1. Installation de système APV

Dans cette partie du travail nous allons présenter les différentes étapes effectuées à savoir :

1. A Installation des panneaux solaire

Nous avons sélectionné la micro parcelle pour la mise en œuvre de l'agro photovoltaïque (APV) système d'une superficie d'environ 1200 mètres carrés après quoi nous avons créé et préparé un plan préliminaire (figure N°16).

Ensuite, nous avons divisé le terrain en deux zones de 600(m²) mètres carrés chacune, un témoin, juste labouré et planté. Et la seconde est réservée à l'installation du système APV (Figure N°16). Le plan génie civil de la charpente métallique porteuse des panneaux solaires et des faux panneaux solaires est composé de cinq lignes espacées de 4,5 mètres et de 2,8 m de hauteur, chaque ligne comporte 9 poteaux (Figure N°16). Les panneaux sont installés avec un angle d'inclinaison de 15° pour former des gouttières pour recueillir l'eau de pluie qui va être utilisé pour l'irrigation (les panneaux solaires sont dans la rangée du milieu, Alors que le reste des rangers couverts des faux panneaux. Enfin, nous le connectons au système de transformation de l'énergie solaire à l'énergie électrique (Figure N°17). L'énergie produite alimentera en électricité verte la serre (pompes hydroponiques, humidificateur et irrigation) d'une part. D'autre part nous connectons ce système générateur d'énergie renouvelable à la pompe reliée à la bache d'eau d'une capacité de 20 à 25m³. Le matériel utilisé est illustré dans la figure N°17.

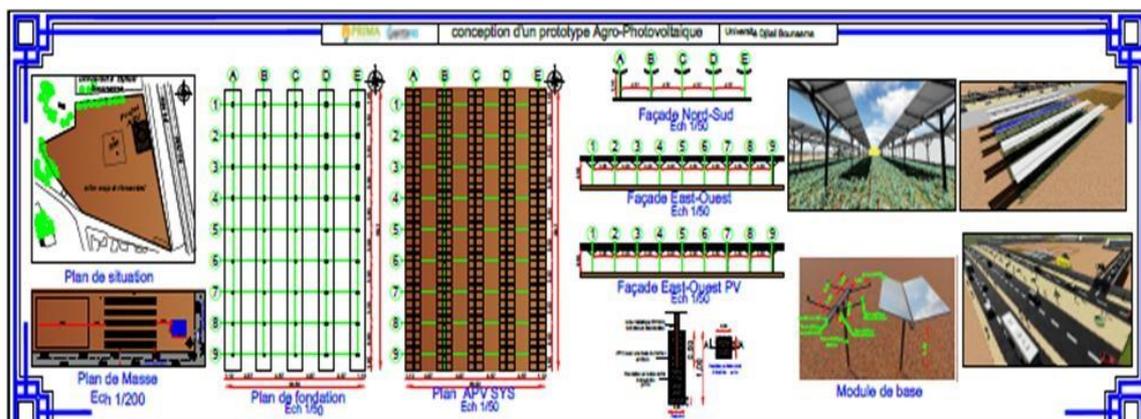


Figure 15: Plan du système APV (WATEREMED 4.0 Projet.2021)

Matériel utilisé dans APV		
		
<p>panneau solaire</p>	<p>Alucobande</p>	<p>La structure porteuse en acier</p>
		
<p>Fondation préfabriquée en béton armé (0.3 m x 0.3 m x 1.5 m)</p>	<p>Local technique</p>	<p>Système de transformation de l'énergie solaire à l'énergie électrique</p>

Figure 16: Matériels utilisée dans l'installation des panneaux solaire et local techniques (Mohammedi Et Fellahi, 2021).

Préparation de terrain

Le sol et le lit de semence est abordé d'abord pour l'aérer et le préparer pour la plantation par un labour peu profond avec une charrue canadienne (Figure N°18). La correction de la pente également fait partie de cette étape car il a été relevé l'existence d'une légère pente vers le coté sud de site expérimental (démonstration-site).

Nous appliquons des prés fertilisants et des engrais avant la mise en place de la culture sélectionnée.

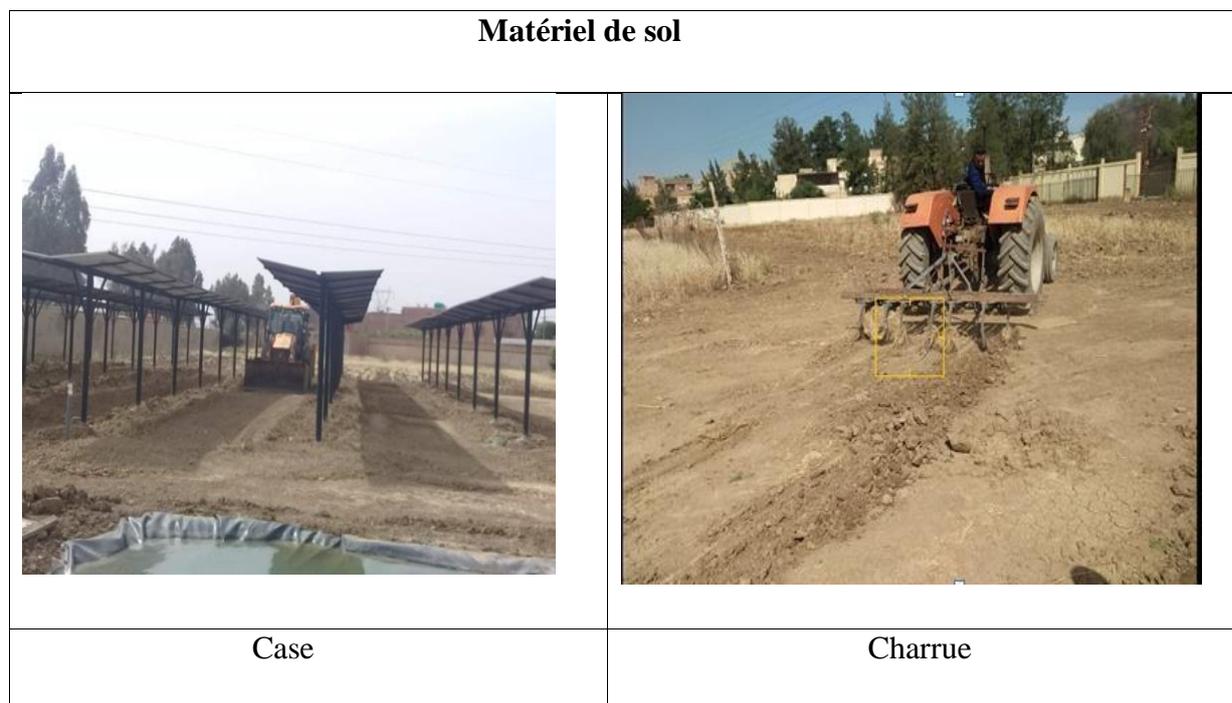


Figure 17: matériels utilisée pour laboure du sol (Mohammedi et Fellahi ,2021).

