

République Algérienne Démocratique et populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
Université DILLALI BOUNAAMA KHEMIS-MILIANA
Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre



Mémoire de fin d'études

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

Domaine: Sciences de la Nature et de Vie

Filière: Sciences agronomiques

Spécialité: Aménagements Hydro-agricole

Thème

Suivi de la production d'une culture irriguée sous un système agro photovoltaïque. Cas de la pomme de terre (variété locale)

Encadré par :

- Mr. SAMI TOUIL

Présenté par :

- MOHAMMED AMAR HOUSSAM

- BELAL IMAD

Soutenu devant le Jury :

Président : MEROUCHE.A (MCA) (Université Djilali Bounaama Khemis Miliana)

Examinatrice : KARAHACANE.H (MCB) (Université Djilali Bounaama Khemis Miliana)

Encadreur : TOUIL. S (MCA) (Université Djilali Bounaama Khemis Miliana)

Co-Encadreur : RICHA. A (MCA) (Université Djilali Bounaama Khemis Miliana)

Année universitaire 2021-2022

Remerciement:

Tout d'abord, nous remercions et remercions Allah Tout-Puissant d'avoir atteint ce niveau.

Nous adressons nos sincères remerciements et notre gratitude à notre encadreur ,

Mr .TOUIL SAMI, qui nous a prodigué de bons et précieux conseils, et qui a mis toute sa confiance en nous et dans notre travail. Nous exprimons également notre plus profond respect et nos remerciements à tous ceux qui ont contribué à atteindre ce niveau et cette réalisation, y compris tous les enseignants du département des sciences agronomiques en générale et spécialisées dans l'aménagement hydro-agricole en particulier ceux qui ont suivi notre enseignement dès le premier jour à l'université .

Nos remerciements vont également à Mme RICHA Amina et encore à M. TOUIL Sami .

Et à tous les partenaires du projet WATERMED4.0 / Prima, merci de nous avoir donné l'opportunité de faire partie du grand projet .

Dédicace

Je dédie ce travail à mes parents qui ne m'ont jamais épargné dans mon éducation et mon soutien pour réussir à l'école et dans la vie , et leur supplication pour moi était comme l'âme avec laquelle je suis fort quand je me sens faible .

Et merci à tous mes frères et sœurs ,et la famille MOHAMMED AMAR et BOUCHAKOUR RAHMANI .

tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin j'arrive à cette étape importante de ma vie , ainsi que mes amis proches (WALID , ABDELDJABBAR et DJELLOUL)

Et mon binôme BELLAL IMAD

Et merci également à tous les professeurs dont j'ai eu l'honneur de apprendre ,surtout le professeur encadreur SAMI TOUIL et sous encadreur AMINA RICHA , qui n'ont jamais été avares pour nous guider et nous aider dans ce travail tout l'année.

Et A tous mes chers collègues et amis sans exception de la promotion d'aménagement hydro agricole 2021-2022.

HOUSSAM

Dédicace

Premièrement, nous remercions Dieu pour tout, et le succès ne vient que de Dieu.

Et à mes parents qui ont travaillé dur et se sont sacrifiés pour nous et sont la raison de notre présence ici, leur aide et leurs prières ont toujours été présentes, Nous les remercions donc, car peu importe le bien que nous leur donnons, leur réputation restera élevée.

Je remercie et salue également mon ami HOUSSAM MOHAMMED AMAR , Nous avons travaillé ensemble pour ce travail, nous avons passé des moments critiques et des pressions, comme nous avons passé des moments amusants et amusants, et nous demandons le succès sauf à Dieu.

Et merci également à tous les professeurs dont j'ai eu l'honneur de apprendre ,et je dédie mon travail en particulier à notre au l'encadreur Mr SAMI TOUIL et Sous encadreur Mm RICHA AMINA qui n'ont jamais été avares pour nous guider et nous aider dans ce travail tout l'année.

Et A tous mes chers collègues et amis sans exception de la promotion d'aménagement hydro agricole 2021-2022.

Et merci à tous mes frères et sœurs , et la famille BELAL, et OTHMANI tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin j'arrive à cette étape importante de ma vie , ainsi que mes tout les amies .

Et je salue toutes les personnes du quartier et city de MEKHATRIA à tout.

IMAD

ملخص:

بسبب انخفاض مصادر الطاقة وزيادة النمو السكاني ، من الضروري البحث عن أنظمة جديدة تجمع بين توفير الطاقة والاستقلالية في هذه الدراسة ، سنسعى لاستخدام الطاقة الشمسية في الزراعة. على وجه التحديد ، تأثير تظليل الألواح الشمسية على النظام (الماء ، التربة ، النباتات) وتوفير الطاقة ، مع أخذ مثال (بذور البطاطس). أجريت التجربة في سهل خميس مليانة ، جامعة جيلالي بونعامة.

تم تصميم الخطة بخمسة صفوف من الألواح. تنقسم الألواح الشمسية للصف الأوسط إلى 9 مناطق دقيقة ، ثم نزرع البطاطس . تظهر نتائج الدراسات البلجيكية والصينية أن تأثير التظليل على المناخ المحلي (درجة الحرارة ، النتح ، الرطوبة) إيجابي . على الرغم من أن النتائج لها تأثيرات إيجابية وسلبية على شكل النبات (حجم الدرنات ، مساحة الورقة ...). ونقوم بمقارنتها بنتائج تجربتنا حيث لاحظنا أن نسب الغلة تحت الألواح الشمسية أحسن منها في الشاهد كمتوسط عدد الدرنات وكتلتها في كل نبتة حيث وجدنا متوسط 5.55 درنة بوزن متوسط 125.89 غرام لكل درنة تحت الألواح الشمسية مقارنة بالشاهد وجدنا معدل 4.11 درنة بوزن متوسط 120.81 غرام لكل درنة .

الكلمات المفتاحية الزراعة الفولطية , البطاطس , الألواح الشمسية , الظل , محصول البطاطس .

Résumé :

En raison de la réduction 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 dans l'agriculture. Plus précisément, l'impact de l'ombrage des panneaux solaires sur le système (eau, sol, plantes) et les économies d'énergie, en prenant l'exemple (des pommes de terre de semence). L'expérience a été réalisée à Khemis Miliana Plain, Université Djilali Bounaama.

Le plan est conçu avec cinq rangées de panneaux. Les panneaux solaires de la rangée du milieu sont divisés en 9 micro-zones, puis nous cultivons des pommes de terre.

Les résultats des études belges et chinoises montrent que l'effet de l'ombrage sur le microclimat (température, transpiration, humidité) est positif.

Bien que les résultats aient des effets positifs et négatifs sur la forme de la plante (taille des tubercules, surface foliaire...). Nous le comparons avec les résultats de notre expérience, où nous avons remarqué que les taux de rendement sous panneaux solaires (APV) sont meilleurs que dans le témoin comme le nombre moyen de tubercules et leur masse par plant, où nous avons trouvé en moyenne 5,55 tubercules avec un poids moyen de 125,89 grammes par tubercule sous les panneaux solaires (APV) par rapport au témoin nous avons trouvé une moyenne de 4,11 tubercules avec un poids moyen de 120,81 grammes par tubercule.

Les mots clé : Agro Photovoltaïque (APV), Pomme de Terre, Panneaux Solaires, L'ombrage, Le rendement de pomme de terre

Abstract :

Due to reduced energy sources and increased demographic growth, it is necessary to seek new systems combining energy saving and autonomy.

In this study, we will seek to use solar energy in agriculture. Specifically, the impact of solar panel shading on the system (water, soil, plants) and energy savings, taking the example (potato seeds). The experiment was carried out at Khemis Miliana Plain, Djilali Bounaama University.

The plan is designed with five rows of panels. The solar panels of the middle row are divided into 9 micro-zones, then we grow apples earthen.

The results of the Belgian and Chinese studies show that the effect of shading on the microclimate (temperature, transpiration, humidity) is positive.

Although the results have positive and negative effects on the shape of the plant (tuber size, leaf area...). We compare it with the results of our experiment, where we noticed that the yield rates under solar panels (APV) are better than in the control as the average number of tubers and their mass per plant, where we found an average of 5.55 tubers with an average weight of 125.89 grams per tuber under the solar panels (APV) compared to the control we found an average of 4.11 tubers with an average weight of 120.81 grams per tuber.

Keywords : Agro photovoltaic (APV) , Potato , Solar panels , Shading , Potato Yield .

Liste Des Abréviations :

APV : Agro-Photovoltaïque Système.

PV : Photovoltaïque.

AEG : Entreprise D'électricité Générale

ISO : International Organisation For Standardisation

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

INRAE : Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (fr)

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

Moye : Moyenne

°C : Degré Celsius

s : Seconde

ms : Mili Siemens

m³ : Mètre Cube

m : Mètre

mm : Millimètre

MES: Matière En Suspension

Liste des figures

Figure 01 : Les types des panneaux photovoltaïque.....	23
Figure 02:Ensemble des projets et des installations APV avec emplacement.....	27
Figure 03:Les différents types de la pomme de terre.....	33
Figure 04 :Illustration d'un plant de pomme de terre	34
Figure 05:Maladie de galle commune	40
Figure 06 : Virus de l'enroulement ou PLRV.....	40
Figure 07 : Maladie de mildiou (Phytophthora infestant.....	41
Figure 08 : Maladie de teigne (Photmeaopercullila	42
Figure 09 : Le maladie de Alternariasolani.....	42
Figure 10: Production de pommes de terre en Algérie de 2010 à 2020	43
Figure 11 : Principales Wilayas de production de pommes de terre en Algérie (cercles jaunes	44
Figure 12 : Carte situation géographique de La Zone d'étude	46
Figure 13: La texture de sol au niveau de khemis miliana	47
Figure 14 : Coupe géologique de la plaine du Haut Cheliff. (Perrodon 1957	50
Figure 15 : Variation de précipitation moyenne mensuelle au niveau de la station de Khemis Miliana (ANRH 1981 -2018	51
Figure 16: Variation de la température moyenne mensuelle de la station de khemis miliana ANRH(1981-2018	52
Figure 17 : Diagramme ombrothermique de Guessin et Bagnoles Bagnolesde la Station ANRH (1981 et 2018	52
Figure 18: Variation de vitesse moyenne mensuelle du vent au niveau de la station de Khemis Miliana (1981-2018	53
Figure 19: Variation d'humidité relative moyenne mensuelle au niveau de la station de Khemismiliana (ANRH 1981-2018	54

Figure 20:Plant du système APV (WATEREMED 4.0 Projet.2022.....	57
Figure 21: Matériels utilisée dans l’installation des panneaux solaire et local technique	57
Figure22 : Les matériels utilisé pour laboure le sol et planté les graines	59
Figure 23 :Matérielle utilisée dans l’irrigation et l’alimentation de bâche en eau	60
Figure 24 : Schéma représentatif du bloc aléatoire	61
Figure 25 :prélèvement des échantillons de sol avec tarière	62
Figure26 :La solution de sol par l'eau distillée après séchage , pesée et tamisage	62
Figure 27 : Des courbes représente le pourcentage de l'humidité de sol.....	80
Figure 28 : Courbes représente le nombre moyen de feuilles de plantes	83
Figure 29 : Courbes représente la longueur moyen de rameau + feuille	84
Figure 30 : Courbes représente la hauteur moyen de plante.....	85
Figure 31: Courbes représente le moyen de nombre de ramification.....	86
Figure 32: Courbes représente pourcentage moyen du chlorophylle	87
Figure 33:Aperçu de la existante sur les effets de l'ombrage sur différentes cultures	101

Listes des tableaux :

Tableau 01: Les meilleurs panneaux photovoltaïque du marché international	23
Tableau 02 : Carte d'identité de la pomme de terre.....	33
Tableau 03 : Analyse physique des sols (ITGC Khemis Miliana, 2007.....	48
Tableau 04 : Analyse chimique du sol (ITGC Khemis Miliana, 2007.....	48
Tableau 05: Températures moyennes mensuelles de la station de Khemis Miliana ANRH (1981-2018).....	50
Tableau 06 :Températures moyennes mensuelles de la station de Khemis Miliana ANRH	51
Tableau 07 : Précipitations et températures moyennes mensuelles de la station de Khemis Miliana. (ANRH 1981-2018).....	52
Tableau 08: Moyennes mensuelles des vitesses de vent (m/s), station de Khemis Miliana. ANRH(1981-2018).....	53
Tableau 09: Moyennes mensuelles du taux d'humidité relative, station de Khemis Miliana(ANRH19812018).....	53
Tableau 10 : Durée d'insolation mensuelle moyenne dans Ain Defla (ANRH, 2015)	54
Tableau 11 : Interprétation des valeurs de la conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturé à 25°C (USSI ,1954).	63
Tableau 12 : échelle de classification du pH de la solution du sol.....	64
Tableau 13 : Teneur de calcaire total (BAIZE 1988	66
Tableau 14 : on prend 7 fioles de jaugé de 50 ml et on prépare la gamme selon le tableau	67
Tableau 15 : La moyenne de conductivité électrique de sol.....	77
Tableau 16 : Le moyen de PH (kcl et eau.....	78
Tableau 17 : Pourcentage de l'humidité de sol.....	79
Tableau 18 : Les moyens des sels minéraux dans le sol avant de fertilisation	81
Tableau 19 : Les moyens des sels minéraux dans le sol après de fertilisation	82
Tableau 20 : Les résultats de la densité apparent et la porosité total	82
Tableau 21 : Nombre moyen de feuilles de plantes	79
Tableau 22: La longueur moyen de rameau + feuille.....	84
Tableau 23: La hauteur moyen de plantes	85
Tableau 24 : Moyen de nombre de ramification	86
Tableau 25 : pourcentage moyen du chlorophylle	87
Tableau 26 : La surface des feuilles et surface des feuilles spécifique	88

Tableau 27 : Nombre de Tiges par plant et Nombre de Tubercules par plant etMasse totale foliaire (g) et Masse totale plant (g) et Masse tubercule (Moyenne	88
Tableau 28 : Poids de la récolte de pomme de terre dans APV et témoin.....	88
Tableau 29 : Le pourcentage classification de la longueur du tubercule.....	89
Tableau 30 : Effet de l'ombrage sur la température de l'air de la canopée et la température du sol ..	93
Tableau 31 : Effet de l'ombrage sur l'humidité de l'air de la canopée et l'humidité du sol.....	94

Table des matières

LISTE DES ABREVIATIONS	07
LISTE DES FIGURES	09
LISTE DES TABLEAUX	11
INTRODUCTION GENERAL	18
CHAPITRE I : (SYSTEME AGRO-PHOTOVOLTAÏQUE)	20
INTRODUCTION.....	21
1. DEFINITION DE AGRO PHOTOVOLTAÏQUE.....	21
2. LES TYPES DES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES.....	22
2.1 LE SILICIUM MONO CRISTALLIN (MONO C-Si).....	22
2.2-LE SILICIUM MULTI CRISTALLIN (MULTI C-Si).....	22
2.3-LE SILICIUM AMORPHE (A-Si).....	22
3. HISTOIRE D'APV SYSTEME.....	24
4. L'ENERGIE RENOUVELABLE DANS LE MONDE DE L'AGRICULTURE.....	24
5. L'IMPACT DE LA PRODUCTION PHOTOVOLTAÏQUE SUR L'AGRICULTURE.....	24
6. L'EFFET DES PANNEAUX SOLAIRES SUR L'EAU DANS LE SOL ET LA TEMPERATURE	25
6.1 L'EAU DANS LE SOL.....	25
6.2 LA TEMPERATURE	25
7. UTILISATION DU SYSTEME APV DANS LE MONDE ET EN ALGERIE.....	26
7.1 DANS LE MONDE.....	26
7.2 EN L'ALGERIE.....	27
8. PERSPECTIVES APPLICATION FUTURE.....	28
9. LE POTENTIEL ECONOMIQUE DU SYSTEME APV.....	29
10 .CONCLUSION.....	29
CHAPITRE II : (LA CULTURE DE LA POMME DE TERRE)	31

INTRODUCTION.....	32
1 .DEFINITION DE LA POMME DE TERRE.....	32
1.1 LES DIFFERENTES VARIETES DE POMME DE TERRE.....	33
1.2 DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE.....	34
1.3 LE SYSTEME AERIEN ET SOUTERRAIN.....	35
1.3.1 SYSTEME AERIEN.....	35
1.3.2 SYSTEME SOUTERRAINE.....	35
2. STADES DE CROISSANCE DE LA POMME DE TERRE.....	35
2.1 PREMIERE ETAPE : (ÉTAPE DE STOCKAGE).....	35
2.2 DEUXIEME ETAPES : (LE STADE DU CHAMP AVANT L'EMERGENCE DES PLANTES AU-DESSUS DU SOL).....	36
2.3 TROISIEME ETAPE : STADE DE CHAMP APRES L'APPARITION DES PLANTES AU-DESSUS DU SOL.....	37
3. EXIGENCE ECOLOGIQUE DE LA PLANTE DE POMME DE TERRE.....	37
3.1 TEMPERATURE.....	37
3.2 LUMIERE ET PHOTOPERIODE.....	38
3.3 EXIGENCES EDAPHIQUES.....	38
3.4 EXIGENCES EN ELEMENTS NUTRITIFS.....	38
3.5 FERTILISATION.....	39
4. LES PRINCIPAUX MALADIES ET ENNEMIS DE LA CULTURE.....	39
4.1 MALADIES BACTERIENNES. GALLE COMMUNE (STREPTOMYCES SCABIES).....	39
4.2 MALADIES VIRALES. VIRUS DE L'ENROULEMENT OU PLRV.....	40
4.3 MALADIES CRYPTOGAMIQUES .MILDIU (PHYTOPHTORA INFESTANT).....	41
4.4 INSECTES ET RAVAGEURS (TEIGNE) .TEIGNE (PHOTMEA OPERCULLILA).....	41
4.5 ALTERNARIA SOLANI.....	42
5. LA POMME DE TERRE EN L'ALGERIE.....	43
6. CONCLUSION.....	44
CHAPITRE III : (MILIEU PHYSIQUE).....	45

1. PRESENTATION DE MILIEUX PHYSIQUE	46
1.1 PRESENTATION DE LA ZONE D’ETUDE (SITE D'ETUDE).....	46
1.2LA GEOGRAPHIQUE ET MORPHOLOGIQUE DE MILIEUX PHYSIQUE	46
1.3 PEDOLOGIE	47
1.4 LE SOL	47
1.4.1 ANALYSE PHYSIQUE DES SOLS.....	48
1.4.2 ANALYSE CHIMIQUE DES SOLS	48
2 .GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE.....	49
3. CONTEXTE HYDRO CLIMATOLOGIQUE	50
3.1 PLUVIOMETRIE.....	50
3.2 LA TEMPERATURE	51
3.3 DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE	52
3.4 LES VENTS.....	53
3.5 L’HUMIDITE RELATIVE.....	53
4 . INSOLATION.....	54
5 . CONCLUSION	54
CHAPITRE IV: METHODES ET MATERIELS.....	55
INTRODUCTION.....	56
1.INSTALLATION DE SYSTEME APV.....	56
1.1.INSTALLATION DES PANNEAUX SOLAIRE.....	56
1.2.PREPARATION DE TERRAIN	58
1.3. SYSTEME D’IRRIGATION.....	59
2. LA FERTILISATION	60
3. PRESENTATION DU PROTOCOLE EXPERIMENTAL.....	60
3.1 EXPLICATION DU BLOC ALEATOIRE	61
4. ECHANTILLONNAGE	62
5 ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE DU SOL	63