Système d'irrigation

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.

➤ **L'installation de système goutte à goutte**

Nous installons ce système sur l'ensemble des deux zones. Il est composé de 36 rampes sur 19 mètres de longueur. Les gaines sont installées à côté des plants à quelques centimètres (15 cm). Enfin, il est relié à une capacité de pompage de 8 l/s connectée à son tour à la bache eau d'une capacité 20 à 25 m³.Figure N°19.

➤ **Alimentation du bassin d'irrigation**

Il dispose d'un système d'alimentation multiple pour qu'il soit d'abord alimenté avec l'eau duréseau office national de l'irrigation et du drainage et contient également un autre système d'alimentation, qui est l'eau de pluie récupérée par le système de récupération de l'eau

Pluviale du système APV. Autre type d'eau sont aussi envisageable dans cette expérimentation est la réutilisation de l'eau épurée.



Bâche d'eau avec la pompe d'irrigation

Figure 19: matérielle utilisée dans l'irrigation et l'alimentation de bâche en eau (Mohammedi et Fellahi ,2021).

2. La fertilisation

A. Avant de planter : à ce stade, nous utilisons l'engrais NPK 15/15/15 et matière organique afin de nourrir le sol et d'assurer à la plante un environnement propice à la vie.

B. Lors de la plantation : Après avoir planté les plants, nous fertilisons par étapes, selon les besoins de la plante comme suit :

Traitement démarrage :

Ce traitement utilisé au stade de démarrage

Tableau 11: fertilisant utilisés dans l'expérimentation

Nom Commercial	Besoin en unité (l/ha)	Le rôle
Phosphore (13/40/13)	5kg par 1ha ; 6L/1.2Ha	Pour démarrée
Abactin	1L par 1ha ; 1.2L/1.2Ha	Attaquées les maladie : trips, psylles, la mineuse, les acariens
Lazer	1L par 1ha ; 1.2L/1.2Ha	Attaquées. Les pucerons
M.O	5L par 1ha ;6L/1.2Ha	Nutrition la plant

Traitement de racines

Ce traitement consiste à protéger le creux du flétrissement, le renforcer et l'adapter a nouveau sol et débouchée.

Tableau 12: Fertilisation utilisée pour le traitement de fleuraison et fécondation.

Nom Commercial	Besoin (l/ha)	Le rôle
NPK (15/15/15) NPK (15/15/46)	5kg par 1ha ; 6kg /1.2Ha	Pour le démarre et neutrino
Némaphose	1kg par 1 ha ; 1.2kg/1.2Ha	Attaquées nématodes
Técamine raise ou Prévicure	5l par 1ha ; 6L/1.2Ha 2l par 1 ha ; 2.4L/1.2Ha	Activité de racine
Agri sol	3l par 1ha ; 3.6L/1.2Ha	Force de racine

Traitement de fleuraison et fécondation

Nous utilisons ce traitement pour traiter les feuilles qui tombent à cause des maladies qui les ciblent.

Tableau 13: Fertilisation utilisée pour traitement de fleuraison et fécondation.

Nom Commercial	Besoin (l/ha)	Le rôle
Algasmer	3l par 1ha ; 3.6l/1.2ha	Utilise pour traite les feuilles qui tombent à cause des maladies
Tecamin flouer ou ; bio grand	3L par 1ha ; 3.6L/1.2Ha	
A44	3L par 1ha ; 3.6L/1.2Ha	
NPK (20/20/20)	Liquide : 3L / 1ha ; 3.6L/1.2Ha Poudre : 5kg/1ha ; 6L/1.2Ha	
Fertigofol	1L par 1ha ; 1.2L/1.2Ha	

Traitement des fruits

Ce traitement a pour rôle de soigner les fruits. Quand ils sont mûrs, les fruits ont besoin de vitamines pour mûrir et prendre forme et taille souhaitée.

Tableau 14: les fertilisations utilisées pour traitement des fruites :

Nom Commercial	Besoin (l/ha)	Le rôle
Potasse 50	5L par 1ha ; 6L/1.2Ha	Vitamine
Calcium	3L par 1ha ; 3.6L/1.2Ha	Vitamine

3. Présentation du protocole expérimental

Dans cette présentation, nous expliquons le Protocole expérimental adopté.

L'objectif principal d'étudier l'impact de l'ombrage sur le sol, plante et eau. Pour réaliser ça sur terrain, nous avons opté pour une configuration du Protocole expérimental bloc aléatoire de telle sorte obtenir différentes micro zones (Traitement : T) en termes de pourcentage d'ombrage produit par le système agro photovoltaïque sur le sol (Figure N°21).

Explication du bloc aléatoire

Le schéma suivant représente une explication détaillée. D'abord nous avons divisé le terrain d'une surface de 600 m² 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. La culture sélectionnée dans ce travail est pommes de terre d'une variété locale, où la distance entre chaque plante est de 0,50 m. Cette configuration est appliquée également à parcelle témoin. (Figure N°20).

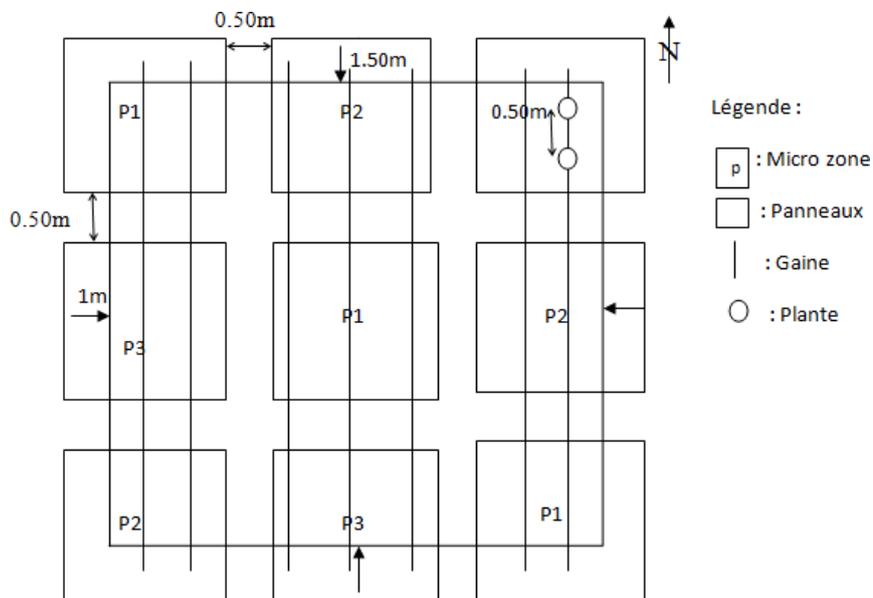


Figure 18: Schéma représentatif du bloc aléatoire

Tableau 15: dimensionnements de la parcelle sous panneaux (ombrée) et témoin sans les panneaux (non ombragée).

dimensionnements		
	Parcelle ombragée	parcelle non ombragée
S. Parcelle	600 m ²	600m ²
S. Micro Zone	60.13 m ²	60.13m ²
S. Poteaux	4.05 m ²	/
S. Rigole (V.H)	114m ²	115m ²
S. entre Line	18 m ²	18m ²
S. Non Cultivée	136 m ²	133m ²
S. Cultive	464m ²	467m ²
Longueur entre deux parcelles	6m	
N. Line	36 line	36 line
N. Rigole (V.H)	4 rigoles	4 rigoles
N. Poteaux	45 poteaux	/
N. Plante	1980 plants	1980plants
Q. Fertilisation	20kg	20kg

S : Surface N : Nombre Q : Quantité V : Verticale H : Horizontal

4. Echantillonnage

Le prélèvement du sol sera abordé dans bloc aléatoire de manière à suivre certains paramètres à savoir ceux liés au sol, et l'eau de l'irrigation (exemple : humidité du sol, le Pourcentage de carbone dans le sol...etc.).

Nous prélevons des échantillons du sol, eau et culture de manière aléatoire sur deux profondeurs 0.20 m et 0.40 m. Les analyses seront focalisées sur les propriétés physico-

Chimiques (exemple : texture de sol, l'humidité du sol, la température, le pourcentage de carbone dans le sol, le nombre de semis, qualité de l'eau d'irrigation, la dose d'irrigation, ombrage, etc.).

5. Les paramètres de suivi

- **Pourcentage de l'ombrage** : L'ombrage est l'élément le plus important dans d'expérience, nous le surveillons et le calculons quotidiennement. C'est aussi un facteur très variable qui change de temps et dans l'espace.
- **Humidité du sol, conductivité électrique (CE), ph du sol, Température du sol** : mesure chaque 2 jours.
- **Nombre de feuille et fruits, longueur de tige, surface et couleur de feuille** : mesure chaque 3 jours.
- **Dose d'irrigation** : L'irrigation est quotidienne, Les goutteur libèrent une dose d'eau de 2 l/h. mais la dose consommée et le nombre de fois d'irrigation varie selon les besoins en eau des cultures.

76 Méthodologie

Suivi le pourcentage de l'ombrage

Suivons la variable de pourcentage de l'ombrage pour les plants dans la journée.

Nous calculons manuellement le rapport d'ombre à l'aide d'un ruban à mesurer de longueur, par étapes :

- Matin

- Après-midi

➤ Suivi de l'état hydrique du sol

L'état hydrique de sol représente ou exprime la quantité d'eau en millimètres de profondeur contenue dans un mètre de sol. Dépend de plusieurs paramètres :

- **Humidité du sol** : Le suivi de l'état hydrique du sol est fait par deux méthodes :

-Méthode direct : consiste de prendre un volume du sol à l'état humide et le peser pour la prise du poids, faire passer à l'étuve à 105°C pendant 24h et refaire l'opération de prise du poids, la différence entre les deux poids donne le volume d'eau présent dans le sol.

-Méthode indirect : consiste à l'utilisation du tensiomètre permettant de mesurer la tension exercée par le sol afin de retenir l'eau : la force de succion du sol. Cette méthode utilise la sonde WATERMARK.

* **Matériel** : la sonde WATERMARK, une balance, ver de montre, étuve, pelle, sac en papier.

***les formules utilisées dans le calcul sont comme suit**

Humidité du sol $P = \frac{(Ph - Ps)}{Ps} \times 100$

Avec : ph=le poids humide de l'échantillon.

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

- **Paramètres physico-chimiques du sol :**

-**Texture** : basé sur la taille des particules composant le sol (granulométrie), la texture influence la facilité avec laquelle le sol peut être travaillé, la quantité d'eau et d'air qu'il contient et la vitesse à laquelle l'eau peut pénétrer et se déplacer dans le sol.

-**Porosité** : La porosité ϕ est la fraction du volume total du sol, qui est occupé par l'espace poreux. Il s'agit donc d'une quantification à valeur unique de la quantité d'espace disponible pour le fluide dans une masse spécifique de sol.

- **Conductivité électrique de sol, ph du sol, température de sol :**

Nous utilisons la méthode numérique à l'aide de l'appareil TDR. Nous mettons la sonde dans le sol et pour une mesure automatique la T°, PH et CE.

➤ **Suivi du développement des cultures**

Nous suivons le développement des cultures et l'évolution de ses caractéristiques morphologiques : Longueur de tige, Nombre de feuilles, Nombre des fruits, La surface de feuille, couleur de feuille.

Manuellement, on compte le nombre de feuilles et de fruits. A l'aide de la règle, on calcule la longueur de la tige et des longueurs des feuilles, En plus observer le changement de couleur.

➤ Suivi la qualité de l'eau d'irrigation

Les caractéristiques ou les paramètres de qualité de l'eau d'irrigation sont : CE, ph, T° matière en suspension :

-CE : Supérieure à 3ds/m, l'eau est considérée comme salée.

-ph : [6.5 à 8.4] (Norme FAO ,1985).

77Besoin en eau de la pomme de terre

Pour les besoins en eau de la pomme de terre, et durant tout le cycle végétatif en comptant de 90 à 120 jours, ces derniers sont conditionnés par le stade phénologique de la plante, varient de 3000 à 5000m³/ha. (DSA, 2021)