5.1 CONDUCTIVITE ELECTRIQUE.....	63
5.2 ANALYSE DE PH EAU ET PH KCL.....	63
5.3 DOSAGE DE LA MATIERE ORGANIQUE (METHODE ANNE).....	64
5.4 DOSAGE DE CALCAIRE TOTAL (CALCIMETRE DE BERNARD)	65
5.5DOSAGE DE PHOSPHORE ASSIMILABL.....	66
5.6 DOSAGE DE L'AZOTE TOTAL.....	69
5.7 DOSAGE DE CALCAIRE ACTIF (DROVINEAN).....	71
6. ANALYSE CARACTERISTIQUES PHYSIQUE DU SOL.....	71
6.1 GRANULOMETRIE (PIPETTE DE ROBINSON).....	71
6.1. LA DENSITE APPARENTE ET LA POROSITE TOTAL.....	73
7. BIOMASSE.....	74
8. CONCLUSION.....	75
CHAPITRE V : RESULTAT ET DISCUSSIONS.....	76
INTRODUCTION.....	77
A- LES RESULTATS	77
1 ANALYSE DE SOL	77
1.1 - CONDUCTIVITE ECLECTIQUE CE.....	77
1.2 PH K-CL ET PHE	78
1.3 L'HUMIDITE DE SOL	79
1.4 LES SELS MINERAUX	81
1.5 LA DENSITE APPARENTE ET LA POROSITE TOTAL	82
2-CARACTERISTIQUE DE CROISSANCE VEGETALE	83
2-1 EVOLUTION DE NOMBRE DES FEUILLES	83
2-2 EVOLUTION DE LA LONGUEUR RAMEAU PLUS FEUILLE.....	84
2-3 EVOLUTION DE LA HAUTEUR DE PLANTE.	85
2-4 EVOLUTION NOMBRE DE RAMIFICATION	86
2-5 EVOLUTION DU CHLOROPHYLLE	87

3. BIOMASSE.....	88
3. 1 . LA SURFACES DES FEUILLES.....	88
3.2 .RENDEMENT.....	88
3.3 CLASSIFICATION DU TUBERCULE.....	89
B- LA DISCUSSION	90
1- DYNAMIQUE VEGETALE SOUS L'INFLUENCE DE PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES.....	90
1-1 CROISSANCE	90
1-2 BIOMASSE.....	91
2- PRODUCTION VEGETALE.....	91
2-1 DE L'OMBRE A LA LUMIERE, ET A LA GESTION DE L'EAU	92
2-2 PHOTOVOLTAÏQUE ET PRODUCTION AGRICOLE.....	94
3- L'OMBRE DES INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES DIMINUE L'ARROSAGE NECESSAIRE.....	95
4- L'EFFET DE L'OMBRAGE SUR LE RENDEMENT ET LA QUALITE.....	96
5-CONCLUSION	102
REFERENCES	103

Introduction Général :

_ Le développement des sources d'énergie renouvelables comme moyen de répondre à la demande énergétique mondiale et de remplacer simultanément les combustibles fossiles comme l'un des principaux moteurs du changement climatique est devenu l'un des défis sociétaux majeurs de notre époque. Dans ce contexte, les systèmes photovoltaïques (PV) offrent un grand potentiel et sont considérés comme encore plus efficaces pour capter l'énergie solaire que la photosynthèse (Blankenship et al. 2011). Ceci, et le fait que l'installation de ces systèmes sur des zones ouvertes est l'option la moins coûteuse (Fraunhofer ISE 2015), a également conduit à l'installation de systèmes photovoltaïques sur des terres agricoles. Cependant, cela peut entraîner un conflit d'utilisation des terres entre l'énergie et la production alimentaire, et peut être une préoccupation majeure, en particulier dans les régions à superficie limitée ou à forte densité de population. L'installation extensive d'installations photovoltaïques au sol à grande échelle a entraîné une diminution de l'acceptation sociale dans certaines régions et des inquiétudes croissantes concernant la perte de terres arables pour une production d'énergie photovoltaïque plus rentable (Nonhebel 2005). Face à ce conflit, le développement des systèmes agro photovoltaïques (APV) peut être vu comme une manière de combiner PV et production alimentaire sur un même territoire . Le concept d'APV a été introduit par Goetzberger et Zastrow (1982) il y a plus de trois décennies. Récemment, plusieurs usines APV commerciales et installations de recherche à petite échelle ont été établies dans le monde (Oberfell et al. 2017). Comme l'ont démontré plusieurs études, l'APV peut augmenter la productivité des terres (Dupraz et al. 2011a ; Elamrietal.2018 ; Valle et al. 2017).

Il offre donc un grand potentiel en tant que système d'énergie renouvelable coproductif économe en ressources dans les régions à forte densité de population ou à superficie limitée, telles que les régions montagneuses et les îles (Dinesh et Pearce 2016). Cependant, son potentiel le plus élevé est anticipé dans les régions semi-arides et arides, où divers effets secondaires synergiques peuvent être attendus (Marrou et al. 2013a ; Ravi et al. 2016). Ici, la culture des cultures souffre souvent des effets néfastes du rayonnement solaire élevé et des pertes d'eau concomitantes.

Il a été démontré que l'efficacité de l'utilisation de l'eau augmente sous les panneaux dans les installations photovoltaïques (Hassanpour Adeg et al. 2018), et des résultats similaires ont été observés dans les systèmes APV (Elamri et al. 2018 ; Marrouetal.2013a). Ces résultats deviennent encore plus pertinents, car la demande en eau pour l'irrigation devrait augmenter dans les conditions climatiques futures (Elamrietal. 2018;Hannahetal.2013). En plus de l'amélioration de la productivité de l'eau, les cultures cultivées dans les climats arides peuvent également bénéficier directement de

la réduction du rayonnement solaire à travers les panneaux photovoltaïques (Harinarayana et Vasavi 2014). Outre ses impacts sur la production agricole, la mise en œuvre de l'APV améliore la rentabilité de l'agriculture en générant des revenus supplémentaires grâce à la production d'énergie (Dinesh et Pearce 2016; Malu et al. 2017) et peut en outre améliorer l'électrification rurale hors réseau dans le cadre de systèmes énergétiques décentralisés (Burney et al. 2010 ; Harinarayana et Vasavi 2014 ; Malu et al. 2017 ; Silva Herran et Nakata 2012).

Par conséquent, l'APV peut être un élément important des futurs systèmes de production d'énergie renouvelable, tout en assurant simultanément la production alimentaire et la viabilité économique de l'agriculture (Dinesh et Pearce 2016). Cependant, en ce qui concerne le conflit d'utilisation des terres, la valeur réelle des APV en tant que système de production combinée de nourriture et d'énergie nécessite une démarcation claire des systèmes PV produisant principalement de l'énergie en maintenant une productivité suffisante des cultures. Les premières expériences sur le terrain portant sur l'utilisation de cette technologie et son impact sur la culture des cultures ont montré que l'efficacité de l'utilisation des terres des systèmes combinés PV et cultures vivrières peut être améliorée par rapport à la production séparée (Dupraz et al. 2011a; Marrou et al. 2013c).

Le rendement électrique et le profit économique peuvent être améliorés en augmentant la densité des modules PV, ce qui réduit simultanément le rayonnement disponible pour les cultures (Dupraz et al. 2011a). Cela souligne l'importance de trouver une relation appropriée entre la production alimentaire et énergétique. L'impact de l'APV sur le développement et la performance des cultures est inévitable, mais n'a jusqu'à présent été étudié scientifiquement que pour un petit nombre d'espèces de cultures, telles que la laitue, le concombre et le blé dur (voir par exemple Marrou et al. 2013c). Cela montre la nécessité de poursuivre les recherches. Cet article de synthèse résume la littérature existante sur les systèmes APV et donne un aperçu général de la technologie APV avec des exemples d'application actuels, des développements récents et des domaines d'application potentiels.

Les premiers rapports sur les expériences de production agricole dans les systèmes APV sont analysés dans le but d'évaluer les connaissances actuelles sur l'APV et les effets de l'ombrage sur la production agricole. En outre, nous discutons de divers aspects techniques et agronomiques des systèmes APV, en nous concentrant en particulier sur leur impact sur le microclimat et la production agricole pour évaluer leur applicabilité dans la production alimentaire agricole.

Chapitre 01 :

Système Agro-photovoltaïque

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 (Ayoptan 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 (Toufik et al. 2008).

On assiste depuis le milieu des années 1970 à 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 (Schindler 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.

1. Définition de système agro photovoltaïque :

- L'agriculture photovoltaïque consiste à installer un système solaire photovoltaïque sur des cultures agricoles fructueuses pour exploiter au maximum l'espace disponible. Le terme "agrivoltaïsme" désigne une pratique consistant à associer sur un même site une production agricole (maraîchage, élevage ou vigne) et de manière secondaire, une production d'électricité par des panneaux solaires.

photovoltaïque .Les termes " agri voltaïque ", " agro photovoltaïque " ou encore " solar sharing en anglais " sont également employés pour désigner ce concept . (Goetzberger , 1982) .

2. Les types des panneaux photovoltaïque :

Deux grands familles de technologies existent actuellement :

La première à base silicium cristallin comprenant le mono et le cristallin, couvre de l'ordre de 85% de la production mondiale .La deuxième famille celle des couches minces , comprend les cellules au silicium amorphe, poly cristallin ou microcristallin ; au tellures de cadmium , au cuivre indium sélénium , et à l'arséniure de gallium .En outre , d'autre technologiques sont en fullerènes .

2.1-Le Silicium mono cristallin (mono c-Si) :

La technologie mono cristalline est coûteuse car elle nécessite des barres de silicium pur. Son rendement est le plus élevé (14 à 16%). Ce qui a l'avantage de réduire la taille des modules pour une même puissance, chose utile lorsqu'un gain de place est nécessaire.

2.2-Le silicium multi cristallin (multi c-Si) :

La technologie multi cristalline est obtenue par la refonte de chute de cristaux de silicium de l'industrie électronique et elle nécessite 2 à 3 fois moins d'énergie que la technologie précédente. Son rendement un peu moindre (12 à 14 %) mais son coût est plus avantageux, ce qui permet à cette technologie de dominer actuellement le marché.

2.3-Le silicium amorphe (a-Si) :

Matériau composé de silicium hydrogéné (état non-cristallin) déposé sur un substrat de verre. D'un rendement moins bon que le cristallin (5-7%), le silicium amorphe est souvent appliqué à des appareils de petite puissance (calculatrices, lampes ou horodateurs), mais des firmes comme Solarex, Phototronic, Canon ou Fortum proposent des modules de taille équivalente à celle des modules cristallins. Sanyo a mis au point une technologie de silicium amorphe sur une couche de silicium mono cristallin (technologie HIT) dont les rendements sont supérieurs à celui du silicium mono cristallin (rendement de l'ordre de 19%).

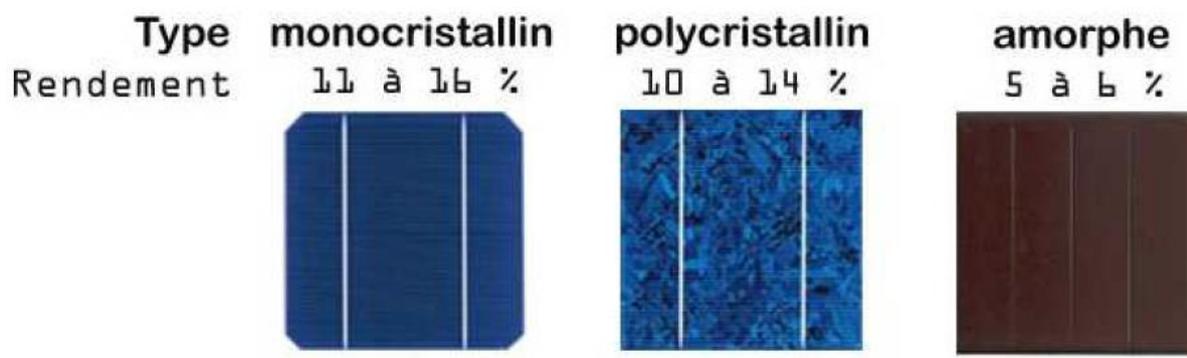


figure 01 : les types des panneaux photovoltaïque

Tableau 01: les meilleurs panneaux photovoltaïque du marché international

Fabricant	Modèle Panneau solaire	Caractéristiques	Pays
Sunpower	Maxeon 3	Monocristallin 104 cellules Puissance de 400 Wc Rendement 22,6% Garanti 25 ans Garantie de rendement de 92 %	Etats-Unis Chine
Eurener	MEPV HALF-CUT	Monocristallin 144 cellules Puissance de 415 Wc Rendement 20,40%	Espagne
AEG	AxiPOWER	Polycristallin 72 cellules Puissance de 335 Wc Rendement 17,26% Garanti 15 ans Garantie de rendement de 85%	Allemagne
LG Solar	NeON R	Monocristallin 60 cellules Puissance de 375 Wc Rendement 21,7 Garanti 25 ans Garantie de rendement de 90,8%	Corée du sud

3. Histoire d'APV système :

Adolf Goetzberger (physicien allemand), fondateur de l'Institut Fraunhofer en 1981, avec Armin Zastrow, a théorisé sur la double utilisation des terres arables pour la production d'énergie solaire et la culture des plantes en 1982, ce qui résoudrait le problème de la concurrence pour l'utilisation des terres arables entre la production d'énergie solaire et cultures. Le point de saturation lumineuse est la quantité maximale de photons absorbables par une espèce végétale : plus de photons n'augmenteront pas le taux de (A.Goetzberger, 1982).

photosynthèse. Reconnaissant cela, (Akira Nagashima) a également suggéré de combiner les systèmes photovoltaïques (PV) et l'agriculture pour utiliser l'excès de lumière, et a développé les premiers prototypes au Japon en 2004. (Akira Nagashima, 2004)

Le terme « agri voltaïque » a peut-être été utilisé pour la première fois dans une publication de 2011. Le concept a été appelé "agro photovoltaïque" dans un rapport allemand, et un terme se traduisant par "partage solaire" a été utilisé en japonais. Des installations telles que les serres photovoltaïques peuvent être considérées comme un système agri voltaïque.

4. L'énergie renouvelable dans le monde de l'agriculture:

Suite à la révolution mondiale de la consommation d'énergies renouvelables, la volonté d'appliquer ces énergies au développement de l'agriculture est évidente, compte tenu de sa pertinence et de sa capacité à répondre aux besoins des populations. L'énergie solaire est la source d'énergie propre et renouvelable la plus abondante et la plus disponible (Malo et al. 2017), en particulier après les pénuries de pétrole. Le conflit entre la production d'énergie pétrolière et la nourriture, selon est un gros problème. L'alternative la plus efficace et la plus rentable consiste à installer des systèmes énergétiques dans ces fermes, c'est-à-dire des espaces ouverts. (Weselek, et al. 2019)

5. L'impact de la production photovoltaïque sur l'agriculture :

En agriculture, l'installation d'ombrières photovoltaïques, fixes ou pivotantes, contribue à améliorer le rendement agricole tout en produisant de l'énergie renouvelable. Il s'agit d'un investissement rentable pour assurer la consommation énergétique. En outre, l'énergie solaire peut être revendue dans la localité pour permettre à la population de profiter d'une énergie propre. Les agriculteurs gagnent ainsi des revenus supplémentaires.

L'installation de panneaux photovoltaïques présente de nombreux avantages pour les agriculteurs.

Outre la production d'énergie solaire, le rôle des panneaux est de protéger les cultures en créant de l'ombre. Leur présence protège également certaines plantations de la pluie.

Les installations photovoltaïques de la ferme sont placées en hauteur pour s'adapter à chaque type de plantation. Il peut s'agir de maraîchage, d'arboriculture ou encore d'élevage.

Selon les besoins, les panneaux solaires peuvent être modulables, ce qui permet de les orienter dans différentes directions. Grâce à ces dispositifs, les terres agricoles sont valorisées.

L'agri voltaïsme augmente les rendements en profitant aux agriculteurs et aux consommateurs locaux. En effet, ils bénéficient d'électricité verte. Les installations photovoltaïques répondent aux besoins alimentaires des habitants tout en favorisant l'utilisation d'énergies propres.(www.colibri.solar.com)

6.L'effet des panneaux solaires sur l'eau dans le sol et la température:

Les panneaux solaires de l'agri voltaïque enlèvent de la lumière et de l'espace aux cultures, mais ils affectent également les cultures et les terres qu'ils couvrent de plusieurs manières. Deux effets possibles sont l'eau et la chaleur.

Dans les climats de latitude nord, on s'attend à ce que l'agri voltaïque modifie le microclimat des cultures de manière positive et négative sans bénéfice net, réduisant la qualité en augmentant l'humidité et les maladies, et nécessitant une dépense plus élevée en pesticides, mais atténuant les fluctuations de température et augmentant ainsi les rendements. Dans les pays où les précipitations sont faibles ou instables, les fortes fluctuations de température et les possibilités réduites d'irrigation artificielle, ces systèmes devraient avoir un effet bénéfique sur la qualité du microclimat.

6.1 L'eau dans le sol:

Dans des expériences testant les niveaux d'évaporation sous des panneaux solaires pour des cultures résistantes à l'ombre, des concombres et de la laitue arrosés par irrigation dans un désert californien, une économie d'évaporation de 14 à 29 % a été constatée, et des recherches similaires dans le désert de l'Arizona ont démontré des économies d'eau de 50 % pour certaines cultures.

6.2 La température :

Une étude a été réalisée sur la chaleur du sol, de l'air et des cultures sous panneaux solaires pour une saison de croissance. Il a été constaté que même si l'air sous les panneaux restait constant, la terre et les plantes avaient des températures plus basses enregistrées.

7.L'utilisation de system APV dans le Monde et en L'Algérie :

7.1 Dans le Monde :

_ Ces dernières années, un certain nombre d'installations APV commerciales et de recherche ont été réalisées. Un certain nombre d'usines APV à petite échelle ont été érigées au Japon depuis 2004. (Movellan 2013).

Des panneaux photovoltaïques installés sur des poteaux avec une garde au sol de 3 mètres sont utilisés dans ces systèmes de «partage solaire». Ils combinent la production d'énergie solaire avec la croissance d'une variété de produits alimentaires locaux, y compris comme cacahuètes, Ignames, aubergines, concombres, tomates, taros et choux au cours des dernières années, quelques projets APV ont été mis en œuvre en Europe. Trois projets APV commerciaux, brevetés sous le nom « Agro voltaico », ont été réalisés dans le nord de l'Italie, en plus de plusieurs centres de recherche en France et en Allemagne. Des modules solaires montés (4 à 5 m de hauteur) avec technologie de suivi solaire sont utilisés dans les systèmes installés, qui ont des capacités allant jusqu'à 1500 kWc (Casarin 2012 ; Rem Tec 2017a).

Une autre ferme APV dans les Abruzzes génère 800 kWc avec 67 traqueurs solaires autonomes et diverses cultures telles que des tomates, des pastèques et du blé plantées en dessous (Corditec 2017).

Aux États-Unis, une usine de recherche APV à petite échelle a récemment été érigée dans le cadre de l'installation de recherche Biosphère 2 en Arizona (The University of Arizona 2018, et d'autres sites de test sont prévus dans les zones rurales de l'Arizona et du nord du Mexique (Kenny et al. 2016 ; Pallone 2017). Les chercheurs s'intéressent à la façon dont la canopée des cultures pourrait avoir un impact de refroidissement sur les modules PV dans les zones arides, en plus des avantages potentiels de l'APV pour la culture des cultures grâce aux changements de microclimat.

Alors que des recherches à petite échelle et quelques installations APV commerciales de taille moyenne ont été développées en Europe et en Amérique, la Chine met déjà cette technologie en pratique à grande échelle (Huawei FusionSolar 2017 ; Rem Tec 2017a ; Tonking New Energy 2018). Dans certains endroits, des installations APV d'une capacité allant jusqu'à 700 MWc et divers compléments techniques, tels que des systèmes d'irrigation et un suivi à deux axes, ont récemment été construits (Huawei FusionSolar 2017 ; Tonking New Energy 2018). Le riz et les graminées fourragères font partie des cultures agricoles cultivées. Cette technologie, selon l'entreprise exécutante, permet une réduction de la température et la création d'un microclimat idéal

Chapitre 1: Système Agro-photovoltaïque

pour la culture sous les panneaux en réduisant l'irradiation d'environ 30 %. (Tonking New Energy 2018). Dans les climats plus chauds, comme le sud de la Chine, cela pourrait être utile. Ningxia vient d'accueillir l'installation APV la plus puissante au monde, avec une capacité de 700 MWc (Huawei FusionSolar 2017).