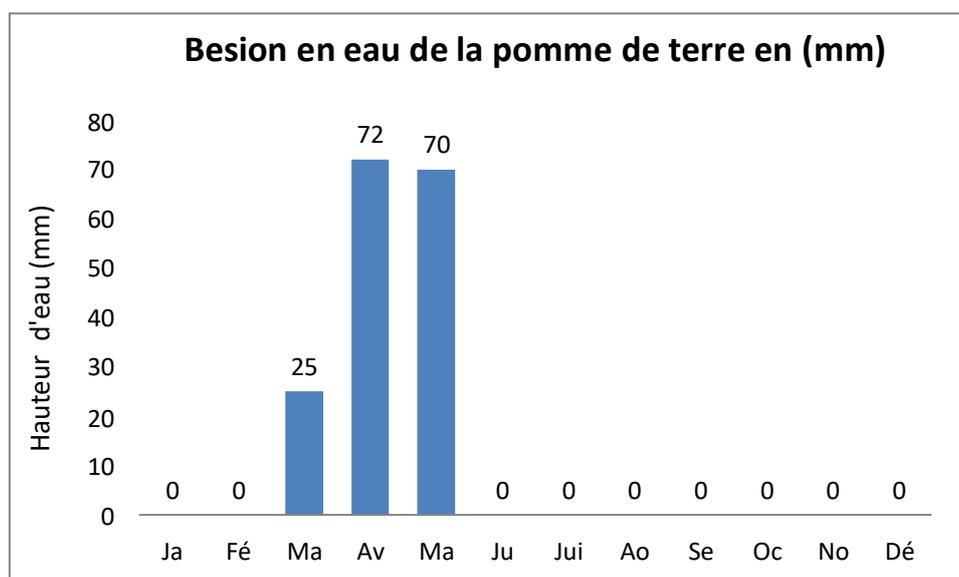


Figure N°21: Représentation graphique des besoins en eau de la PDT

Les besoins hydriques de la pomme de terre sont représentés sur la figure N° 20. La pomme de terre a besoin d'environ 25 mm en mois de Mars (début de printemps). Au mois d'Avril et Mai la période correspond au développement des fruits ou les besoins sont évalués de 70 mm. Sur le reste des mois et depuis la plantation, la PDT a besoin d'eau mais ces besoins sont recouverts par les précipitations saisonnières.

- Le système d'irrigation utilisé est le goutte à goutte dont le dimensionnement est comme suit :

Fréquence d'irrigation $F_r = \frac{\text{Dose nette}}{B J}$

$B J$

Besoin journalier $BJ = \frac{\text{Besoin du moi de pointe}}{\text{Nombre du jour}}$

Dose nette $D_{np} = (H_{cc} - H_{pf}) \cdot D_a \cdot Y \cdot Z \cdot P \% = RFU \times P \%$

Avec : H_{cc} : humidité a la capacité au champ ($H_{cc}=27 \%$) ;

H_{pf} : humidité au point de flétrissement ($H_{pf}=13 \%$) ;

Y : degré d'extraction de l'eau du sol ($Y=2/3$) ;

Z : profondeur d'enracinement en mm ($Z= 600$ mm) ;

D_a : est la densité apparente du sol ($D_a=1.7$) ;

$P \%$: Pourcentage du sol humidifié.

Sachant que $\% = \frac{n \times Spd \times Sh}{Sa \times Sr}$

$Sa \times Sr$

P : Volume du sol humidifié ;

n : Nombre de point de distribution par plante (2 par plante);

Spd : Distance entre deux points de distribution voisins de même plante ;

Sh : Largeur de la bande humidifiée ;

Sr : Ecartement entre rangs (0.50m) ;

Sa : espacement des plantes sur les rangs.

Fréquence d'irrigation : $N = \frac{ETM}{RFU}$

Avec : $RFU = 2/3 RU$

L'ETM (évapotranspiration maximale) : $ETM = K_c \times ETP$

Avec : K_c coefficient cultural dépend de la culture dépend du stade végétatif de la culture, ci-dessous celui de la pomme de terre.

- 0.50 au stade initial
- 0.83 au développement
- 1.15 ai mi-saison
- 0.75 au stade tardif

Conclusion

- Ce chapitre explique toutes les étapes d'installation du système APV.
- Présentation du protocole expérimental avec toutes ses étapes.
- Suivi de tous les paramètres variables qui peuvent être impactés par l'ombrage produit par le système Agro photovoltaïque.
- Comment l'énergie est recyclée et utilisée par la serre, l'irrigation.

Chapitre V: Résultat et Discussions

1. Résultat et discussions

Selon les recherches et les travaux effectués dans différents endroits du monde et pour différents concepts, l'analyse des données et des résultats est basée sur l'effet de l'ombrage sur la croissance.

Tableau 16: ci-dessous combine deux expériences à cet égard.

Paye	Résultat
Institut des sciences des cultures, Collège d'agriculture et de biotechnologie, Université de Zhejiang, Hangzhou 310058, Chine (Wei et al. 2019)	<p>Le taux net de photosynthèse a atteint un pic lorsque le PPFD (Photosynthétique Photon Flux Densité) était dans la gamme de 400-700 $\mu\text{mol} / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$ et la concentration intercellulaire de CO_2 a augmenté de manière significative, Après le traitement d'ombrage du panneau PV, parce La température foliaire a été affectée, ce qui a entraîné une diminution de la transpiration et une augmentation de la concentration en oxygène (diminution de l'activité).</p> <p>La surface foliaire maximale par plante a diminué de manière significative, La masse foliaire par surface pour les trois cultivars a également diminué de manière significative. La tendance à l'accumulation de matière sèche des trois cultures de la zone d'ombrage était la même que celle de la référence mais la quantité totale a diminué de manière significative. Comparé à la référence le rendement de la patate douce par unité de surface a diminué.</p>
Technology campus Ghent - Gebroeders Desmetstraat 1, 9000 Ghent, Belgium (Willockx et al. 2020)	<p>La quantité de rayonnement sous les modules PV entraîne des températures de l'air plus fraîches en journée de l'air en journée, avec un effet de refroidissement moyen de $1,65^\circ\text{C}$ sous les modules PV. Même pendant la nuit, il n'y a pas de transpiration des cultures et la teneur en vapeur d'eau est presque égale dans la région ombrée et de référence.</p> <p>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.</p>

Agronomie pour le développement durable (Weselek1et al 2021)	<p>la diminution de par est généralement d'environ 30%</p> <p>humidité du sol et l'air a augmenté de 2% en dessous de plaque au cours des 2années</p> <p>la température moyenne de l'air diminue de 1.1 tout au long de l'année surtout en été</p> <p>l'augmentation de la surface des feuilles sous plaque (acclimatation pour compenser le manque de lumière) et le retard du vieillissement des feuille dû a l'absence de stress dans la plante</p>
--	---

2. 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. Cependant, le problème n'est apparu qu'aux premiers stades de développement, dans la pomme de terre et lorsque le sol n'était pas couvert ou à peine couvert par les cultures. L'angle d'inclinaison des modules PV peut être modifié à l'aide d'un système automatisé de sorte que l'ombre soit suffisante pour empêcher l'inhibition de la croissance des cultures et les modules PV peuvent alors être inclinés de nouveau à son angle d'inclinaison optimal. Et la collecte des ruissellements des panneaux.

3. L'effet de panneaux photovoltaïque sur le Micro climat

Sur la photosynthèse

A partir des résultats des 3 expériences précédentes (Tableau N°17), il a été montré que l'ombrage des panneaux solaires affecte l'intensité de la lumière dans le microclimat. Les résultats des 3 expériences ont indiqué que la quantité de rayonnement dans les zones ombragées est toujours inférieure à celle des zones non ombragées. Cette observation entraîne une diminution du taux de photosynthèse et de conduction des stomates et une augmentation de la concentration de dioxyde de carbone comme le montre la figure N°22.

Expérience dans le sud de l'Allemagne La moyenne quotidienne de PAR réduite considérablement à 30% au cours des deux années

En 2017, la valeur maximale de par était de $480.9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ et la valeur minimale était $14.4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ sous la zone ombrée

Tandis que dans la zone référence le PAR a atteint un pic de $678.9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ et la valeur la plus basse était de $19.9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

En 2018, le PAR a atteint sa valeur maximale $471.8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ et sa valeur minimale $6.7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, alors que sa valeur maximale dans la zone référence était de $683.7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ et sa valeur minimale de $15.8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

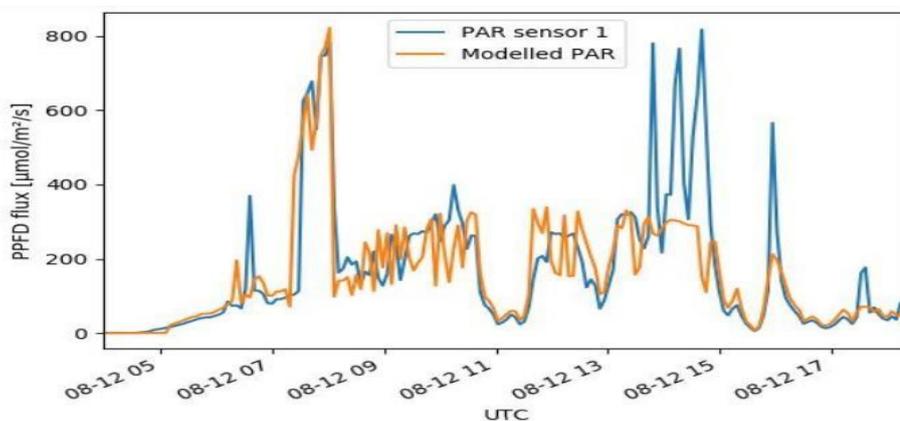


Figure 20: Comparaison entre la PAR mesurée et modélisée (Willockx et al. 2020)

La figure N°22 montre clairement que le modèle théorique suit la tendance générale des valeurs mesurées par le capteur (Capteurs PAR pour mesurer le changement de rayonnement).

La tendance générale des valeurs mesurées par le capteur. Ce n'est que lorsque le capteur de référence mesuré est ombragé (qui est utilisé comme entrée pour la validation).

La température

Baisse de la température de l'air Cette observation est confirmée par les résultats (Willockx, Herteleer et al., 2020) où les températures de l'air sont plus fraîches pendant la journée, avec un effet de refroidissement moyen de $1,65 \text{ }^\circ\text{C}$. Même pendant la nuit, la température des modules reste inférieure à la température de la région de référence et cela contredit d'autres résultats affirmant que la nuit la température sous ombrage est plus élevée en raison de l'effet d'abri des panneaux photo voltaïques (Figure N°23 et N°24).

Pour l'expérience dans le sud de l'Allemagne, l'humidité de l'air était plus élevée sous l'influence des panneaux, où la moyenne quotidienne pour les deux années était de 2 %.

Concernant l'humidité du sol, des résultats surprenants ont été observés, car il y avait une diminution significative de l'humidité du sol sous les plaques à l'hiver 2017, mais en 2018, la diminution en été, et cela contredit les résultats des expériences précédentes, où il est prévu que l'humidité augmentera en raison de l'évaporation

La raison de cette différence a été expliquée par le fait que l'humidité du sol est également affectée par la densité des panneaux photovoltaïques, la zone climatique, la conception des panneaux et l'irrigation.

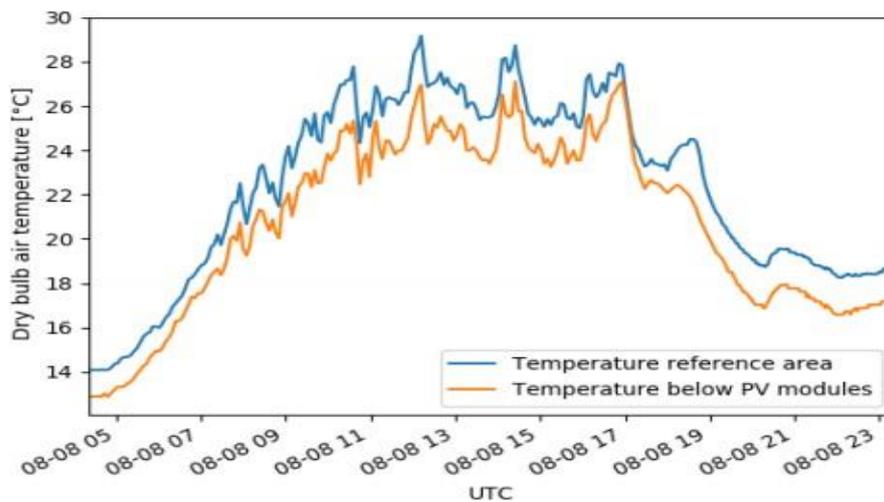


Figure 21: Température de bulbe sec mesurée dans la zone de référence et Ci-dessous modules PV le 8 août 2019

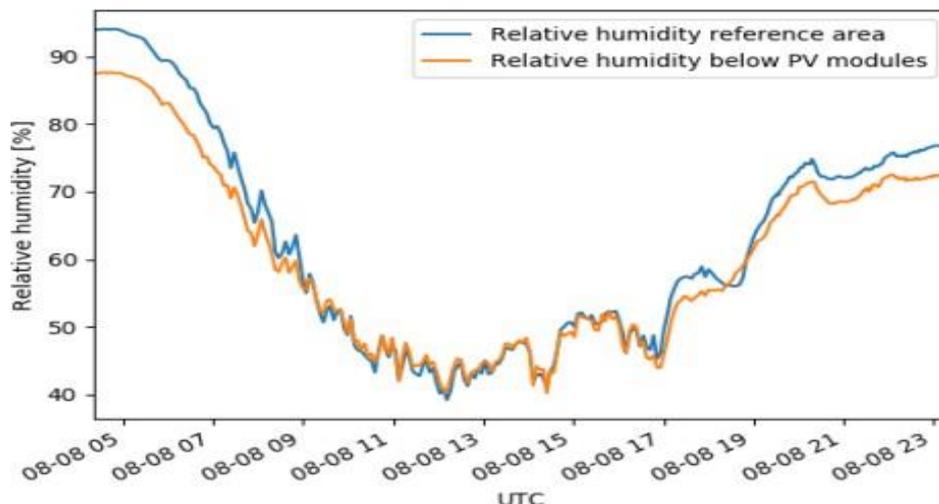


Figure 22: Humidité relative mesurée dans la zone de référence et celle de la zone avec panneaux

La réduction de la quantité de rayonnement sous les modules PV entraîne des températures de l'air plus fraîches pendant la journée, avec un effet de refroidissement moyen de 1,65°C sous les modules PV. Même pendant la nuit, la température sous les modules est restée inférieure à celle de la zone de référence.