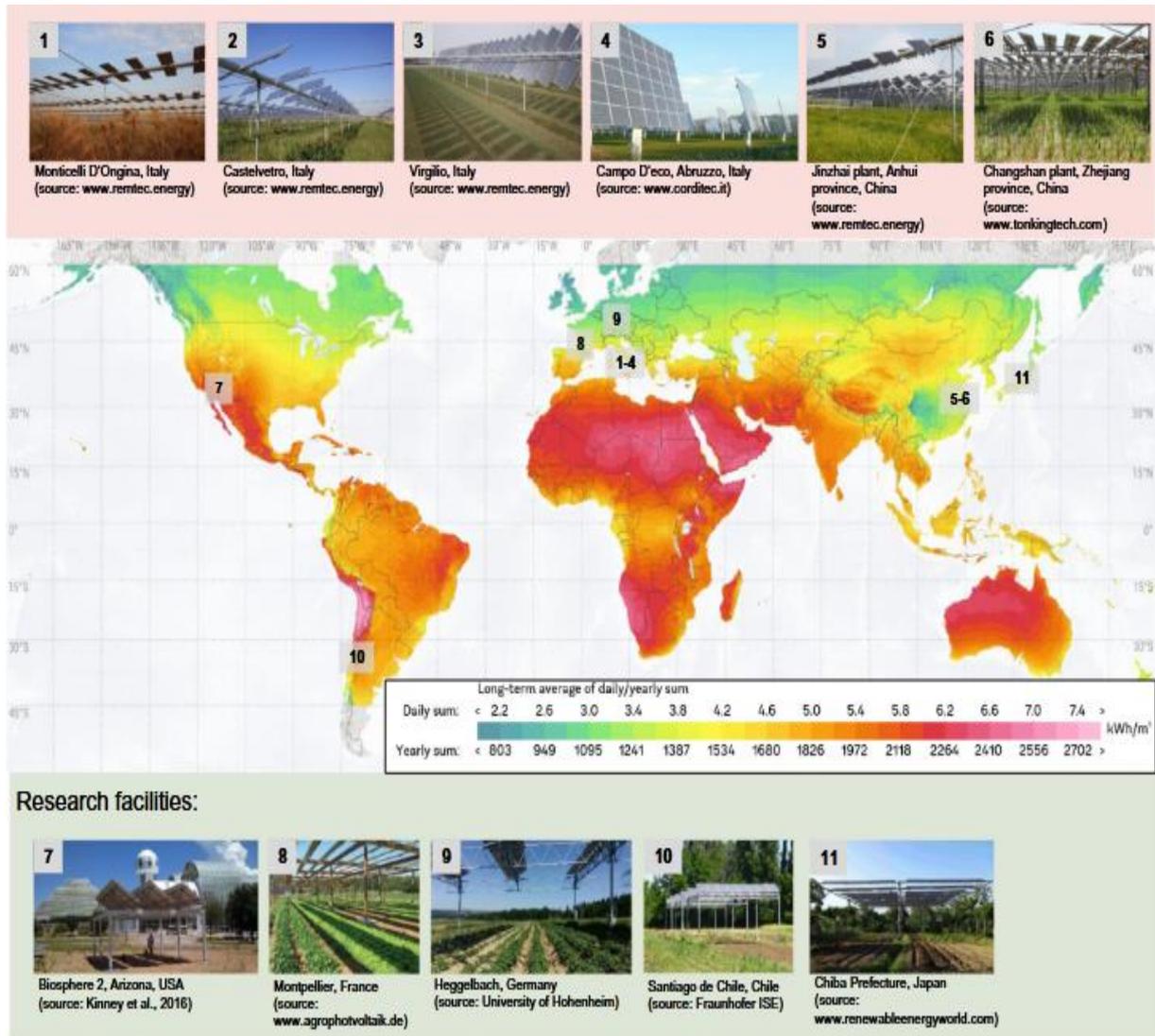


Figure 02: Ensemble des projets et des installations APV avec emplacement. La couleur le gradient indique la moyenne à long terme de la somme quotidienne/annuelle des rayonnements horizontaux [kWh/m²]. Les chiffres indiquent l'emplacement des installations décrites. (Carte mondiale d'irradiation horizontale © 2018 The World Banque, Données sur les ressources solaires : solargis.com, utilisées sous CC BY 3.0 IGO, modifié par rapport à l'original)

7.2 En L'Algérie :

Parce que le système APV est l'un des plus avancés au monde, il est utilisé dans de nombreux pays. L'Algérie a décidé de l'employer pour la première fois en raison des résultats favorables qu'elle a obtenus dans l'agriculture de production. En 2013, il a été proposé d'intégrer les énergies

renouvelables dans le désert algérien via un grand projet, en raison de l'ensoleillement abondant, du semi-isolement et de la rareté de l'eau de la région.

8. Perspectives et futur d'application :

Les systèmes APV sont encore à un stade précoce de développement et il y a beaucoup de possibilités d'améliorations techniques et d'autres Domaines d'application, il y a eu récemment plusieurs innovations dans la technologie PV. Vallée et al. (2017) ont montré que le PV dynamique modules avec suivi contrôlé peuvent optimiser la disponibilité du rayonnement incident sur la canopée de la plante, permettant plus d'efficacité une production agricole efficace et en valorisant à la fois l'électricité et la bio-rendements en masse. L'application du module PV sélectif en longueur d'onde en horticulture est actuellement à l'étude dans le but d'ajuster davantage les systèmes PV aux exigences spécifiques de cultures dans les systèmes productifs (Loïk et al. 2017).

Electricité le rendement peut également être augmenté en modernisant les installations APV avec éoliennes pour combiner la production d'énergie éolienne et solaire (Rem Tec 2017b).

Outre les techniques d'optimisations, il existe diverses opportunités de mise en œuvre de l'APV, en fonction des conditions climatiques et l'échelle de l'installation. Par exemple, la puissance pourrait être utilisée pour optimiser flux de fonctionnement existants, par ex. transformation des produits issus ou des processus consommateurs d'énergie tels que le refroidissement et la ventilation. (Mekhilef et al. 2013).

Une autre possibilité est l'électrification fiction de machines agricoles ou de véhicules en général. Le soi- la consommation d'électricité pourrait encore être augmentée par le stockage les mises à niveau des installations d'âge. Dans les pays en développement et d'autres régions avec seulement un réseau électrique rudimentaire, APV pourrait agir comme source d'énergie décentralisée pour l'électrification des (Malu et al. 2017 ; Silva Herran et Nakata 2012) .

Ce a également été repris par Harinarayana et Vasavi (2014), qui voir un grand potentiel pour APV pour répondre aux futures énergies renouvelables objectifs en Inde, à la fois l'amélioration de la production d'énergie rurale hors réseau d'économiser sur les dépenses élevées pour l'expansion de la réseau électrique. Au niveau de la ferme, la puissance pourrait être utilisée directement pour les systèmes d'irrigation et de pompage de l'eau ou stocké en pompant de l'eau dans un réservoir à utiliser plus tard pour l'irrigation, aidant ainsi améliorer la sécurité alimentaire et l'approvisionnement en eau. Campana et al. (2016, 2017) ont récemment étudié le potentiel du photovoltaïque systèmes de pompage d'eau pour la production de fourrage en Chine. Ils ont conclu

que ces systèmes de pompage offrent une grande potentiel d'amélioration de la productivité des prairies, tout en atténuer les effets néfastes du changement climatique et des prairies désertification. De plus, les effets d'entraînement positifs sur La réduction et la séquestration des émissions de CO₂ sont envisageables .(Burney et al. 2010 ; Mekhilef et al. 2013)

9. Le potentiel économique du système APV :

Le succès économique de l'APV serait déterminé par la quantité d'énergie pouvant être générée dans l'APV, ainsi que par la culture de cultures de haute qualité avec des dépenses d'exploitation minimales (Premier 2021). Selon une étude, l'énergie créée par la culture de tomates dans une serre PV est supérieure à l'énergie consommée par la serre (768 kWh culture/cycle) (Urena-Sanchez et al. 2012). Une autre étude a indiqué que le système APV pourrait couvrir 20 à 38 % de l'ensemble des besoins énergétiques photovoltaïques de la laitue à effet de serre sur une base annuelle (Hassanien et Ming 2017 ; Tryp anagnostopoulos et al. 2017). Dans une autre expérience, Hassanien et Ming (2017) ont découvert que le système APV pouvait couvrir 20 à 38 % des besoins annuels totaux en énergie photovoltaïque de la laitue (Tryp anagnostopoulos et al. 2017). Selon Trommsdorff et al, la quantité totale d'électricité générée par le système APV était de 246 MWh, 41 % de l'électricité générée étant utilisée localement par la communauté agricole (Trommsdorff et al. 2021). Il convient de noter que la quantité d'électricité générée par l'APV est proportionnelle à la densité des panneaux photovoltaïques (voir tableau 1). En vendant l'énergie produite à une compagnie d'énergie, le système APV pourrait réaliser un profit. Schindele et al. a récemment rapporté que le coût actualisé de l'électricité (LCOE) de l'APV est supérieur de 38 % à celui des parcs solaires photovoltaïques conventionnels, ce qui se traduit par un LCOE supplémentaire de 0,0226 € kWh⁻¹. En outre, il est à noter que les fermes APV avaient des coûts d'exploitation inférieurs à ceux des fermes photovoltaïques au sol en raison des effets synergiques et des avantages de la colo coalisation (Schindele et al. 2020).

10 Conclusion :

La technologie innovante agro photovoltaïque (APV) est une culture étagée qui associe production d'énergie photovoltaïque et production agricole sur un même terroir. La coexistence de panneaux solaires et de cultures implique un système de partage de l'ensoleillement entre ces deux types de production. Elle ouvre de nouveaux horizons en rendant cultivables les terres arides tout en produisant une énergie propre pour les populations locales. L'APV est au cœur d'une transformation énergétique mondiale, de l'augmentation de la demande énergétique mondiale, des effets négatifs du réchauffement climatique et de la pénurie mondiale d'eau, et offre un investissement prometteur aux

Chapitre 1: Système Agro-photovoltaïque

agriculteurs et de nouvelles opportunités pour des moyens de subsistance écologiquement durables. En tant qu'investissement dans les énergies renouvelables, il répond à la demande de durabilité en réduisant les préoccupations climatiques, mais il ouvre également la porte à des avantages socio-économiques importants. Cependant, le résultat final de l'investissement dépend des politiques gouvernementales, des conditions environnementales, des progrès techniques et des matériaux utilisés dans les systèmes d'énergie solaire.

CHAPITRE 02

La culture de la Pomme de Terre

Introduction :

Apparu dans la langue française à la fin du XVI^e siècle, le terme « patate » vient de l'espagnol patata, patata, emprunté à l'arawak, une langue indienne d'Haïti. Il désigna d'abord la patate douce puis, sous l'influence de l'anglais (potato) , la pomme de terre. Quant au nom « pomme de terre », il est apparu au milieu du XVII^e siècle et a d'abord désigné le topinambour avant de faire référence à notre solanacée. La pomme de terre est originaire des Andes péruviennes et colombiennes, ainsi que du Chili. Son centre de diversité génétique s'étend de la pointe de l'Argentine au sud-ouest des États-Unis. Dans ce vaste territoire où tous les climats se retrouvent, il existe plus de 200 espèces sauvages de , la région du lac Titicaca (Pérou et Bolivie) étant le réservoir le plus riche. C'est sans doute dans cette région qu'elle fut domestiquée il y a 7 000 à 10 000 ans, à partir de 2 espèces sauvages.

La pomme de terre traverse l'Atlantique vers l'Europe aux environs de 1570, par 2 filières : l'une espagnole et l'autre anglaise. Pendant longtemps, on se contenta de cultiver la plante comme curiosité ou pour sa beauté, refusant de consommer son tubercule. Les autorités finirent par reconnaître sa très grande productivité et ses propriétés nutritionnelles.

Aujourd'hui, la pomme de terre est, après le blé, le riz et le maïs, la culture la plus importante sur la planète. La création du Centre international de la pomme de terre au Pérou, dans les années 1970, a permis de mettre au point de nombreuses variétés. Des techniques de culture adaptées à divers climats ont été élaborées, notamment pour les tropiques humides de l'Afrique et de l'Asie. Résultat : on cultive désormais la pomme de terre dans des régions où il n'était pas envisageable de le faire auparavant. Elle représente, pour les paysans de ces pays, un revenu non négligeable. Ce qui contribue encore à améliorer leur qualité de vie. En plus, s'ajoute à leur menu un aliment très digeste, riche en nutriments

1. Définition de pomme de terre :

La Pomme de terre ou patate est un tubercule comestible produit par l'espèce *Solanum tuberosum*, appartenant à la famille des solanacées. Le terme désigne également la plante elle-même, plante herbacée, vivace par ses tubercules mais toujours cultivée comme une culture annuelle.

Tableau 02 : carte d'identité de la pomme de terre

Le nom scientifique	Solanum tubéreux;
Portée	eucaryotes;
Royaume	plantes;
Embranchement	étamines des graines;
Classe	Dicotylédones;
Rang	Morelle;
Famille	Solanacées;
Genre	asticot;
Type	pomme de terre;

1.1 Les différentes variétés de pomme de terre:

Il existe plus de 100 variétés qui se différencient par leur saveur, leur précocité, leur rendement, la couleur de leur peau et donc leur utilisation culinaire : **La Belle de Fontenay** : elle aime les terres sablonneuses, elle est très précoce et bénéficie d'une excellente saveur. Son seul défaut : sa productivité moindre.

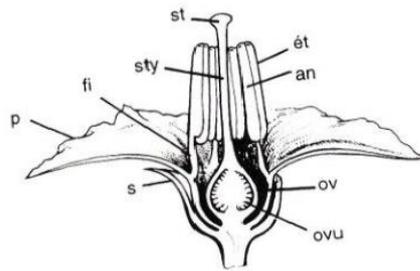
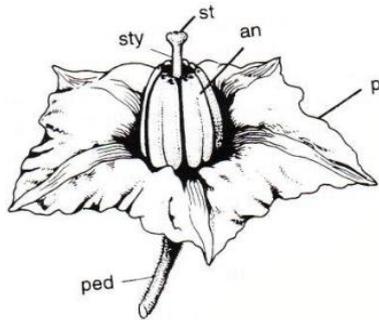
- **La BF15** : avec sa chair ferme, sa tenue à la cuisson est très bonne. Elle est rustique et produit beaucoup de tubercules.
- **La Bintje** : c'est la plus connue des pommes de terre, peut-être par sa productivité et son adaptabilité à toutes les cuissons.
- **La Charlotte** : chair ferme et forme allongée. La productivité est importante.
- **La Roseval** : pomme à terre à la peau rouge, elle est très productive.
- **L'Amandine** : est une pomme de terre précoce à la chair ferme.
- **La Siterma** : est très précoce et offre de très bons rendements.
- **La ratte** : cette pomme de terre à la forme oblongue a une chair au délicieux goût de noisette.



Figure 03: Les différents types de la pomme de terre

1.2 Description morphologique:

La pomme de terre est une plante herbacée, tubéreuse à feuilles caduques (elle perd ses feuilles et ses tiges aériennes dans la saison froide), à port dressé, qui peut atteindre un mètre de hauteur, plus ou moins étalé avec l'âge. C'est une vivace grâce à ses tubercules, à condition que le climat leur permettent de survivre à la saison froide, mais qui est cultivée comme une plante annuelle.



s : sépale
p: pétale
st : stigmate
sty : style
ét : étamine
ov : ovule
an : anthère

La fleur

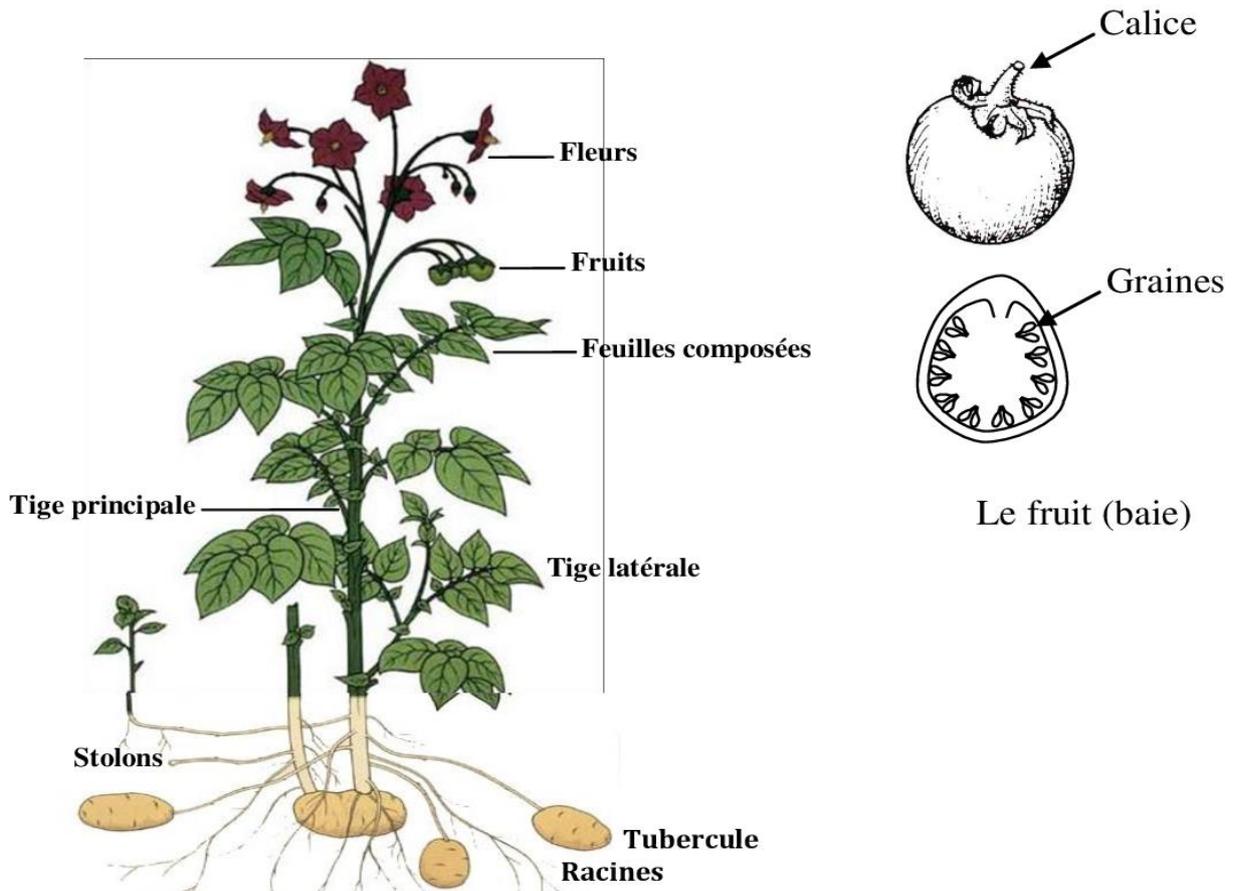


Figure 04 : Illustration d'un plant de pomme de terre

1.3 le système aérien et souterrain:

1.3.1 Système aérien :

Le système aérien est annuel :

1. Les tiges sont aériennes, au nombre de 2 à 10, parfois plus, et ont un port plus au mois dressé et une section irrégulière;
2. Les feuilles composées qu'elles portent permettent, par leurs différences d'aspect et de coloration, de caractériser les variétés.
3. Les fleurs, dont la couleur et le nombre caractérisent les variétés. Sont généralement autogames, mais souvent stériles

1.3.2 Système souterraine:

L'appareil souterrain comprend le tubercule mère desséché, les stolons (tiges souterraines) portant éventuellement des tubercules fils dans leur région subapicale ainsi que des racines adventives. Il 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. Cultivé pour la consommation, pour la transformation ou comme semence, le tubercule représente environ 75 à 85 % de la matière sèche totale de la plante (ROUSSELLE et al., 1996).