Transpiration

Diminution du taux de transpiration et de la teneur en vapeur d'eau en raison du manque d'humidité relative suivant la tendance de la température (en raison de l'absence de rayonnement solaire)(**Wei et al. 2019**) expérience ont montré que la conduction des stomates dans les trois types de pommes de terre "Xinxiang" (Xx), "Zheshu 13" (ZS 13) et "Zheshu 77" (ZS 77) ombragées était inférieure à la référence.

La nuit, les résultats de la deuxième étude (**Willockx et al. 2020**) ont montré qu'il n'y a pas de transpiration des cultures dans les deux zones (ombrées et de référence) et que la teneur en vapeur d'eau est égale dans les deux zones, ce qui entraîne une augmentation des économies d'eau et une diminution de la demande en niveau d'eau, économiser de l'eau pour l'irrigation.

Impact de l'ombrage sur la culture

Quant à la morphologie de la plante, les résultats sont contradictoires, comme dans la première expérience (chinoise), la surface foliaire maximale de la plante a diminué de manière significative et la surface foliaire des espèces de pomme de terre "Xinxiang" (Xx), "Zheshu 13" (ZS 13) et "Zheshu 77" (ZS 77) a diminué de 18,94 %, 45,54 %, 56 et 26 %, respectivement. La masse foliaire par région pour les trois cultivars a également diminué de manière significative. La tendance à l'accumulation de matières sèches des trois cultivars d'ombre était la même dans la zone ouverte, mais la quantité totale a diminué de manière significative et le rendement de patate douce par unité de surface a diminué de 39,25 %, 33,70 % et 23,60 % dans "Xinxiang" (Xx), "Zheshu 13" (ZS 13) et "Zheshu 77" (ZS 77) espèces respectivement.

Dans l'expérience (**Willockx et al. 2020**) La Somme Des Feuilles De pomme de terre sous les modules PV est supérieur à la référence, en raison du fait que la pomme de terre est adaptée aux conditions ombragées, car le manque de photosynthèse est compensé par la grande surface.

Ceci est cohérent avec les résultats de l'expérience du sud de l'Allemagne concernant l'effet positif sur la masse et la proportion de matière sèche, où des échantillons ont été prélevés

pendant des jours aléatoires au cours des deux années 2017-2018.

Sur les deux jours (80,66 _ 12,4%, 19,3%) ceci en 2017 et en 2018 (60,48 _ 5,1%, 15,9%) Les données indiquent l'expansion de la surface foliaire pour compenser le manque de lumière, ainsi que le retard du vieillissement des feuilles dû à l'absence de stress dans la plante

Pour le rendement Concernant la zone ombrée, la production a atteint 23,6 t/ha en 2017 et 25,5 t/ha en 2018, tandis que pour la zone de référence, la production a atteint 28,8 t/ha en 2017 et 23t/ha en 2018.

Conclusion

Les résultats des 3 expériences sont similaires en termes d'effet de la température sous les panneaux constamment inférieure à la zone de référence (Sans panneaux). Ceci affecte divers autres facteurs comme l'humidité, concentration en dioxyde de carbone, transpiration, évaporation, demande en eau. Concernant la production de biomasse, les pommes de terre les résultats montrent :

Les résultats des expériences montrent que l'effet des panneaux solaires sur le produit de pomme de terre est lié au type de pomme de terre, aux conditions climatiques et à la méthode de conception du système photovoltaïque soit négativement, soit positivement sur la morphologie de la plante en termes de surface foliaire, de biomasse, de rendement. Et le pourcentage de matière sèche dans les tubercules.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Le monde a connu une révolution en termes d'utilisation des énergies alternatives, notamment dans le domaine de l'énergie solaire et dans le secteur agricole. Ce qui a conduit à une compétition dans son intégration en agriculture dans les pays développés. La région méditerranéenne a un grand potentiel et sera une assiette très intéressante voir un gisement pour appliquer ce concept.

Notre étude faisant partie du projet WATEREMD4.0 qui s'inscrit dans le cadre du programme de recherche et d'innovation PRIMA, consiste à comparer des travaux de recherches antérieurs menés dans d'autres pays et vise principalement à faire une analyse comparative sur le concept de l'énergie solaire en agriculture « Agro photovoltaïque » en termes d'objectifs, perspectives, impact ainsi que son application multiples en s'appuyant sur des études menées en Inde, en Chine et en Belgique. Les derniers travaux de recherches ont démontré que l'implantation des systèmes Agro photovoltaïque a un effet direct sur les cultures en termes de rendement (production, qualité, morphologie...).

L'objectif principal étant d'encourager l'agriculture photovoltaïque en plein champ – un concept nouveau en Algérie -, à travers une analyse de l'effet de l'ombrage sur le système (sol-eau- plante). La pomme de terre, étant une culture stratégique dans la région du haut-Cheliff et a été choisie pour être cultivée sous les panneaux photovoltaïques.

L'installation de ce système au niveau de la parcelle WATERMED4.0 de l'université Djilali Bounaama Khemis-Miliana sera impérativement une référence nationale et internationale et encouragera toutes les parties prenantes à utiliser ce concept il peut également s'agir d'autres cultures telles que les poivrons, les tomates et les légumineuses, la région est caractérisée par un sol lourd qui lui convient, il est donc très probable d'avoir des résultats positifs.

La mise en place de ce système nécessite de prendre certaines mesures :

- Une étude minutieuse du système (la qualité des panneaux, la hauteur optimale, l'angle d'inclinaison, l'emplacement et l'orientation pour un double rendement...) avec un choix du système d'irrigation utilisé ;
- Surveillance périodique et entretien du système (vérification des câbles, nettoyage des panneaux, vérification du stockage d'énergie...)

CONCLUSION GENERALE

- Étude et analyse de sol avec suivi périodique de la qualité de l'eau ;
- Analyse des données climatiques (microclimat) ;
- L'agriculture photovoltaïque est considérée comme une double production (Energie propre- production agricole). C'est aussi un investissement fructueux pour les agriculteurs. Il assure des économies d'électricité et d'eau et préserve les caractéristiques du sol. Le système est un projet économique garanti valable 20 ans ou plus, il permet à l'agriculteur de récupérer ses coûts avec intérêts à long terme.

Malheureusement, nous n'avons pas continué l'expérience sur le terrain en raison des conditions épidémiologiques actuelles, bien que nous ayons visité les lieux et installé des panneaux solaires, mais nous n'avons pas planté la culture.