2.Stades de croissance de la pomme de terre:

La vie de la plante au champ s'étend de 100 à 120 jours, et parfois plus, selon les espèces et le troncLes pommes de terre passent par différentes phases. La période de vie de la plante de pomme de terre peut être divisée en trois étapes générales :

2.1 première étape : (Étape de stockage)

Après la récolte, les tubercules passent une partie de leur vie en stockage jusqu'à ce qu'ils soient plantés ou consommés .Des phénomènes physiologiques prédominent pendant la période de stockage, dont le plus important est la dormance et les tubercules commencent à fructifier.

La période de dormance est l'incapacité des bourgeons à se développer dans des conditions inappropriées, et la période de repos est la période d'incapacité du tubercule à donner naissance à la pousse dans les conditions appropriées.

La durée de la période de dormance des tubercules de pomme de terre dépend de nombreux facteurs

CHAPITRE 2: La culture de la Pomme de Terre

dont les plus importants sont : la variété - le stade de maturité lors du bouturage - la taille du tubercule - la zone de plantation - les conditions de stockage.

La dormance des tubercules peut être rompue de différentes manières, telles que la rupture par des moyens non chimiques, soit en grattant la coque, en la coupant, en l'épluchant ou en la stockant à différentes températures, et des moyens chimiques peuvent être utilisés à cette fin.

Après la levée de la dormance, les germes commencent à s'allonger, ce qui nuit au désir de commercialiser des pommes de terre de consommation, c'est pourquoi le producteur ou le commerçant doit parfois prolonger la période de dormance ou empêcher la plantation en stockant les tubercules aux températures appropriées. à basse température.

2.2 Deuxième étapes : (Le stade du champ avant l'émergence des plantes au-dessus du sol)

Les tubercules sont plantés entiers ou en parties, et les tubercules subissent des changements au fur et à mesure que la plante se forme et que les racines et certaines tiges moulues se forment avant que la plante n'apparaisse à la surface du sol. Les phénomènes les plus importants à ce stade sont :

A Souveraineté Suprême :

Cela signifie la dominance du bourgeon à l'apex sur les autres bourgeons .Si ce bourgeon dominant est cassé, les autres bourgeons reprendront leur croissance. La dominance apicale conduit à une inhibition complète ou partielle de la croissance des bourgeons axillaires et peut conduire à des bourgeons axillaires qui poussent horizontalement plutôt que verticalement. La dominance apicale peut être brisée en traitant les tubercules avec des inhibiteurs, ainsi qu'en coupant les tubercules et en les stockant à haute température. températures élevées ou en retirant la plante du dessus du sol.

B Croissance des plantes de germination:

Les tubercules sont plantés après la levée de la dormance et la plante pousse sur les tubercules, en fonction des nutriments stockés dans le tubercule .La plante se compose principalement du bourgeon terminal et des bourgeons oculaires proches .

<p>N.B : (De nombreux facteurs affectent la vitesse de croissance des plantes, dont les plus importants sont : la variété - la température - le degré d'humidité - le degré d'exposition à la lumière).</p>
--

2.3 Troisième étape : (Stade de champ après l'apparition des plantes au-dessus du sol)

Cette phase s'étend sur environ 80 à 100 jours et commence par l'émergence des plantes au-dessus de la surface de la terre et se termine par le déracinement. Cette étape est divisée en trois étapes importantes :

A- Le stade de formation du marché du sol :

Le marché au sol commence à apparaître environ 7h10 après le début de l'émergence des plantes au-dessus de la surface du sol.

B- L'étape de pose des tubercules :

La phase de ponte des tubercules commence à partir de la sixième semaine jusqu'à la fin de la huitième semaine, selon la patte de plantation. Les tubercules sont renflés à l'extrémité des rhizomes et peuvent se former sur les tiges aériennes près de la surface de la terre et sont petits et verts dans ce cas.

C- Stade de formation des tubercules :

La phase de formation des tubercules s'étend de la fin du placement des tubercules jusqu'à la coupe de la culture ou la mort du système végétatif. Cette période peut être divisée en deux parties:

Première partie: Les plantes construisent des racines, des tiges et des tubercules, et le poids de la masse végétative augmente, et le poids de la tige terrestre augmente en raison de l'augmentation de son nombre et de son poids, et le poids du groupe aérien diminue .

Deuxième partie : Les nutriments transférés aux tubercules augmentent et les tissus végétaux meurent des membres du système aérobie au cours du processus de vieillissement.

3. Exigences écologiques de la plante de pomme de terre :

La pomme de terre est cultivée avec succès à une altitude de 1000 m. On peut dire que l'aire d'adaptation va des régions subtropicales aux régions plus froides, elle résiste le son mieux sous les climats tempérés, humides et brumeux (Laumonier, 1979).

3.1 Température:

La pomme de terre caractérisée par un zéro de végétation compris entre 6 et 8°C. L'optimum de température pour la croissance se situe entre 14 et 17°C. Le feuillage est tué à 3°C et 4°C.

CHAPITRE 2: La culture de la Pomme de Terre

Les sommes des températures correspondant aux groupes extrêmes de précocité sont de l'ordre de :1600°C pour les variétés primeurs (90 jours).3000°C pour les variétés tardives (200 jours).

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)

3.2 Lumière et photopériode :

(Chibane 1999) signale que la croissance végétative de la pomme de terre est favorisée par la longueur du jour élevée (14 à 18h).Une photopériode inférieure à 12 h favorise la tubérisation. L'effet du jour long peut être atténué par les basses températures.

La plupart des cultivars utilisés dans les régions à climat tempéré ont des photopériodes critiques entre 13 heures et 16 heures (Rousselle et al., 1996).

3.3 Exigences édaphiques :

La pomme de terre préfère les sols siliceux ou silico-argileux, légers, assez frais et profonds. Elle s'accommode des terres acides dont le pH est assez bas ; 5,5 à 6. Il n'y a que les terrains très argileux, froids et humides au printemps et en automne, secs et compacts en été, ou trop calcaires qui ne lui conviennent pas (GAUTHIER, 1991).

3.4 Exigences en éléments nutritifs:

La croissance de la pomme de terre dépend de l'apport en éléments nutritifs tels que l'azote, le phosphore ou le potassium. Chacun de ces éléments à une fonction spécifique dans la croissance de la plante. Toute carence entraîne un retard dans la croissance et une réduction de rendement. Une culture de pomme de terre puise dans le sol ses éléments nutritifs et leur restitution est nécessaire afin de maintenir la fertilité du sol (Sauyer, 1972).

L'azote est le facteur déterminant du rendement de la culture. Il favorise dans un premier temps le développement du feuillage, puis la formation et le grossissement des tubercules (Rousselle et al., 1996).

Le phosphore est un élément essentiel parmi les composés chimiques qui sont responsables du transfert d'énergie, auquel sont liées les réactions du métabolisme de la plante (Sauyer, 1972). Selon le même auteur, le potassium n'est pas considéré comme faisant partie des constituants chimiques de la plante. Il agit dans la formation des hydrates de carbone et dans la transformation et le transfert de l'amidon des feuilles aux tubercules. Le potassium a aussi un rôle important dans le

CHAPITRE 2: La culture de la Pomme de Terre

fonctionnement des stomates et le bilan hydrique de la plante. Pour les autres éléments (calcium, magnésium et soufre), (Rousselle et al. 1996) rapportent que la pomme de terre a des besoins assez notables .

3.5 Fertilisation :

L'utilisation des engrais chimiques dépend de la richesse du sol en éléments nutritifs. Les sols volcaniques, par exemple sont souvent déficients en phosphore et la culture commerciale irriguée en requiert des quantités relativement élevées. La pomme de terre peut cependant tirer profit d'une application de fumure organique au début de la nouvelle rotation, qui lui apportera les éléments nutritifs dont elle a besoin et maintiendra la structure du sol. Il convient d'évaluer correctement les besoins en fertilisants en fonction du rendement escompté, du potentiel de la variété et de l'utilisation des tubercules récoltés (Anonyme, 2008).

4. Les principaux maladies et ennemis de la culture:

Parmi les plantes cultivées, la pomme de terre est l'une des plus atteintes par les maladies. Les maladies cryptogamiques, bactériennes et virales surviennent généralement à la suite de blessures, occasionnées par des ravageurs ou lors de la récolte. Elles peuvent aussi être directement véhiculées par certains ravageurs.

4.1 Maladies bactériennes : galle commune (Streptomyces scabies):

C'est à différentes bactéries filamenteuses qui vivent dans le sol qu'est due la galle commune de la pomme de terre : les Streptomyces appartenant au groupe des Actinomycètes. L'espèce Streptomyces scabies est – sur le plan mondial – la plus répandue.

Les bactéries pénètrent par les lenticelles immatures des tubercules de pomme de terre. Il s'agit de petites ouvertures naturellement présentes. Les bactéries peuvent aussi envahir les tubercules blessés par des outils de jardinage. Au fil du développement des tubercules, les lésions causées par les Streptomyces prennent de l'ampleur.

Les Streptomyces n'infestent que les pommes de terre non récoltées, c'est-à-dire les tubercules qui sont encore enfouis dans le sol. Si bien que la maladie cesse d'évoluer dès que les tubercules sont sortis de terre.



Figure 05:Maladie de galle commune

4.2 Maladies virales : virus de l'enroulement ou PLRV

Le virus de l'enroulement de la pomme de terre (PLRV ou *Potato leaf roll virus*) est un *Luteovirus* transmis par certains pucerons lorsqu'ils piquent le végétal pour s'alimenter de sa sève. La transmission du virus de l'enroulement est du type persistant (virus circulant) car le puceron ne devient infectieux qu'après un temps de latence nécessité par le passage du virus dans l'intestin puis dans les glandes salivaires de l'insecte. Seules quelques espèces de pucerons peuvent transmettre le virus PLRV: *Myzus persicae* est le vecteur le plus efficace mais *Aulacorthumsolani* et *Macrosiphumeu phorbiae* peuvent aussi transmettre le PLRV.



Figure 06 : Virus de l'enroulement ou PLRV

4.3 Maladies cryptogamiques : mildiou (*Phytophthora infestant*):

Cette maladie est due à un champignon pathogène, *Phytophthora infestant*, se développant principalement d'avril à juin puis à l'automne par temps humide lorsque la température oscille entre 17 et 25°C. Les alternances d'épisodes pluvieux et d'épisodes de chaleur orageuse correspondent aux conditions idéales pour que le mildiou se développe. Par contre, la canicule le stoppe. C'est en atteignant la plante de l'intérieur que le mildiou s'en prend aux végétaux, via les feuilles, les tiges, les fruits et même les tubercules de pommes de terre dans le sol, les faisant alors dépérir de façon très rapide.



Figure 07 : Maladie de mildiou (*Phytophthora infestant*)

4.4 Insectes et ravageurs : teigne (*Photmeaopercullila*) (BAMOUEH, 1999) :

La larve (chenille) du papillon adulte peut évoluer sur le plant de la pomme de terre en mineuse des feuilles ou en foreuse des tiges et tubercules. Les dégâts les plus importants sont faits sur les tubercules où la chenille creuse une longue galerie en rejetant ses excréments vers l'extérieur. Sur feuilles, la chenille fore, à partir d'une nervure principale puis l'ensemble du limbe, en formant des mines renforcées d'un feutrage de soie.

La température optimale au développement de l'insecte est de 25°C, donc c'est la pomme de terre de saison (février-Juin) qui est la plus exposée aux attaques de la teigne. Plusieurs générations (5 à 6/an) sont possibles sous nos conditions. Le ravageur hiverne sous forme de larve ou de nymphe dans les entrepôts de stockage ou sur des plantes-hôtes en plein champ (différentes espèces de *Solanum sp*).



Figure 08 : Le maladie de teigne (Phytophthora infestans)

4.5 Alternariasolani :

est un champignon phytopathogène de la famille des Pleosporaceae présent dans les régions tempérées et tropicales de l'Ancien et du Nouveau monde, provoquant chez les plantes de la famille des Solanacées, notamment la tomate et la pomme de terre, mais aussi le piment et l'aubergine, une maladie appelée « alternariosis » ou « brûlure alter arienne »

La maladie se manifeste par de nombreux symptômes à tous les stades de croissance de la plante. On peut voir apparaître sur les feuilles, en premier celles de la base de la plante, des taches noires circulaires, dans lesquelles sont visibles des cercles concentriques. Ces lésions entraînent à la longue la défoliation de la plante. Les tiges et les fruits sont également atteints. Les graines infectées par la maladie peuvent subir une fonte des semis au moment de la germination (*Catalogue of Life : Alternariasolani* Sorauer 1896)



Figure 09 : Le maladie de Alternariasolani

5. La pomme de terre en l'Algérie :

La pomme de terre en Algérie est l'une des cultures les plus importantes, puisque les superficies allouées à sa culture ont atteint 180 000 hectares au cours de la dernière saison (2019-2020) au niveau national, ce qui la place en concurrence avec la production céréalière, surtout après l'inclusion de nouvelles régions telles que Touggourt, Tamanrasset et Djelfa, où l'on s'attend à ce que ces chiffres augmentent et augmentent ; et avec la mise en service du nouvel wilaya EL M'niaa , ainsi que wilaya d'Ain Saleh, ainsi que supplémentaires dans d'autres Wilayas, la production de cette substance a atteint 5 millions de tonnes (50 millions de quintaux), et la production nombre a doublé par rapport à ce qui était le cas il y a dix ans. (Wageningen, July 2020)

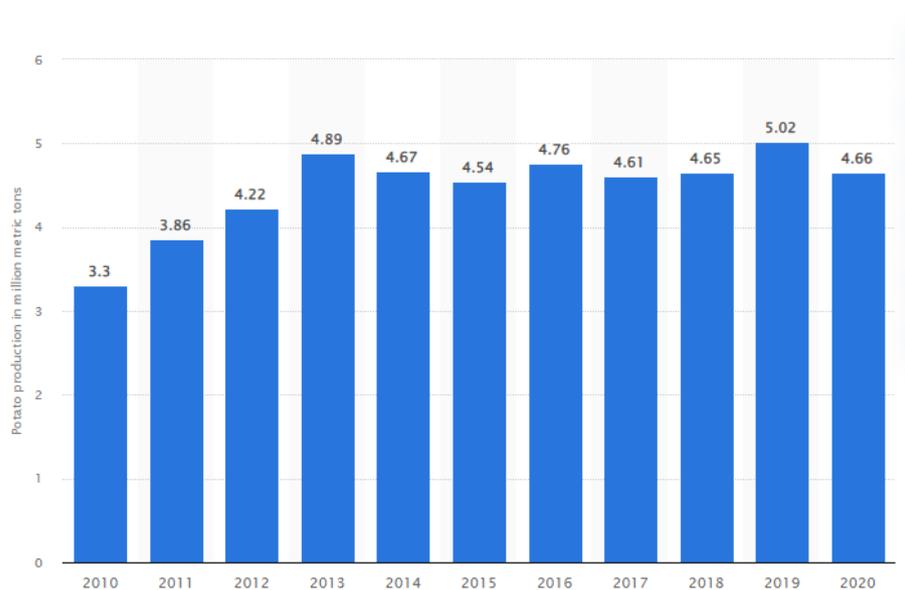


Figure 10 : Production de pommes de terre en Algérie de 2010 à 2020

La wilaya de Oued Soufi occupe la première place au niveau national avec environ 12 millions de quintaux annuels, et la superficie allouée à la culture de la pomme de terre dans Oued Soufi est estimée à 37 000 hectares, suivi par les wilayas de Mostaganem et Ain Defla, avec une production proche d'environ 5 millions de quintaux par an, plantés sur environ 16 000 hectares dans chaque wilaya, tandis que la quatrième place revient à la wilaya de Mascara, qui produit environ deux millions de quintaux par an sur une superficie de 14 000 hectares, tandis que la wilaya de Skikda occupe la cinquième place au niveau national, avec une production d'environ 1,5 million de quintaux , sachant que la superficie totale allouée à la production de pommes de terre à Skikda est estimée à environ 4 mille hectares Skikda est généralement spécialisée dans la production de semences de pomme de terre. (Wageningen, July 2020)



Figure 11 : Principales Wilayas de production de pommes de terre en Algérie (cercles jaunes)

6. 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 03

Milieu physique

1.Présentation de milieux physique :

1.1 présentation de la zone d'étude:(Site d'étude)

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

Wilaya	Commune	Périmètre (m)	Superficie(m ²)	L'altitude	L'longitude
Ain Defla	Khemis miliana	160 m	1200 m ² (600/600)	36°15'01"N	2°14'20"E

1.2Géographique et Morphologique de milieux physique:

Khemis Miliana (Avant 1963, elle s'appelait Afro ville), est une daïra d'Ain Defla en Algérie. Elle est située à 20 km à l'est d'Ain Defla et à 115 km à l'ouest d'Alger. Il est à 68 km de Blida, 50 km de Médine et 86 km de Chlef. D'une superficie de 359 kilomètres carrés, elle compte une population d'environ 84 574 personnes.

Khemis Miliana a une position géostratégique importante. Elle est traversée par l'autoroute RN 4 et l'autoroute Est-Ouest. Une autoroute reliera la ville de Khemis Miliana à Bouira via Al-Brouaquia, où elle est située entre les latitudes (36°18'-36°06') N et les longitudes (02°-02°25') E, avec une hauteur maximale de 377 m et une altitude minimale de 282 m au niveau de la mer, délimitée par au nord les montagnes d'Al Wansharis (Zekkar), et au sud, BirOuld Khalifa, à l'est par djandal et Médéa, et à l'ouest par Sahel d'Arib. (DSA,2021)

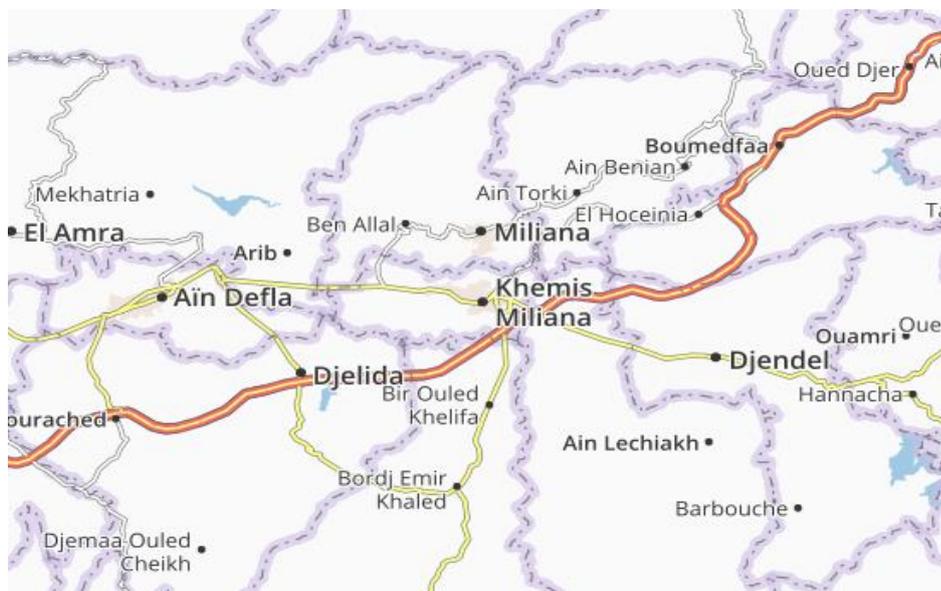


Figure12 : carte situation géographique de La Zone d'étude

1.3 Pédologie :

Les principaux types de sol de la zone étudiée sont le limon argileux, le sable, le limon sableux et l'argile. La majeure partie de la plaine est dominée par une texture de limon argileux occupant (51.33%) de la superficie totale, suivie par de sable (16.41%), de limon sableux (12.66%) et de textures argileux (9.37%). La partie restante occupée par des limons (4.96%), des terres glaises (4.45%) et des villes (0.78%).

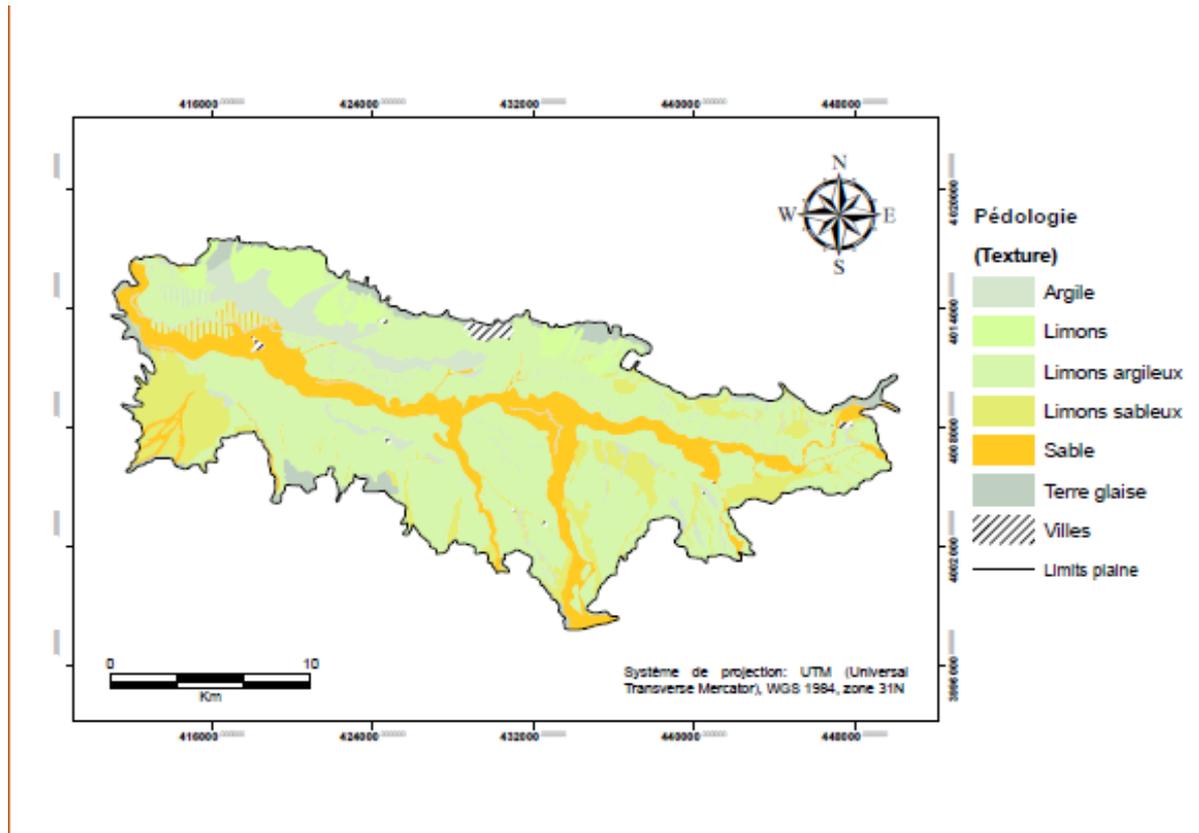


Figure13: la texture de sol au niveau de khemis Miliana

1.4. Le Sol :

Le sol en haut du Cheliff (où se trouve khemis miliana) est dominé par les éléments fins et entre donc dans la catégorie des sols forts, avec la plupart des sols contenant plus de 10% de calcaire actif, les sols ne sont pas salés, et sont de le type limono-argileux. (Legouple, 1974) .

Chapitre 3:Milieu physique

1.4.1Analyses physique des sols :

Tableau 03 : Analyse physique des sols (ITGC Khemis Miliana, 2007)

Profunder (cm)	Charge (%)	Granulométrie (%)					Classe texturale
		A	L.F	L.G	S.F	S.G	
0-40	27,65	32	30	19,6	10,7	7,7	L.A
40-70	10,02	40	15	17,3	19,1	8,6	A
70-100	23,02	50	10	12	17,7	10,3	A
> 100	31,40	50	10	04	13,6	17,2	A

1.4.2 Analyse chimique des sols :

Tableau 04 : Analyse chimique du sol (ITGC Khemis Miliana, 2007)

Horizons (cm)	CaCO3 total(%)	CE ($\mu\text{m}/\text{m}$)	PH	MO (%)
0-40	3,52	1,6	8	1,51
40-70	3,97	1,85	7,8	1,08
70-100	19,79	1,98	8	0,75
> 100	15,66	2,11	8,2	0,10
Moyenne	10,73	1,88	8	0,86

- **Calcaire totale** : Les sols ayant une faible teneur en calcaire.
- **Salinité** : La conductivité électrique des sols est faible car elle est inférieure à 4 mmhos/cm.
- **pH** : Selon le tableau ci-dessus les sols de khemis miliana sont basiques.
- **Matière organique (MO)** : Les sols de khemis miliana ayant une faible teneur en MO

2. Géologie et Hydrogéologie :

Les dépôts alluviaux comprenant des formations de galets de graviers de sable et d'argile forment l'aquifère majeur de la plaine du Haut-Cheliff, avec une épaisseur pouvant atteindre 150 mètres. C'est un aquifère localement limité puisqu'il est recouvert de limon et d'argile en surface, sur une épaisseur de 5 à 20 mètres au centre de la plaine. Le mont (Gantas) est au nord et Djendel au sud. Plusieurs puits et forages ont été creusés dans cette zone, avec une bonne qualité des eaux souterraines trouvées à des profondeurs allant jusqu'à 200 mètres (Bouderbala, 2017).

Le système d'eau souterraine de cette plaine peut être classé comme un système aquifère multicouche. La continuité hydraulique entre la nappe alluviale et la nappe mio pliocène n'existe qu'à l'intérieur des limites de la plaine, là où les deux nappes sont en contact sans barrière imperméable entre elles ; cependant, il y a une épaisse couche d'argile entre les deux aquifères au centre de la plaine. Précisons que nous nous intéressons uniquement à la nappe alluviale du Quaternaire (Figure 14).

Les eaux souterraines de cet aquifère alluvial voyagent d'est en ouest à travers le centre de la plaine, où se situe l'axe majeur de drainage, qui coïncide avec l'oued Cheliff. La profondeur de la nappe phréatique varie de 5 mètres dans la zone ouest (près des villes de Djelida et Arib) à 30 mètres dans la zone est (près de la ville de Djendel), alors qu'elle est d'environ 10 mètres dans la partie centrale de la plaine (Bouderbala et Gharbi, 2017).

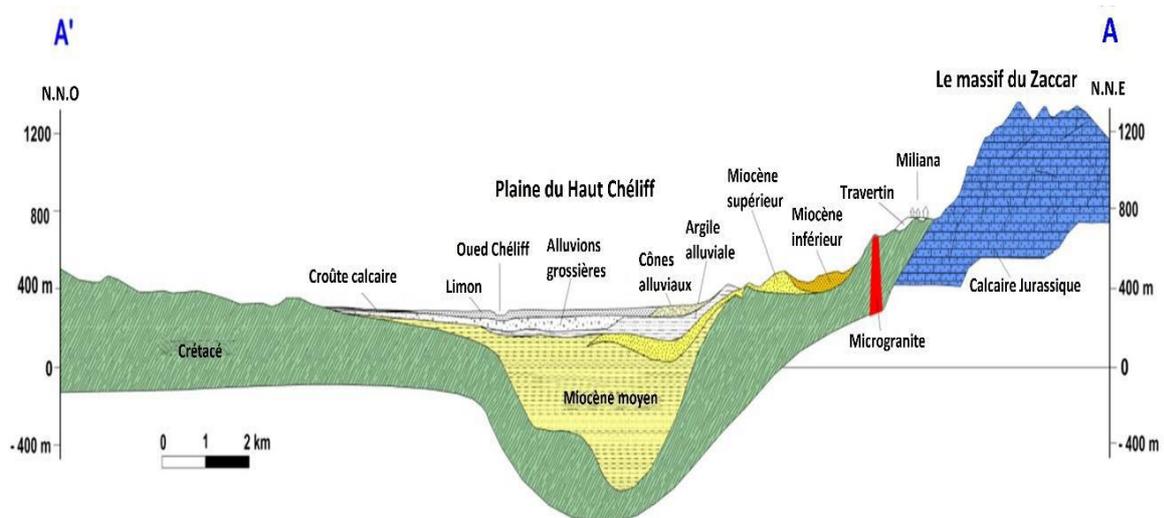


Figure 14 : Coupe géologique de la plaine du Haut Cheliff. (Perrodon 1957).

3. Contexte hydro climatologique :

3.1 Pluviométrie :

L'étude pluviométrique de la plaine de Khemis-Miliana est basée sur les données de quelque station, ces données proviennent de l'ANRH pour une période de 34 ans assurée par ONM (Sahraoui, 2015). Les et portes les valeurs moyennes mensuelles (en mm) de la pluviométrie enregistrée pour les neuf stations existant dans la région durant la période allant de 1981 à 2018.

Tableau 05: précipitation moyennes mensuelles de la station de Khemis Miliana ANRH (1981-2018)

Mois	J	F	M	A	M	J	JU	Aout	S	O	N	D
P(mm)	67,18	62,9	58,6	51,5	41,8	14,3	4,4	12,4	29,4	44,6	67,5	64,6

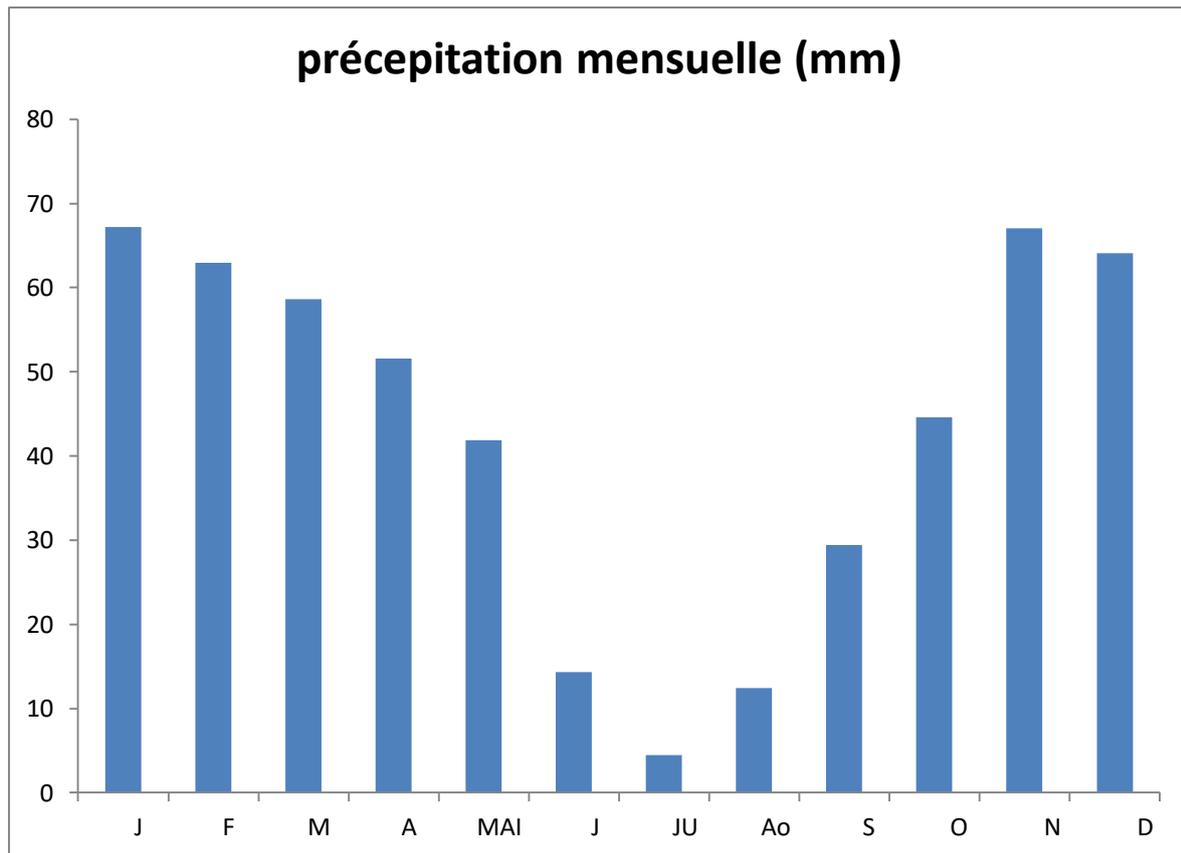


Figure 15 : Variation de précipitation moyenne mensuelle au niveau de la station de Khemis Miliana (ANRH 1981-2018).

3.2LA Température :

Tableau 06 : Température 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

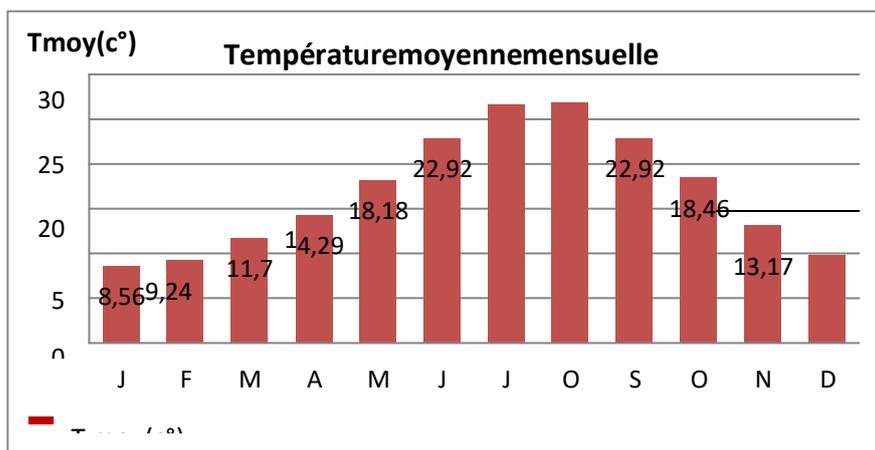


Figure 16: Variation de la température moyenne mensuelle de la station de khemis miliana ANRH(1981-2018)

3.3 Diagramme Ombrothermique :

Tableau 07 : Précipitations et Températures moyennes mensuelles de la station de Khemis Miliana ANRH (1981-2018)

Mois	Jan	Fév	Mar	Av	Mai	Jun	Juil	Aout	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

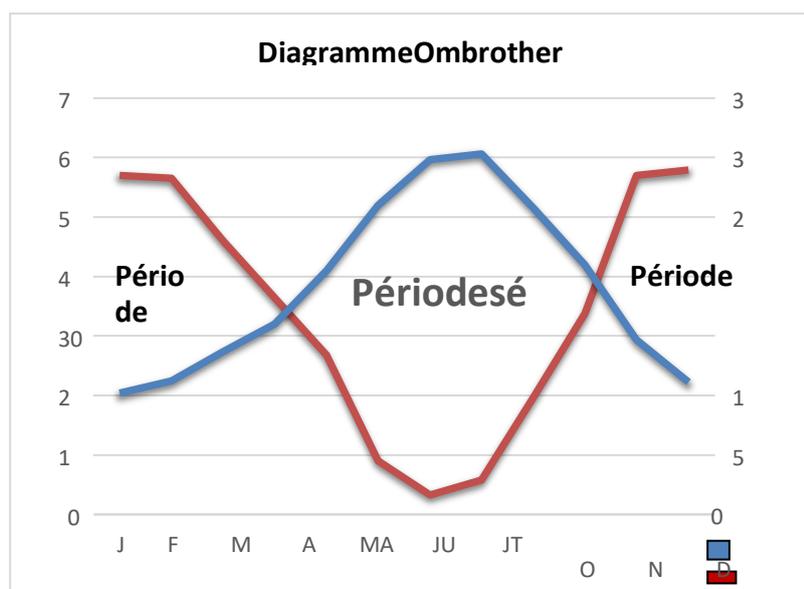


Figure 17 : Diagramme ombrothermique de la Station d'ANRH entre 1981 et 2018, (on remarque une longue période de Sécheresse) .

3.4Les vents :

Tableau 08: Moyennes mensuelles des vitesses de vent (m/s), station de Khemis Miliana.(1981-2018)

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

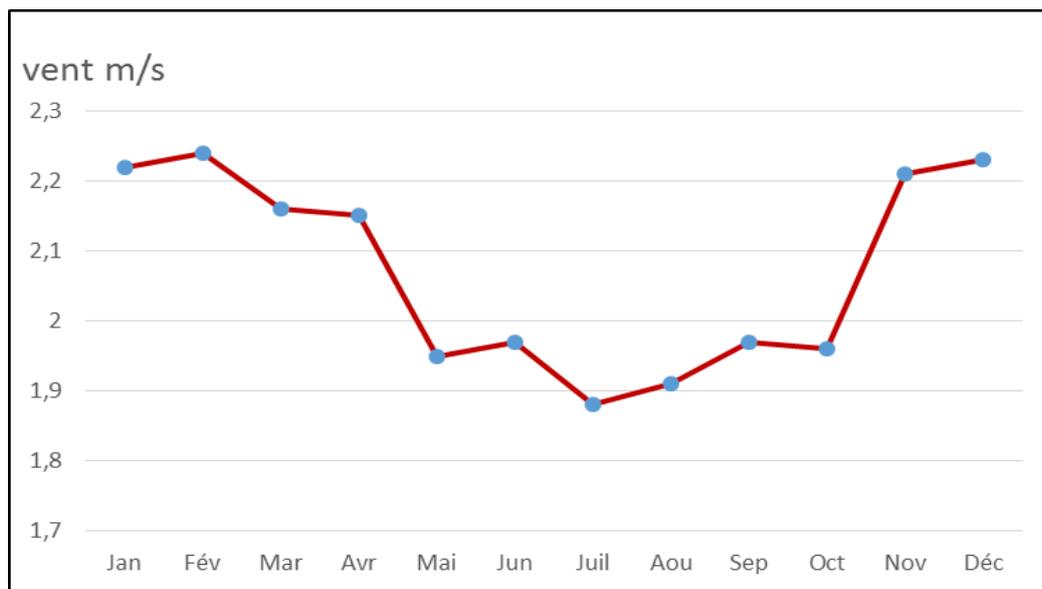


Figure 18:Variation de vitesse moyenne mensuelle du vent au niveau de la station de Khemis Miliana (1981-2018).

3.5L'humidité relative :

Tableau 09: 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
HumR %	76.19	74.32	69.71	65.19	61.10	52.78	45.35	46.86	56.36	63.05	70.87	76.46

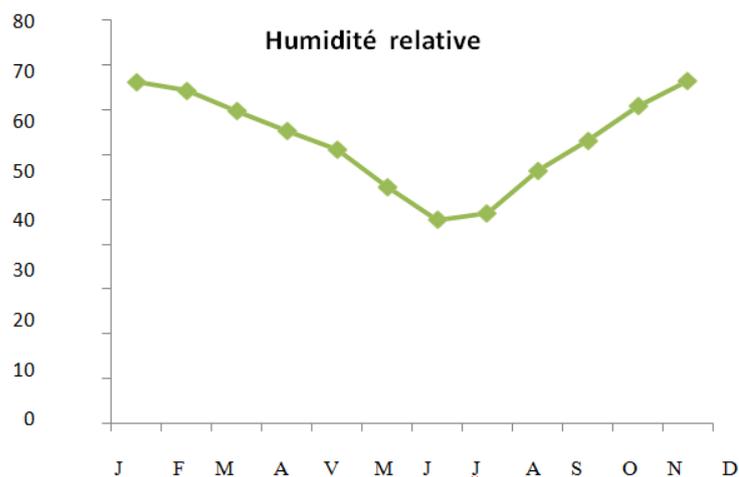


Figure 19: Variation d’humidité relative moyenne mensuelle au niveau de la station de Khemis miliana ANRH (1981-2018)

4. Insolation:

C’est la durée pendant laquelle le rayonnement solaire a réellement touché le sol; elle dépend de l’état de l’atmosphère, de la couverture nuageuse du lieu et des obstacles physiques existants au tour du site de mesure (Baldy, 1981).