Nous espérons que ce projet sera mis en œuvre dans d'autres régions d'Algérie, notamment au Sahara, où il est considéré comme un lieu stratégique pour ce genre d'installation.

References

References

1. **Adomavicius, V.** Review Of Results Of Agro-Photovoltaic Systems Implementation In Agriculture.
2. **Aksenova, N. P., T. N. Konstantinova, L. I. Sergeeva, I. Macháčková, And S. A. Golyanovskaya. 1994.** Morphogenesis Of Potato Plants In Vitro. I. Effect Of Light Quality And Hormones. *Journal Of Plant Growth Regulation* 13 (3):143-146.
3. **Anonyme, 1981:** Larousse Agricole. Librairie Larousse P 874. 1207p
4. **Aroca-Delgado, R., J. Pérez-Alonso, A.-J. Callejón-Ferre, And M. Díaz-Pérez. 2019.** Morphology, Yield And Quality Of Greenhouse Tomato Cultivation With Flexible Photovoltaic Rooftop Panels (Almería-Spain). *Scientia Horticulturae* 257:108768.
5. **Baldwin, S., G. Bindewald, A. Brown, C. Chen, K. Cheung, C. Clark, J. Cresko, M. Crozat, J. Daniels, And J. Edmonds. 2015.** Quadrennial Technology Review: An Assessment Of Energy Technologies And Research Opportunities: Technical Report.
6. **Bamouh, H. 1999.** Technique de production la culture de pomme de terre, bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA. N 58:1-15
7. **Barron-Gafford, G. A., M. A. Pavao-Zuckerman, R. L. Minor, L. F. Sutter, I. Barnett-Moreno, D. T. Blackett, M. Thompson, K. Dimond, A. K. Gerlak, And G. P. Nabhan. 2019.** Agrivoltaics Provide Mutual Benefits Across The Food–Energy–Water Nexus In Drylands. *Nature Sustainability* 2 (9):848-855.
8. **Bernhards U., 1998.** La Pomme De Terre *Solanum Tuberosum* L. Monographie. Institut National Agronomique Paris – Grignon
9. **Boufares, K. 2012.** Comportement de trois variétés de pommes de terre (Spunta, Désirée et Chubaek) entre deux milieux de culture substrat et hydroponique. Mémoire de Magister en agronomie option: amélioration de la production végétale et biodiversité. 108p.
10. **Boumlik. 1995 :** Systématique Des Spermaphytes. Edition Office Des

REFERENCES

PublicationsUniversitaire. Ben Aknoun. (Alger) P80.

11. **Burtonw.G, 1989** The Potato (3rdedition) Longman Scientific And Technical, U.K ,742p
Brecht Willockx1 , Bert Herteleer1 and Jan Cappelle1
12. **Darpoux R., 1967:** Les Plantes Sarclées Paris : Maison Rustiques, 399
13. **DJEBBOUR, F. 2015.** Evaluation de l'état d'infestation de quelques parcelles par les nématodes à kystes Globodera de la pomme de terre-Enquête sur ces parasites dans la région d'Ain Defla. Mémoire d'ingénieure: phytotechnie. Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana P 95.
14. **Dobránzki, J., K. Tabori, and A. Ferenczy. 1999.** Light and genotype effects on in vitro tuberization of potato plantlets. Potato Research 42 (3-4):483-488.
15. **Domínguez, A., And R. Geyer. 2019.** Photovoltaic Waste Assessment Of Major Photovoltaic Installations In The United States Of America. Renewable Energy 133:1188-1200.
16. **Doré, T., P. Martin, M. Le Bail, B. Ney, and J. Roger-Estrade. 2006.** L'agronomie aujourd'hui:Editions Quae.
17. **Ekologia polska special issues instructions for manuscript Preparation** all manuscripts should be submitted in two copies, 1989. 30: p. 5-7.
18. **Gowdy, j.,** our hunter-gatherer future: climate change, agriculture and uncivilization. Futures, 2020. 115: p. 102488.
19. **D.S.A** Minestaire D'agriculture Et Développement Rural
20. **Gawronska, H., R. Dwelle, And J. Pavek. 1990.** Partitioning Of Photoassimilates By Potato Plants (Solanum Tuberosum L.) As Influenced By Irradiance: Ii. Partitioning Patterns By FourClones Grown Under High And Low Irradiance1. American Potato Journal 67 (3):163-176.
21. **Goetzberger, A., And A. Zastrow. 1982.** On The Coexistence Of Solar-Energy Conversion

REFERENCES

And Plant Cultivation. International Journal Of Solar Energy 1 (1):55-69.

22. Guendouz M'hamed, 2018 ; (2018). Evaluation De La Vulnérabilité Des Eaux Souterraines A La Pollution A L'aide D'une Méthode Spécifique Si: Application Sur L'aquifère Alluvial Du Haut Cheliff.

23. Hamza, H., A. Ilyes, and H. M. Tahar. Contribution à l'étude de l'effet de la fertilisation azotée-potassique sur pomme de terre (*Solanum tuberosum* L. var CONDOR) dans la région du Souf.

24. Hassanien, R. H. E., And L. Ming. 2017. Influences Of Greenhouse-Integrated Semi-Transparent Photovoltaics On Microclimate And Lettuce Growth. International Journal Of Agricultural And Biological Engineering 10 (6):11-22

25. Hassanien, R. H. E., M. Li, And F. Yin. 2018. The Integration Of Semi-Transparent Photovoltaics On Greenhouse Roof For Energy And Plant Production. Renewable Energy 121:377-388.

26. Hassanpour Akeh, E., J. S. Selker, And C. W. Higgins. 2018. Remarkable Agrivoltaic Influence On Soil Moisture, Micrometeorology And Water-Use Efficiency. Plos One 13 (11):E0203256.

27. Hawkes, J. 1990. The potato: evolution, biodiversity and genetic resources. Belhaven Press, London, UK, 259 p.

28. Hegger, M. 2011. Construction Et Energie: Architecture Et Développement Durable: Presses Polytechniques Et Universitaires Romandes.

29. Herert Dj, In Crosnier J.C, 1975 : Techniques Agricoles Encyclopédie Permanents Paris Ed.Technique

30. Houghton, r. And g. Woodwell, global climatic change scientific American, 260: 36-44.

31. Hufty, A. (2001). Introduction A La Climatologie: Le Rayonnement Et La Température, L'atmosphère, L'eau, Le Climat Et L'activité Humaine. Presses Universities Laval.