La région d’Ain Defla est une région très ensoleillée ; l’insolation atteint son maximum en période estivale soit une valeur 10,97 h/j. (tableau 10)

Tableau 10 : Durée d’insolation mensuelle moyenne dans Ain Defla (ANRH, 2015)

Mois	jan	Fév	Mar	avr	mai	juin	juil	aout	sep	Oct	Nov	déc
Durée (h/j)	4.84	6.23	6.8	7.58	9.32	9.92	10.97	10.15	8.24	6.86	5.77	4.93

5 .Conclusion :

La zone se caractérise par son emplacement stratégique, car elle est soutenue et Considéré comme un traducteur entre les États. En raison de cet emplacement, la région a Climat méditerranéen, on distingue donc hivers froids et étés chauds. il Également caractérisé par sa nature géographique, car il contient de nombreuses zones Montagnes et plaines. L’importance de l’agriculture au niveau communal de Khemis Miliana est due à terre fertile et irriguée car elle contient une importante Un système fluvial et contient de nombreux réservoirs. En raison de ces caractéristiques de la zone, nous l’avons sélectionnée comme emplacement candidat pour ce projet car il a toutes les exigences d’expérience.

Chapitre IV:

Méthodes et Matériels

Introduction:

L'agri-voltaïque (agriculture-photovoltaïque) ou le partage solaire est de plus en plus reconnu comme un moyen prometteur d'intégrer l'agriculture et la récolte de l'énergie solaire. Bien que ce champ offre un grand potentiel, les données sur l'impact sur la croissance et le développement des cultures sont insuffisantes. Ainsi, cette étude examine l'impact de l'agriculture photovoltaïque sur les cultures. Les cultures étudiées étaient les pommes de terre, les terres cultivées ont été divisées en deux sections, des panneaux photovoltaïques ont été installés dans le site de test et non installés dans l'autre site. il s'agit d'étudier les deux sites et d'aboutir à des résultats entre eux.

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 choisi des micro-parcelles pour mettre en œuvre l'agriculture La zone du système photovoltaïque est d'environ 1200 mètres carrés Nous avons élaboré et préparé des plans préliminaires. Ensuite, nous avons divisé le terrain en deux zones de 600 (m²) mètres carrés chacune, Un témoin, juste labouré et planté. Le second est réservé à l'installation des systèmes APV (Figure 20). Schéma de génie civil à ossature métallique supportant des panneaux solaires Le faux panneau solaire se compose de cinq fils avec un espacement de 4,5 mètres et 2,8 m de haut, avec 9 colonnes par rangée (Figure20). Le panneau est installé L'angle d'inclinaison est de 15° pour former un fossé de drainage pour recueillir l'eau de pluie Celui-ci sera utilisé pour l'irrigation (les panneaux solaires sont dans la rangée du milieu, tandis que le reste des rangées est recouvert de panneaux factices. Enfin, nous le connectons au système Conversion de l'énergie solaire en électricité .L'énergie produite fournira de l'énergie verte à la serre (pompes hydroponiques, humidificateurs et irrigation) d'une part. D'autre part, nous connectons ce système de production d'énergie Régénérable à la pompe reliée à une citerne d'une capacité de 20 à 25 m³. équipement utiliser comme indiqué sur la (Figure 20)

1.2. Préparation de terrain :

Nous avons divisé le terrain en deux parties, chaque section ayant une superficie de 60m , nous avons d'abord nivelé le terrain par case (figure21) et enlevé les mauvaises herbes .

Ensuite, nous l'avons labouré avec une charrue (figure21) d'une profondeur de 30-40 cm pour une bonne ventilation pour assurer la croissance et le développement du système racinaire de la plante , et faire des rainures pour planter les graines espacées de 70cm pour faciliter le processus de brunissement

Nous avons formé des groupes de rainures dans chaque groupe de 4 lignes pour la plantation avec un total de 16 lignes dans chaque partie (APV et témoin) .

Nous avons planté les graines de pomme de terre à 10-12 cm de profondeur et entre chaque graine et graine distance de 0.5m au moyen la planteuse (Figure21).

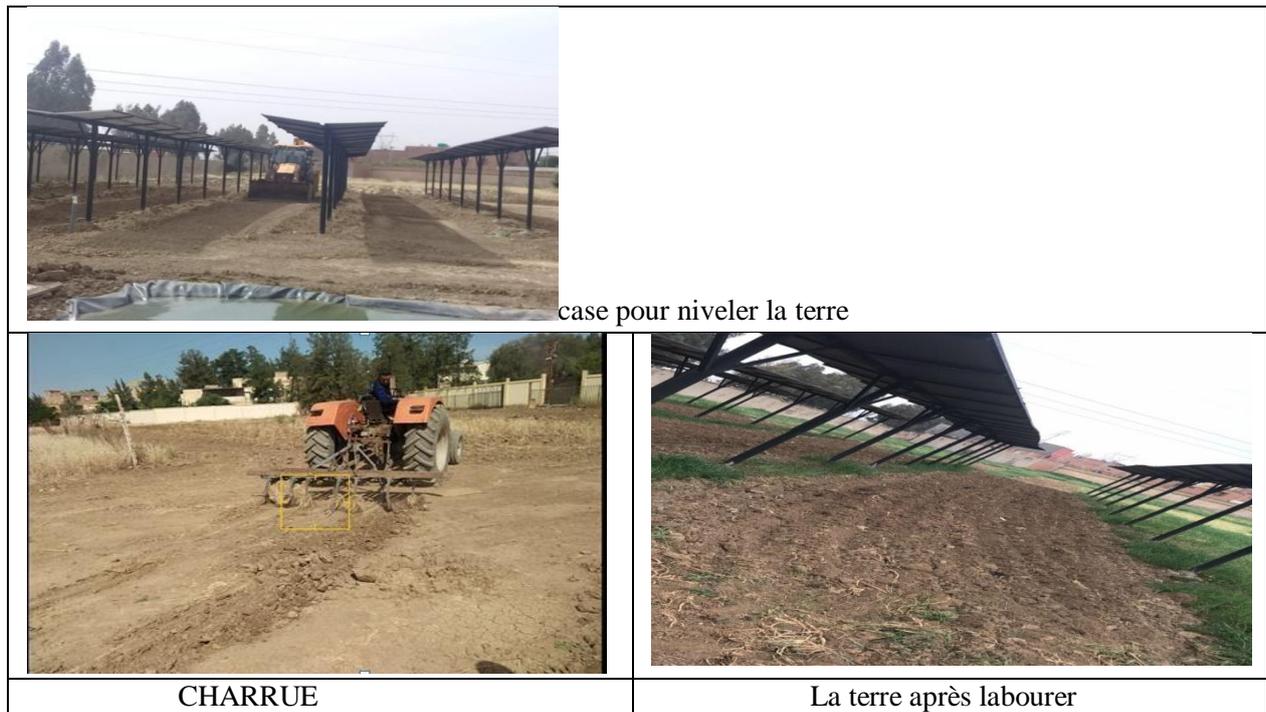




Figure 22 : les matériels utilisés pour labourer le sol et planter les graines

1.3. 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 l'irrigation.

L'installation de système goutte à goutte:

Nous avons ce système installé dans les deux zones. Il se compose de 32 rampes plus de 19 mètres de long. La gaine est installée à quelques centimètres à côté de la plante (15cm). Enfin, il est relié à une capacité de pompage de 8 l/s, qui à son tour est reliée au réservoir. La capacité en eau est de 20 à 25 mètres cubes.

Alimentation de bassin d'irrigation :

Il dispose d'un système à entrées multiples, il commence donc par le réseau officiel national de l'irrigation et du drainage et contient également un autre système d'approvisionnement, qui est l'eau de pluie collectée par le système de récupération des eaux de pluie du système APV. Un autre type d'eau qui peut également être considéré dans cette expérience est la réutilisation de l'eau purifiée.



Figure23 : matérielle utilisée dans l'irrigation et l'alimentation de bâche en eau

les Analyses de l'eau d'irrigation :

14/11/2021	Ca	Mg	TH	NA	K	P	NH4	Born	Cl-	SO4 2-
[C] mg/l	192,384	153,6	345,984	23,84615	3,851926	<0.2	7	0,22	13,8	3000

2. Fertilisation :

Nous avons semé les grains à la date de 27/02/2022 , et après 20 jours (17/03/2022) nous utilisons l'engrais NPK 15/15/15 de dosage de 50Kg dans APV et témoin et matière organique afin de nourrir le sol et d'assurer à la plante un environnement propice à la vie. Et nous n'avons utilisé aucun autre produit après cela lors de la plantation Nous venons de mettre une solution de médicament contre le mildiou .

3.Présentation du protocole expérimental :

Dans cette présentation, nous expliquons le protocole expérimental utilisé. L'objectif principal était d'étudier les effets de l'ombrage sur le sol, les plantes et l'eau. Pour y parvenir au sol, nous avons choisi la configuration du protocole expérimental en blocs aléatoires afin d'obtenir différentes

Chapitre 4 : Méthodes et Matériels

micro-surfaces en fonction du pourcentage d'ombrage produit par le système photovoltaïque agricole au sol.

3.1 Explication du bloc aléatoire :

La figure ci-dessous montre une description détaillée. Premièrement, nous avons divisé le terrain d'une superficie de 600 mètres carrés en 9 micro-districts équidistants, et la distance entre chaque micro-district est de 0,50 mètre. Chaque micro-parcelle dispose de 12 rampes de système d'irrigation goutte à goutte avec un espacement de 0,50 m, un espacement de 10 cm entre les goutteurs et un débit de 2 l/h. Les cultures choisies pour ce travail étaient des variétés locales de pomme de terre avec une distance de 0,50 m entre chaque plant. Cette configuration s'applique également aux cartes de contrôle.

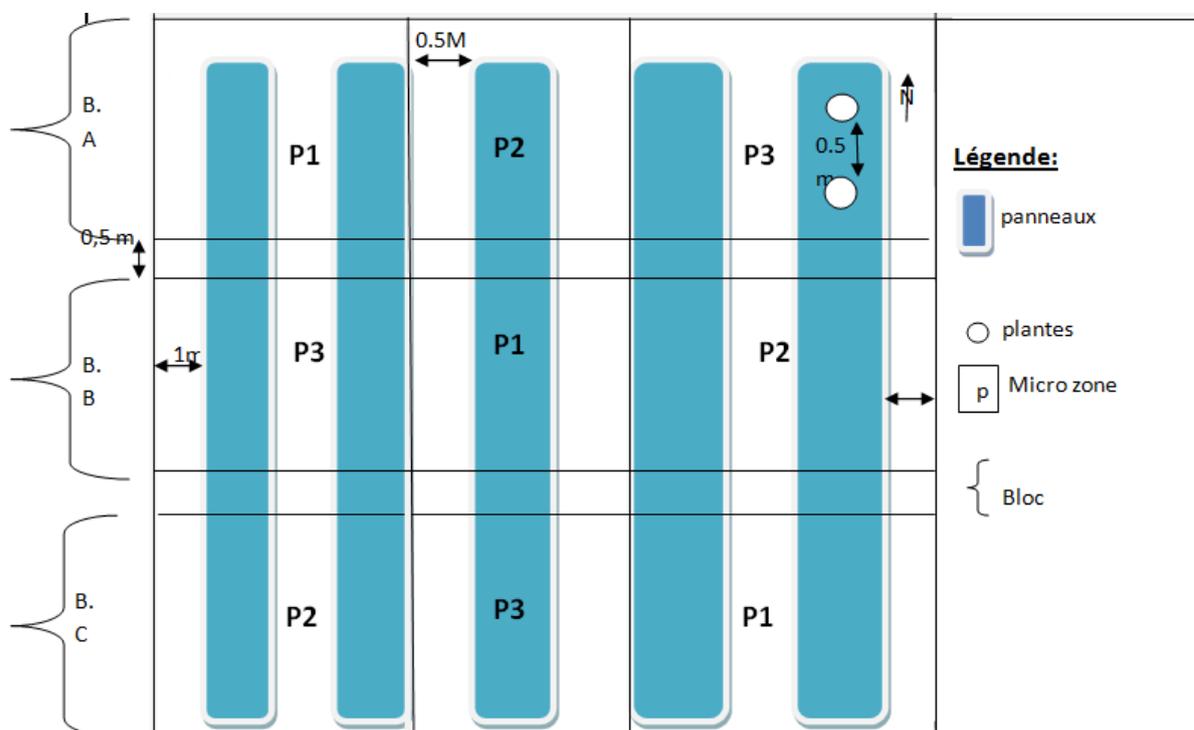


Figure 24 : Schéma représentatif du bloc aléatoire

4. Echantillonnage

Le prélèvement du sol sera abordé dans bloc aléatoire de manière à suivre les paramètres de l'eau et sol de la culture , dès le première jour après la plantation nous prélevons des échantillons de manière aléatoire sur deux profondeurs 20cm et 40 cm .



Figure25 :prélèvement des échantillons de sol avec tarière

Séchage des échantillons :

Les échantillons doivent être sécher dans un endroit à température ambiante.

Tamissage :

Le tamissage sera effectuée avec la réduction des agrégats pour séparer le plus souvent possible les particules ayant atteint taille voulu. On utilise un tamis de 2 mm.



Figure26 : la solution de sol par l'eau distillée après séchage , pesée et tamissage

5 Analyse physico-chimique du sol :

5.1 conductivité électrique

Réactifs et appareillage :

- eau distillé
- KCL (0.02 N)
- balance, agitateur mécanique.
- Bêchers de 100 ml.
 - **Mode opératoire :** (extrait au 1/5)
 - peser 20 g de sol (2 mm) dans un bêcher de 100 ml et ajouter 100 ml d'eau distillée
 - agiter 1 heure avec un agitateur mécanique
 - laisser reposer demi -heure (ou bien faire le filtrage)
- ❖ pour l'étalonna CE2ge de l'appareil : on met le KCL (0.02 N) à l'étuve, en mesure la température jusqu'à 25 °C.

$$CE = CE_3 * f(t) / k$$

$$K = CE_1 * f(t) / CE_2$$

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

CE1 : valeur de la solution KCL lu sur l'appareil à la température T

CE2 : CE de KCL (0.02 N) à 25 c°. Elle es égale à 2.76. La valeur K <1

F(t) : coefficient de correction de l'effet de la température

K : constant

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

Tableau 11 : interprétation des valeurs de la conductivité électrique de l'extrait dilué 1/5 à 25°C (USSI ,1954)

échelle américaine	non salé	peu salé	Salé	très salé	extrêmement salé
CE (mmhos/cm) à 25°C	<2	2 à 4	4 à 8	8 à 16	>16

5.2analyse de pH eau et PH KC1

• Réactif et appareillage :

- KCL 0.1 n
- Balance
- Becher de 100 ml, éprouvette de 50 ml

Chapitre 4 : Méthodes et Matériels

- Tube en verre ou agitateur magnétique

Mode opératoire :

1-pH eau :

-on pèse 20 g du sol (0.2 mm)

-on le met dans un bêcher et on ajoute 50 ml d'eau distillée

- on agite pendant 5 min dans un agitateur rotatif

- on passe au pH -mètre et on lit le résultat

2-Ph KCL :

- on ajoute à la solution du pH eau 3.72g de KCL.

- agiter à l'agitateur rotatif pendant 5 min.

- on passe au pH-mètre et on lit le résultat.

pour étalonner l'appareil, on mesure la température de l'air et on règle la température de l'appareil.

Tableau 12 : échelle de classification du pH de la solution du sol

pH	5-6,5	<3,5	3,5-4,2	4,2-5	6,5-7,5	7,5-8,57	<8,7
classe	hyper acide	très acide	Acide	faiblement acide	Neutre	basique	très basique

5.3.dosage de la matière organique (méthode Anne)

- **pour l'échantillon :**

- On met 1 g de sol (0.2 mm) dans un bêcher

- On ajoute 10ml de K₂Cr₂O₇ (dichromate de potassium) + 20 ml d'acide sulfurique concentré

- on mélange la solution et on laisse reposer 30 minutes

- **pour le témoin :**

- dans un bêcher n met 10 ml de K₂Cr₂O₇ + 20 ml d'acide sulfurique concentré

- laisser reposer 30 minutes

- mettre chaque préparation dans des fioles de 250 ml et compléter avec l'eau distillée

Chapitre 4 : Méthodes et Matériels

- prélever 20 ml de chacun des béchers échantillon et témoin) et ajoute et 1 ml de H₃PO₄ + 3 gouttes de diphénylamine et agiter pendant 5 minutes dans un agitateur rotatif

- **Titrage**

- on titre avec le sel de mohr à 0.2 N, on le met dans une burette de titrage
- on titre les solutions jusqu'à ce qu'il y a virage du bleu foncé vers le vert
- on prend le volume descend sur la burette pour le témoin et aussi pour les échantillons

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

P : poids du sol égale 1 gramme

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

% C : le pourcentage du carbone oxydé

% MO : le pourcentage du matière organique

5.4 dosage de calcaire total (Calcimètre de Bernard) :

Etalonnage de l'appareil :

- remplir l'ampoule d'eau salé NaCl + eau) de manière à ce que le niveau de burette soit au niveau de zéro pour cela on fait correspondre les deux niveaux d'eau dans la burette et dans l'ampoule)
- peser 0.3 gramme de CaCO₃ dans un erlen qui correspond au bouchon de la calcimètre
- remplir le petit tube à $\frac{3}{4}$ de HCl 0.5 N) dilué que l'on place dans l'erlen
- boucher soigneusement l'erlen avec le bouchon de la calcimètre
- décocher l'ampoule, faire correspondre les deux niveaux burette et celle de l'ampoule) , faire la lecture du volume descend au niveau du la burette. Cette lecture correspond au volume V₀)
- renverser l'acide HCl) sur le CaCO₃ sans bouger l'erlen et on agite pour favoriser la réaction dégage le CO₂)
- attendre la stabilisation du niveau de l'eau dans la burette.
- Décrocher l'ampoule, faire correspondre les deux niveaux , faire la lecture sur le volume de l'eau descendre sur la burette(V₁)(volume de CO₂ dégagé)

Chapitre 4 : Méthodes et Matériels

Analyse se l'échantillon :

On procède dans la même manière on remplaçant e calcaire pur par(1 gramme de sol 0.2mm) et on note le volume de CO₂ dégagé(Vl) .

Expression des résultats :

$$\text{CaCO}_3 \% = 100 * (V \text{ echan} * 0.3 / V \text{ témoin} * P$$

V : volume de CO₂ dégagé par CaCO₃ gramme dans le poids de sol

V : volume de CO₂ par 0.3 gramme de CaCO₃

P : poids de sol égale 1 gramme

N.B : lorsque le taux de calcaire dépasse 5 %, on procède le dosage de calcaire actif

Tableau 13 : teneur de calcaire total (BAIZE 1988)

Teneur en calcaire total (%)	Type de sol
<1	Sol non calcaire
1-5	Sol peu calcaire
5-25	Sol modérément calcaire
25-50	Sol fortement calcaire
50-80	Sol très fortement calcaire
>80	Sol excessivement calcaire

5.5 dosage de phosphore assimilable

Extraction

- Peser 5 g de sol (2 mm) introduire dans un erlan.
- Ajouter 100 ml de NaOHCO₃ et cuillères de charbon actif.
- Agiter pendant 30 min dans un agitateur mécanique.
- Filtrer la suspension à l'aide d'un papier filtre et on garde l'extrait dans une fiole jaugé.

Préparation de la gamme étalon:

- peser 1.917 gr de KH₂SO₄ et l'introduire dans fiole jaugé de 1L. le faire dissoudre puis compléter avec l'eau distillée et homogénéisé.

Chapitre 4 : Méthodes et Matériels

- Dans une fiole jaugé de 200 ml , prélever 10 ml de KH_2PO_4 et compléter à 200 ml avec l'eau distillée et homogénéisé (cette solution est appelé solution fille qui sera utilisé par la suite).
- Peser 42 g de NaCO_3 et l'introduire dans une fiole jaugé et compléter avec l'eau distillé et homogénéiser jusqu'à le trait de jaugé.
- Peser 0.5 g d'acide ascorbique et ajouter 500 ml d'eau distillé.

Tableau 14 : on prendre 7 fioles de jaugé de 50 ml et on prépare la gamme selon le tableau

n°de fiole volume des réactifs ml	1	2	3	4	5	6	7
K ₂ HPO ₄ à 5 mg de P/ L	0	1	2	4	8	12	16
Bicarbonate de sodium NaHCO ₃	10	10	10	10	10	10	10
Sulformolybdique	10	10	10	10	10	10	10
Acide ascorbique	2	2	2	2	2	2	2
Eau distillé	-	-	-	-	-	-	-
Concentration finale mg de p / L	0	0.1	0.2	0.4	0.8	0.8	1.6

- on met les sept (7) fioles dans un bain marin pendant 30 min jusqu'a le virage de la couleur vers le bleu, puis on les sortir

-Faire la lecteur à l'aide d'une colorimétrie régler à 660 nm

Colorimétrie : préparation de l'échantillon (extrait de sol) :

- Dans une fiole de 50 ml , on met 10 ml de l'extrait de sol .
- On met les sept (7) fioles dans un bain marin pendant 30 min jusqu'à le virage de la couleur vers le bleu, puis on les sortir.
- Faire la lecture à l'aide d'une colorimétrie régler à 660 nm.
-

Chapitre 4 : Méthodes et Matériels

Colorimétrie : préparation de l'échantillon (extrait de sol)

- Dans une fiole de 50 ml, on met 10 ml de l'extrait de sol.
- Ajouter 10 ml de réactifs sulfomolybdique et laisser dégager le CO₂.
- Ajouter 2 ml de l'acide ascorbique et compléter le volume avec l'eau distillé jusqu'à le trait de jauge.
- On met la fiole dans un bain marin pendant 10 à 30 min jusqu'à le virage de la couleur vers le bleu, et faire sortir la fiole.
- Faire la lecture à l'aide d'une colorimétrie, régler à 660 nm.

Les calculs : soit

X : concentration sur le graphique en ppm de p .

U : volume colorimétrie (50 ml).

v : volume de la prise d'essai (10ml).

V : volume de la solution d'extraction (100 ml).

P : poids de la prise de terre (5g).

$$P(\text{en ppm}) = \frac{X \times U \times V}{V_{xp}}$$

Interprétation :

Teneur en phosphore P (ppm)	Teneurs phosphate P ₂ O ₅ (ppm)	Niveau de fertilité
< 5 ppm	< 11.5 ppm	Très faible teneurs
Entre 5 et 10 ppm	Entre 11.45 et 22.9 ppm	Teneurs faible
>10 ppm	> 22.9	Teneurs élevées

Echantillon

Tube N° 1 : 1.5 ml de la solution de sol + 2ml sulfomolybdique + 6.5 ml d'acide ascorbique.

Tube N° 2 : 1 ml de la solution de sol + 2ml sulfomolybdique + 7 ml d'acide ascorbique.

Tube N° 3 : 0.5 ml de la solution de sol + 2ml sulfomolybdique + 6.5 ml d'acide ascorbique.

Passer toute les tubes en bain marin pendant 12 minutes (80 C°) .

Couler rose dans l'échantillon du sol

Passez au spectrophotomètre à 650 nm

$$P_2O_5(\text{ppm}) = X^x U / Vv / P$$

X : LU sur graphique mg/ 1 de P₂O₅ (le graphe : DO en axe de coordonnée et le numéro de tube en abscisse) .

U : volume calorimétrique (10ml)

V : volume de la pris d'essai (0.5 ou 1 ou 1.5

V : volume de la solution d'extraction

P : poids du sol (4 gr)

Inferieur à 10 ppm : teneur de P basse

De 11 à 31 ppm : teneur de P moyenne

De 31 à 51 ppm : teneur de P très élevée

5.6 dosage de l'azote total

Minéralisation

- 1 gramme de sol (0.2 mm) + 20 ml d'eau distillé : respecter 30 minutes (la préparation se fait dans un bécher).
- Renverser ce contenu dans un Mata + 20 ml d'acide sulfurique + catalyseur (10 gamme de K₂SO₄ +1 gamme de CuSO₄).
- Dans le deuxième Matra qui est considéré comme témoin, on met 20 ml d'acide sulfurique-catalyseur.
- Passer le tous au minéralisateur pendant 2 heures. Porter les deux Matras à la rampe d'attaque (régler la température à 6 C° pendant deux minutes puis à une température de 10°C pendant deux heures).
- Mettre le contenu des deux Matras. chacun dans une fiole de 250 ml (rincer bien le fond des matras. Ajuster avec l'eau distillée jusqu'au 250 ml de la fiole.

Distillation

- On prend 20 ml de l'échantillon de la fiole de 250 ml + 20 ml de NaOH. On le mettre le Matra du distillateur.

Chapitre 4 : Méthodes et Matériels

- Dans l'autre coté on met dans un bécher de 10 ml de l'acide borique (même chose pour le témoin : 20 ml de la fiole de 250 ml de témoin + 20 ml de NaOH , dans l'autre coté on met dans un bécher on met 10 ml de l'acide borique)
- On le place le Matra et bécher dans le dis tilleur. on fait fonctionner l'appareil jusqu'au ce que le contenu du bécher arrive à 50 ml.

Titration :

- Par PH-mètre. on tout d'abord le pH de l'acide borique, on titre avec l'acide sulfurique (0.05N) qui est renversé dans la burette de titration.
- On titre avec l'acide sulfurique avec agitation rotative jusqu'au la solution arrive au pH de l'acide borique.

$$N\% = V/V * (T-B) * N * 1.4/S$$

Application numérique

$$= 250/20 * (T-B) * 0.05 * 1.4/1 = (T-B) * 0.875$$

V : volume de fiole jugée égale 250ml

V : volume prélevé de la fiole égale 20ml

S : poids du sol égale 1 gamme

N : normalité de l'acide sulfurique égale 0.05 N

T : volume de l'acide sulfurique lu sur la burette lors du titrage pour l'échantillon

B : volume de l'acide sulfurique lu sur la burette lors du titrage pour le témoin

$$N \% = (T - B) * 0.875$$

< 0.05 % : sol très pauvre

0.05 à 0.1 % : sol pauvre

0.1 à 0.15 % : sol moyen

0.15 à 0.25 % : sol riche

> 0.25 % : sol très riche

5.6 dosage de calcaire actif (DROVINEAN)

On prend 2 gamme de sol (0.2 mm) + 250 ml d'oxalate d' NH_4 (0.2N) , laisser agiter 2 heure dans un agitateur mécanique , après l'agitation faire la filtration .

- Prélever 20 de la solution et verser dans un b cher de 400 ml , ajouté ensuite 100 ml d'eau distillé + 5 ml d'acide sulfurique concentré , chauffer à 60-70 C.

Pour le témoin : 20 ml d'oxalate d' NH_4 + 100 ml d'eau distillée + 5 ml d'acide sulfurique

6 Analyse caractéristiques physique du sol :

6.1 Granulométrie (pipette de ROBINSON)

Réactifs et appareillages utilisés

- Eau oxygénée, H_2O_2   6%
- Pyrophosphate de sodium, $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- Agitateur mécanique, balance, étuve, 1 bec BUNSEN
- Tamis de 0.05 mm , 0.2 mm et 20 mm
- 1 b cher de 1.1
- 2  prouvettes de 50 ml (ou 100 ml)
- 1 flacon de 1.1 avec bouchon en caoutchouc
- 3 petites boîtes métalliques pour prélèvement

Mode opératoire

- **Premier jour :**

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

Destruction de la matière organique

- verser dans un même b cher 50 ml de l'eau oxygénée à 30 %
- laisser macérer pendant une nuit (on le met dans grand b cher)

- **deuxième jour**

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

Disparition des éléments argileux :

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

s sédimentation et prélèvement :

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

Chapitre 4 : Méthodes et Matériels

Les calculs

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

- **a (grammes)** : poids de l'argile prélevé et pesé à sec
- **b (grammes)** : poids de (limon fin + argile) prélevé et pesé à sec
- **c (grammes)** : poids de sable fin prélevé et pesé à sec
- **d (grammes)** : poids de sable grossier prélevé et pesé à sec
- **v (grammes)** : volume de la pipette de Robinson = 10
- **V** : volume total de l'allonge égal 1000 ml

Les différents types de textures en fonction de diamètre des particules

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

6.2. la Densité apparente et la Porosité total :

Matériel :

- Cylindre de volume connu (ex : raccord de tuyau en alu ou en PVC de 50 mm minimum)
- Balance
- Etuve
- Récipient résistant à la chaleur (barquette en aluminium par exemple)

Protocole

1. Prélever un échantillon de sol humide à l'aide du cylindre utilisé comme un emporte-pièce (20cm et 40cm de profondeur dans chaque partie) .
2. Préparer un récipient allant à l'étuve. Pesez le récipient à vide.
3. Vider l'échantillon de sol prélevé dans le récipient et peser l'ensemble.
4. Mettre le récipient avec l'échantillon à l'étuve pour séchage (105°C).

Chapitre 4 : Méthodes et Matériels

5. Peser à nouveau. La différence entre la masse humide et la masse sèche donne la masse d'eau contenue dans le sol (et donc le volume).

Résultats

Les différents paramètres peuvent être présentés sous forme d'un tableau.

On peut calculer :

- Masse volumique du sol (ou Densité apparente : D_a) = poids sec sol / volume cylindre (en g/cm^3)
- Teneur en eau massique = (poids échantillon humide – poids échantillon sec 105°C) / poids échantillon sec (g/g)
- Porosité totale = [masse volumique du solide – masse volumique du sol (densité)] / masse volumique du solide (souvent exprimée en pourcent)

La formule pour le calcul de la porosité est la suivante :

$$P = \frac{D-D'}{D} \times 100$$

P : est la porosité , D : la densité réelle , D' : la densité apparente.

7.Biomasse :

Paramètres de croissance:

Des mesures de la hauteur des plants de pomme de terre ont été obtenues chaque semaine du stade de la levée jusqu'à la formation des tubercules sur trois plants par parcelle. La hauteur des plants a été déterminée à l'aide d'un mètre pour mesurer le point le plus élevé de la surface du sol jusqu'à la pointe du couvert végétal. Lorsque le plant de pomme de terre fleurit, la tige et les feuilles ont atteint leur croissance maximale et les tubercules ont atteint 50 % de leur masse finale. Deux plantes par parcelle ont été sélectionnées au hasard et récoltées pour d'autres observations. Les paramètres observés étaient les tiges par plante, les tubercules par plante, la masse de tubercules par plante, la masse totale du feuillage. Par plante (y compris toute la biomasse aérienne ; feuilles, tige), le rapport entre la masse du feuillage et des tubercules, la masse totale par plante et l'indice de récolte (HI). La surface foliaire (LA) a été déterminée à l'aide de l'équation (1) :

$$LA = \frac{LL}{LW} \times 0,55$$

Où LL est la longueur de la feuille de l'extrémité de la feuille à la fixation de la feuille à la tige, LW est la largeur maximale de la feuille et 0,55 est une constante [41]. La longueur des feuilles et la

Chapitre 4 : Méthodes et Matériels

largeur d'une feuille à partir de la couche médiane des feuilles ont été mesurées avec un mètre . La feuille a été séchée pendant trois jours à 60°C et la surface foliaire spécifique (SLA) a été calculée.

$$SLA = \frac{L}{ML}$$

Teneur en matière sèche du tubercule:

Cela a été déterminé en coupant cinq tubercules en petits cubes de 1 à 2 cm et en séchant deux sous-échantillons de 200 g chacun prélevés sur des tubercules hachés parfaitement mélangés dans un four réglé à 80 ° C pendant 72 heures dans deux sacs en papier jusqu'à ce qu'un poids constant soit atteint parvenu. Ensuite, le pourcentage de matière sèche pour chaque variété a été calculé comme suggéré par le CIP (2007) en utilisant la formule suivante : (Vanessa S,2019)

$$\text{Matière sèche \%} = (\text{poids sec} / \text{poids frais}) \times 100$$

Classification : Tous les tubercules fraîchement récoltés par parcelle ont été triés selon les classes de taille : <30 mm (fraction sous-dimensionnée), 30–60 mm (fraction de table) et >60 mm (fraction surdimensionnée) . (Santanu Das,2021)

8. Conclusion :

Ce chapitre décrit toutes les étapes d'installation du système APV. Une introduction au protocole expérimental et à toutes ses phases. Suivre tous les paramètres variables susceptibles d'être affectés par les ombres Produit par des systèmes photovoltaïques agricoles. Comment les serres recyclent et utilisent l'énergie, l'irrigation.

Chapitre 5

Résultats et discussion

Introduction :

L'installation de panneaux solaires au-dessus des cultures agricoles via le modèle agri-voltaïque offre de nombreux bénéfices. Le premier, comme introduit précédemment, est que cela permet l'adaptation de l'agriculture aux changements climatiques. Il s'agit en effet d'un outil de protection des cultures agricoles contre les températures extrêmes (gel et canicule) ou encore des intempéries comme la grêle qui peuvent avoir des conséquences désastreuses sur la production. Ce qui permet par conséquent l'amélioration des rendements agricoles, tout en utilisant la surface disponible au profit des énergies renouvelables via la production d'électricité photovoltaïque. Par ailleurs, l'agri-voltaïsme permet aussi de faire des économies d'eau via le principe de l'évapotranspiration qui a été souligné dans des cultures agricoles comme les vignes.

A- Résultats :

1. les analyses de sol :

1.1 La conductivité électrique CE :

Tableau 15 : La moyenne de conductivité électrique de sol

17/03/2022			BLOC1	BLOC2	BLOC3			
CE ds/m	APV	20 cm	2,83	2,38	3,01	2,74	2,8	Sol peu salé
		40 cm	2,93	2,4	3,25	2,86		
	Témoin	20 cm	2,78	3,35	3,06	3,063333	2,835	
		40 cm	2,51	2,46	2,85	2,606667		

1.2 PHkcl et PHe :

Tableau 16 : Le moyen de PH (kcl et eau)

17/03/2022	BLOC1	BLOC2	BLOC3						
PH	APV	pH eau	20 cm	8,02	7,82	8,04	7,96	7,95	Basique
			40 cm	7,97	7,98	7,87	7,94		
		T°	20 cm	18,4	19,2	18,9	18,83	18,95	
			40 cm	19,2	19,1	18,9	19,06		
		pH KCL	20 cm	7,62	7,51	7,54	7,556	7,55	Basique
			40 cm	7,53	7,55	7,55	7,543		
	T°	20 cm	16,2	17	17,7	16,96	17,3167		
		40 cm	17,6	17,6	17,8	17,66			
	Témoin	pH eau	20 cm	7,91	7,91	7,9	7,90	7,84333	Basique
			40 cm	7,77	7,63	7,94	7,78		
		T°	20 cm	20,8	18,4	18,6	19,26	19,2333	
			40 cm	19,3	19,4	18,9	19,2		
		pH KCL	20 cm	7,6	7,62	7,61	7,61	7,59	Basique
			40 cm	7,57	7,54	7,6	7,57		
	T°	20 cm	17,6	16,8	16,5	16,96	17,1333		
		40 cm	16,9	17,9	17,1	17,3			

Les analyses effectués sur le sol a montré que c'est un sol peu salé (CE=2.8) d'un pH basique qu'est supérieur à 7.5

D'après les résultats du tableau suivant sur les panneaux solaires n'affectent pas l'acidité et la salinité du sol

1.3. L'humidité de Sol :

Tableau 17 : Pourcentage de l'humidité de sol

Humidité %			BLOC1	BLOC2	BLOC3
17/03/2022	APV	20 cm	12,9	16,16	12,88
		40 cm	11,7	14,46	13,04
	Témoin	20 cm	12,95	12,74	13,31
		40 cm	9,7	13,09	12,41
27/03/2022	APV	20 cm	11,72	13,9	11,32
		40 cm	9,46	15,18	12,93
	Témoin	20 cm	15,24	12,51	15,04
		40 cm	12,1	15,59	16,65
30/03/2022	APV	20 cm	10,19	14,86	11,19
		40 cm	10,22	14,8	10,58
	Témoin	20 cm	15,92	15,48	19,16
		40 cm	15,93	15,43	18,14
03/04/2022	APV	20 cm	18,62	19,62	18,11
		40 cm	14,51	19,63	17,87
	Témoin	20 cm	20,78	17,85	18,8
		40 cm	19,6	14,89	18,83
06/04/2022	APV	20 cm	13,41	24,61	19,14
		40 cm	11,016	19,92	16,56
	Témoin	20 cm	19,29	18,15	16,83
		40 cm	16,07	17,55	16,92
10/04/2022	APV	20 cm	14,26	17,049	17,03
		40 cm	11,597	17,362	18,32
	Témoin	20 cm	18,184	17,996	12,57
		40 cm	16,05	16,08	17,27
13/04/2022	APV	20 cm	17,44	19,01	17,6
		40 cm	15,46	20,05	15,8
	Témoin	20 cm	18,56	18,01	18,1
		40 cm	17,03	17,57	16,82

Chapitre 5 : Résultats et discussion

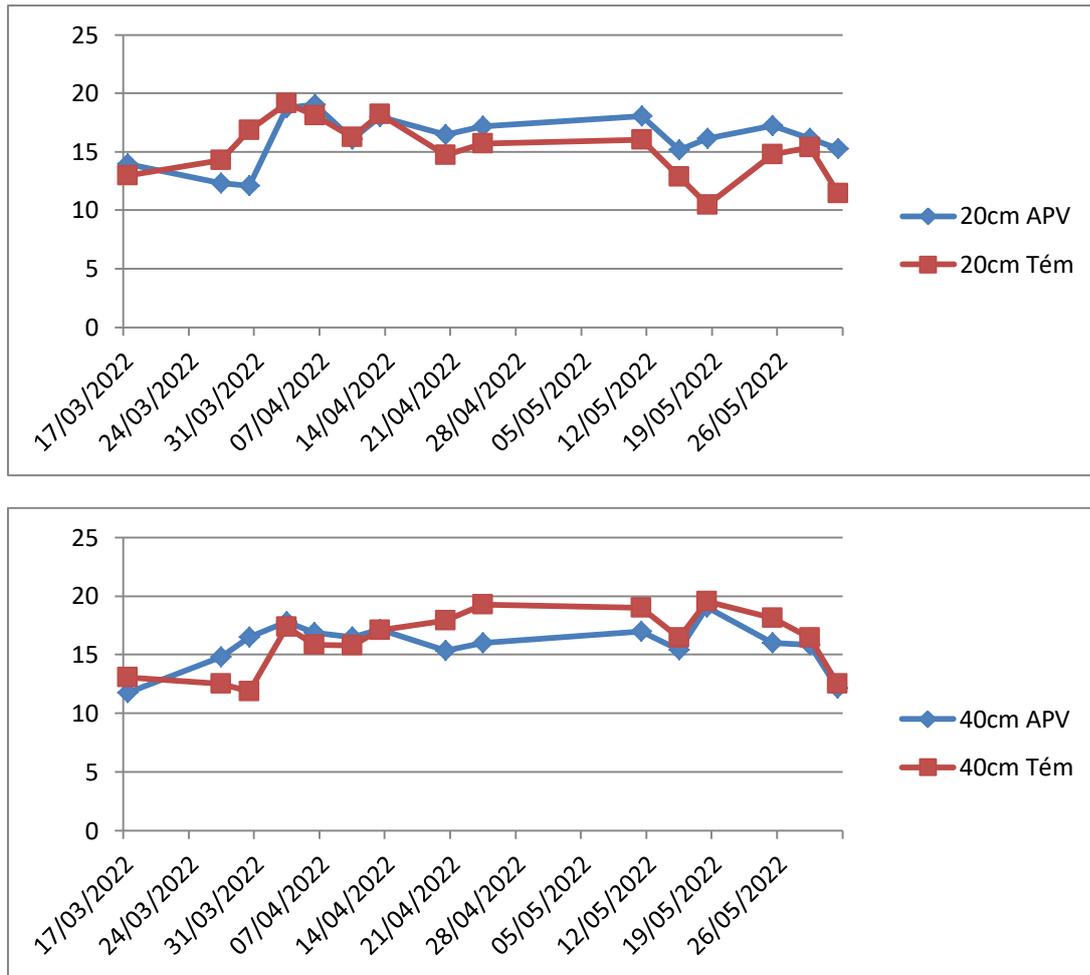


Figure 27 : Courbes représente le pourcentage de l'humidité de sol

*A une profondeur de 20 cm : On constate que l'humidité est relativement proche dans les deux parties, avec une légère préséance dans la partie témoin par rapport à l'APV.