REFERENCES

- 32. Ikhlef.S., 2. (S.D.).** Mémoire Magister. Etude De La Pollution De La Nappe Alluviale Du HautCheliff Par Les Nitrates.
- 33. INPV, 2011 :** institut nationale de la protection des végétaux. Bulletin d'informations Phytosanitaires (www.inpv.edu.dz)
- 34. ITCF, 1998:** institut technique des céréales et des fourrages: maladies de la pomme de terre.
- 35. Kareem, I. A. 2007.** Rattle Tree (Albizia Lebbeck) Effects On Soil Properties And ProductivityOf Irish Potato (Solanum Tuberosum) On The Jos Plateau, Nigeria.
- 36. Kleinkopf, G. 1983.** Potato. ID Teare & MM Peet. Crop-water relations. New York, Willey Internscience, -492p:285-305.
- 37. M.A.D.R, 2006 :** Minestaire D'agriculture, Direction De Statistique De Système D'information
- 38. Marrou, H., L. Dufour, And J. Wery. 2013a.** How Does A Shelter Of Solar Panels Influence Water Flows In A Soil–Crop System? European Journal Of Agronomy 50:38-51.
- 39. Marrou, H., L. Guillioni, L. Dufour, C. Dupraz, And J. Wéry. 2013b.** Microclimate Under Agrivoltaic Systems: Is Crop Growth Rate Affected In The Partial Shade Of Solar Panels? Agricultural And Forest Meteorology 177:117-132.
- 40. Marrou, H., J. Wéry, L. Dufour, And C. Dupraz. 2013c.** Productivity And Radiation Use Efficiency Of Lettuces Grown In The Partial Shade Of Photovoltaic Panels. European JournalOf Agronomy 44:54-66.
- 41. Marrou, H., J. Wéry, L. Dufour, And C. Dupraz. 2013.** Productivity And Radiation Use Efficiency Of Lettuces Grown In The Partial Shade Of Photovoltaic Panels. European Journal Of Agronomy 44:54-66.
- 42. Moule C, 1972 :** Plantes Sarclées Et Déverses. J-B. Ballière Et Fils, Editeur, Paris246.

REFERENCES

- 43. Nadir, S. W, W. K. Ng'etich, And S. J. Kebeney. 2018.** Performance Of Crops Under Eucalyptus Tree-Crop Mixtures And Its Potential For Adoption In Agroforestry Systems. Australian Journal Of Crop Science 12 (8):1231.
- 44. Organization, W.H., the state Of Food Security And Nutrition In The World 2020:** Transforming Food Systems For Affordable Healthy Diets. Vol. 2020. 2020: Food & Agriculture Org.
- 45. Parkinson, S. And J. Hunt,** Economic Potential For Rainfed Agrivoltaics In Groundwater-Stressed Regions. Environmental Science & Technology Letters, 2020. 7(7): P. 525-531.
- 46. Quezel, P., and S. Santa. 1963.** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales.
- 47. Rousselle, P., B. Rousselle, and D. Ellisseche. 1992.** La pomme de terre in Amélioration des espèces végétales cultivées. Gallais A, Bammerot H.
- 48. Rousselle, P., Y. Robert, and J. C. Crosnier. 1996.** La pomme de terre: Production, amélioration, ennemis et maladies, utilisations: Quae.
- 49. Sahraoui. N., 2014 :** Maître De Conférences, Génie Des Procédés, Université Des Sciences Et De La Technologie Houari.
- 50. Santra, P., R. Singh, H. Meena, R. Kumawat, D. Mishra, D. Jain, And O. Yadav. 2018.** Agri- Voltaic System. Indian Farming 68 (01):20-23.
- 51. Schindele, S., M. Trommsdorff, A. Schlaak, T. Obergfell, G. Bopp, C. Reise, C. Braun, A. Weselek, A. Bauerle, And P. Högy. 2020.** Implementation Of Agrophotovoltaics: Techno-Economic Analysis Of The Price-Performance Ratio And Its Policy Implications. Applied Energy 265:114737.
- 52. Seabrook, J. 1985.** Changing the growth and morphology of potato plantlets in vitro by varying the illumination source. Paper read at Symposium on In Vitro Problems Related to Mass Propagation of Horticultural Plants 212.

REFERENCES

- 53. Touafek, K., M. Haddadi, A. Malek, And W. Bendaikha-Touafek. 2008.** Simulation Numérique Du Comportement Thermique Du Capteur Hybride Solaire Photovoltaïque Thermique. *Revue Des Energies Renouvelables* 11 (1):153-165.
- 54. Trommsdorff, M., J. Kang, C. Reise, S. Schindele, G. Bopp, A. Ehmman, A. Weselek, P. Högy, And T. Oberfell. 2021.** Combining Food And Energy Production: Design Of An Agrivoltaic System Applied In Arable And Vegetable Farming In Germany. *Renewable And Sustainable Energy Reviews* 140:110694.
- 55. Trypanagnostopoulos, G., A. Kavga, M. Souliotis, And Y. Tripanagnostopoulos. 2017.** Greenhouse Performance Results For Roof Installed Photovoltaics. *Renewable Energy* 111:724-731.
- 56. Valle, B., T. Simonneau, F. Sourd, P. Pechier, P. Hamard, T. Frisson, M. Ryckewaert, And A.Christophe. 2017.** Increasing The Total Productivity Of A Land By Combining Mobile Photovoltaic Panels And Food Crops. *Applied Energy* 206:1495-1507.
- 57. Weckend, S., A. Wade, And G. A. Heath. 2016.** End Of Life Management: Solar Photovoltaic Panels: National Renewable Energy Lab.(Nrel), Golden, Co (United States).
- 58. Wei, L., M. Yu, N. Qin, C. Huang, Y. Xie, W. Sun, L. Wu, W. Wang, And G. Wang. 2019.** Effects Of Agro-Photovoltaic Integrating System On Field Illumination And Sweet Potato Growth. *Journal Of Zhejiang University (Agriculture And Life Sciences)* 45 (3):288-295
- 59. Weselek1 ., Andrea Bauerle2 ., Jens Hartung3 ., Sabine Zikeli4 ., Iris Lewandowski2 ., Petra Högy1(2021)** Agrivoltaic system impacts on microclimate and yield of different crops within an organic crop rotation in a temperate climate
- 60. Willockx, B., B. Herteleer, And J. Cappelle. 2020.** Combining Photovoltaic Modules And Food Crops: First Agrivoltaic Prototype In Belgium. *Renewable Energy & Power Quality Journal (Re&Pqj)* 18.
- 61. Wilson, D. A., R. C. Weigel, R. M. Wheeler, and J. C. Sager. 1993.** Light spectral quality

REFERENCES

effectson the growth of potato (Solanum tuberosum L.) nodal cuttings in vitro. In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant 29 (1):5-8.

62. <https://www.hellowatt.fr/panneaux-solaires-photovoltaiques/panneau-solaire-differents-types>

REFERENCES