A une profondeur de 40 cm : On remarque également une convergence relative entre les deux parties, avec une majorité au niveau de l'APV par rapport au témoin, contrairement à ce que l'on a observé à une profondeur de 20 cm .

1.4 Les sels minéraux :

Avant Fertilisation :

Tableau 18 : Les moyens des sels minéraux dans le sol avant de fertilisation .

analyses du sol		Calcium mg/l	Magnésium mg/l	TH mg/l	Phosphore mg/l	Potassium mg/l	Sodium mg/l	Azote mg/100g
APV	20 cm	29,07	3,2	32,27	3,64	1,61	0,49	4233,33
	40 cm	26,50	5,63	32,13	4,85	1,61	0,491	4333,33
Témoin	20 cm	32,91	1,536	34,45	4,009	0,50	0,49	1266,67
	40 cm	27,14	7,168	34,31	2,015	0,16	0,49	1100
analyses du sol		Calcium mg/100g	Magnésium mg/100g	TH mg/100g	Phosphore mg/100g	Potassium mg/100g	Sodium mg/100g	Azote mg/100g
APV	20 cm	14,53	1,6	16,13	1,82	0,80	0,24	2116,67
	40 cm	13,25	2,816	16,06	2,42	0,80	0,24	2166,67
Témoin	20 cm	16,45	0,76	17,2275	2,004	0,24	0,24	633,33
	40 cm	13,57	3,58	17,15	1,01	0,08	0,24	550

Chapitre 5 : Résultats et discussion

Après Fertilisation :

Tableau 19: Les moyens des sels minéraux dans le sol après de fertilisation

analyses du sol		Calcium mg/l	Magnésium mg/l	TH mg/l	Phosphore mg/l	Potassium mg/l	Sodium mg/l	Azote mg/100g
APV	20 cm	30,56	41,46	72,03	9,64	19,90	0,76	93000
	40 cm	28,85	42,53	71,39	2,69	9,45	1,62	
Témoin	20 cm	29,07	3,5	32,65	0,29	7,21	6,75	8100
	40 cm	23,51	17,38	40,89	0,006	4,59	10,17	
analyses du sol		Calcium mg/100g	Magnésium mg/100g	TH mg/100g	Phosphore mg/100g	Potassium mg/100g	Sodium mg/100g	Azote mg/100g
APV	20 cm	3,05	20,73	36,01	4,82	9,95	0,38	46500
	40 cm	2,88	21,26	35,69	1,34	4,72	0,81	
Témoin	20 cm	2,90	1,79	16,37	0,14	3,60	3,37	4050
	40 cm	2,35	8,69	20,44	0,003	2,29	5,08	

1.5 la densité apparente et la porosité total:

Tableau 20 : Les résultats de la densité apparent et la porosité total

Point d'échantillonnage	Da(g.cm)	Porosité %
APV 20 (cm)	1,20	54,71
Témoin 20 (cm)	1,24	53,21
APV 40 (cm)	1,66	37,36
Témoin 40 (cm)	1,82	31,32

Tous les résultats permettent de réfléchir à la signification de la masse volumique et au calcul de la teneur en eau, de la masse volumique humide et sèche, et de la porosité.

En comparant des sols sableux, argileux, limoneux on peut voir qu'ils sont plus ou moins poreux et retiennent plus ou moins d'eau. Cela a des répercussions sur la réserve en eau pour les plantes, leur enracinement, l'aération, etc. et donc sur l'utilisation de ces sols en agriculture.

En Second :

2- Caractéristique de croissance végétale :

2-1 Evolution de nombre des feuilles :

Tableau 21 : Nombre moyen de feuilles de plantes

Date		27/03/2022	03/04/2022	17/04/2022	08/05/2022	22/05/2022
Nombre de feuilles	APV	51,7407407	96,3703704	230,703704	329,148148	288,333333
	Témoin	68,5925926	117,259259	210,148148	215,037037	126,407407

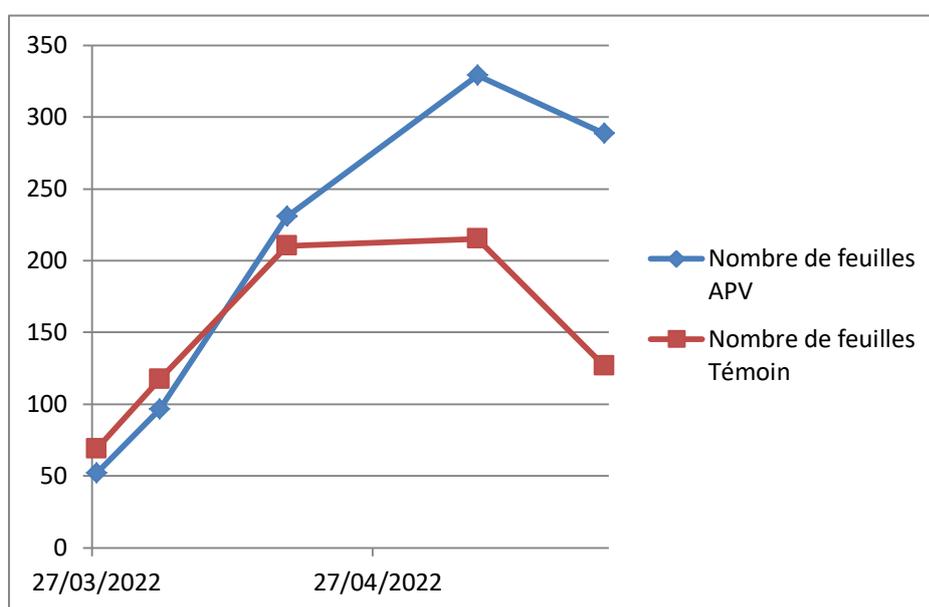


Figure 28 : Courbes représente le nombre moyen de feuilles de plantes.

* D'après la figure, on peut diviser la courbe en 03 étapes ,

d'abord nous remarquons une croissance égale du nombre de feuilles dans l'APV et témoin , avec une moyenne de 220 feuilles. Quant à la deuxième étape (17/03-10/04) , on note la stabilité du nombre de feuilles la part du témoin par rapport à l'APV, qui n'a cessé d'augmenter jusqu'à atteindre environ 330 feuilles . Vient ensuite le stade du flétrissement à partir de date 10/04/2022 , et il y a une diminution progressive du nombre de feuilles dans l'APV et témoin .

Chapitre 5 : Résultats et discussion

2-2 Evolution de la longueur rameau plus feuille :

Tableau 22: La longueur moyen de rameau + feuille

Date		27/03/2022	03/04/2022	17/04/2022	08/05/2022	22/05/2022
Longueur (Rameau+feuille)(CM)	APV	13,77	17,62	20,11	24,74	23,03
	Témoin	13,24	17,46	21,74	22,09	18,03

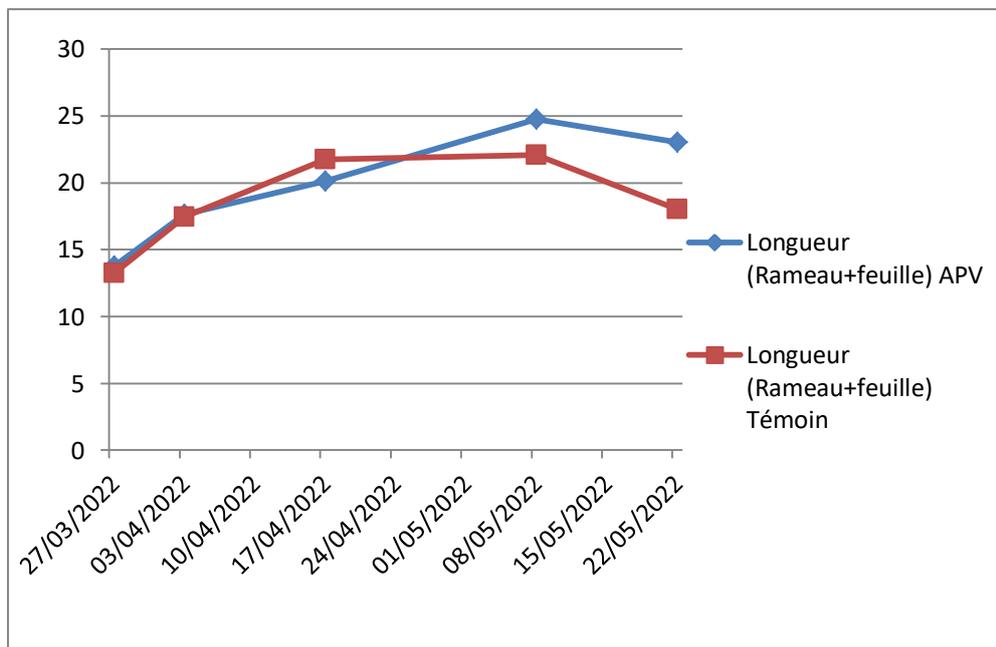


Figure 29 : Courbes représente la longueur moyen de rameau + feuille

* Au premier étape de l'émergence de les rameaux et les feuilles dans les plantes, il y a une longueur de rameaux égale dans APV et le témoin et après deux mois, nous remarquons une augmentation de la fraction APV par rapport au témoin qui est resté constant .

Chapitre 5 : Résultats et discussion

2-3 Evolution de la hauteur de plante :

Tableau 23: La hauteur moyen de plantes de chaque partie

Date		27/03/2022	03/04/2022	17/04/2022	08/05/2022	22/05/2022
La hauteur (CM)	APV	10,92	18,16	35,77	50,18	51,8148148
	Témoin	11,57	18,66	28,96	36,88	33,1851852

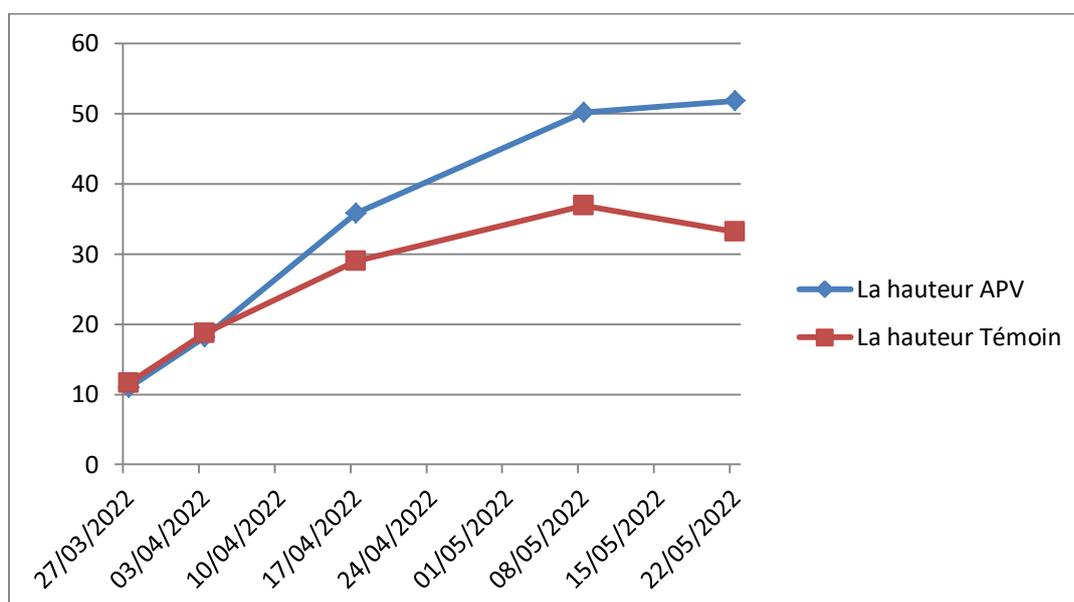


Figure 30 : Courbes représente la hauteur moyen de plante

* Nous avons une observation et c'est que la hauteur de la plante en APV (52 cm) est supérieure à celle du témoin (35 cm) à tous les stades de croissance.

Ce sont les mêmes résultats qui sont apparus dans une expérience en Louisiane sur les effets de l'ombrage artificiel sur la croissance des plantes. Où ils ont remarqué que les tailles relatives des plants de pomme de terre après 50 jours depuis le début de la croissance sont proches. Et avec la condition de montée en lumière normale au bout de 50 jours la croissance était plus importante à l'ombre qu'en pleine lumière. (www.ALAMY.fr) .

2-4 Evolution nombre de ramification :

Tableau 24 : Moyen de nombre de ramification

Date		27/03/2022	03/04/2022	17/04/2022	08/05/2022	22/05/2022
Nombre de ramifications	APV	4,11	7,22	12,15	18,22	20,89
	Témoin	5,44	8,56	11,85	12,89	10,15

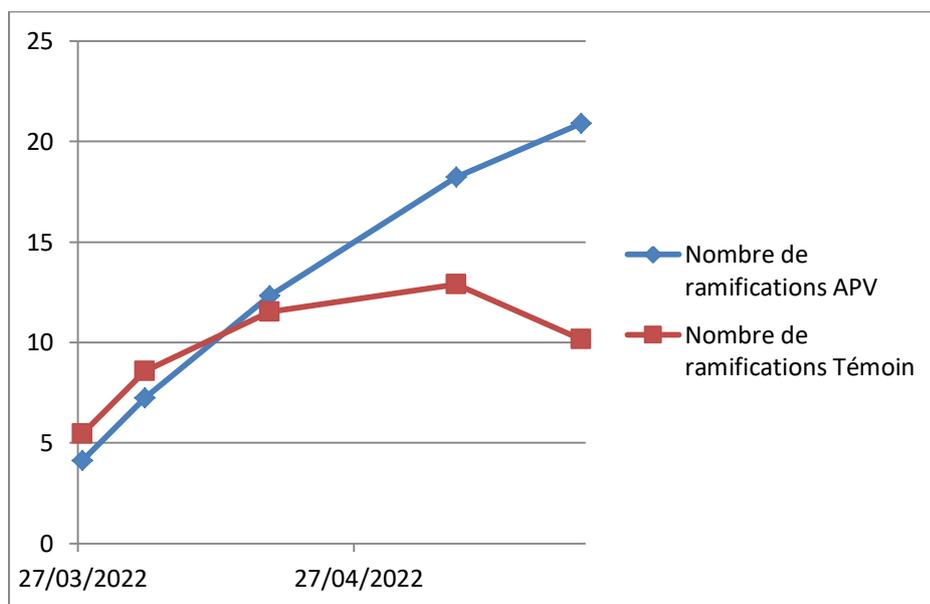


Figure31:Courbes représente le moyen de nombre de ramification

* On remarque au début de la phase de croissance des ramifications (les 15 premiers jours) il y a une augmentation égale dans les deux parties environ 12 et ensuite on remarque une stabilité puis une diminution du nombre de rameaux dans la partie contrôle par rapport à l'APV qui continue d'augmenter avec une moyenne de 23 rameaux ,

Les résultats sont également similaires à ceux de l'expérience de la Louisiane , une différence notable s'est également produite dans le nombre de rameaux développés au bout de 50 jours, où une augmentation du nombre a été observée dans l'ombre par rapport à la Terre normale.(www.ALAMY.fr)

Chapitre 5 : Résultats et discussion

2- 5 Evolution du chlorophylle :

Tableau 25 : pourcentage moyen du chlorophylle

Chlorophylle (SPAD)	Date	27/03/2022	20/04/2022	26/04/2022	08/05/2022	15/05/2022	22/05/2022	
	1ère lecture	APV	53,06	40,96	4,88	8,02	7,67	9,15
		Témoin	48,52	39,10	8,05	6,72	9,11	8,22
	2ème lecture	APV	49,31	36,54	5,87	5,76	9,71	9,4
Témoin		43,65	32,58	6,52	7,81	15,81	4,02	

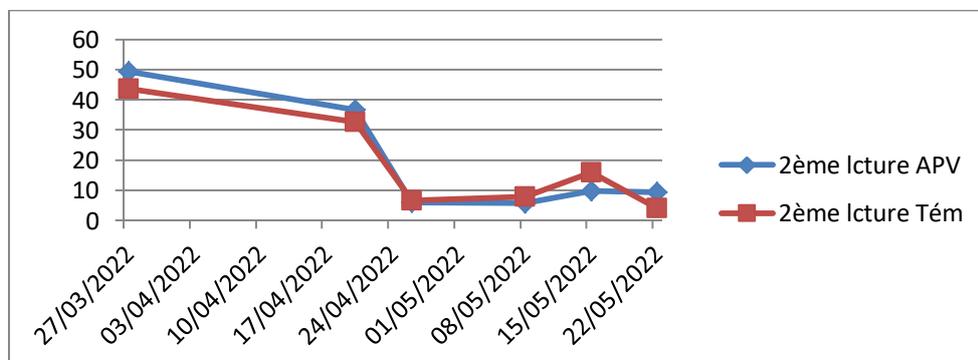
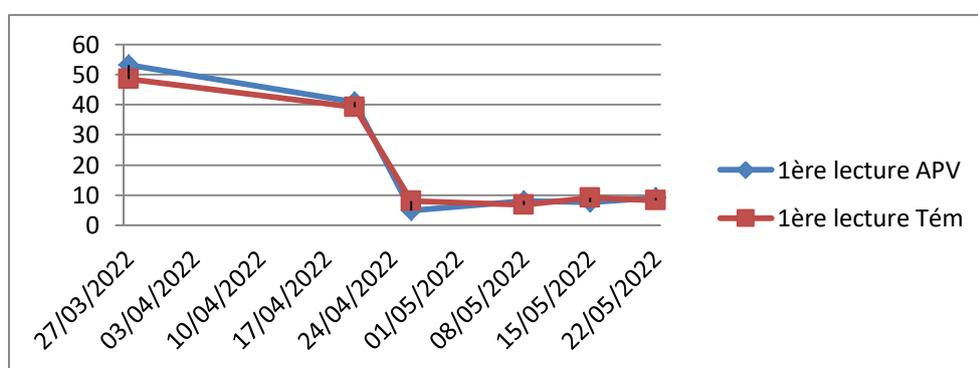


Figure 32: courbes représente pourcentage moyen du chlorophylle

* Il y a un pourcentage égal de chlorophylle dans les deux parties (lecture 1 et 2) et il peut être divisé en 3 étapes, étape de stabilité, puis de carence, puis de stabilité. et nous en concluons que l'ombre n'affecte pas beaucoup le pourcentage de chlorophylle et le processus de photosynthèse

De ce qui précède, nous concluons que la couverture végétale est souvent plus importante sous panneaux solaires que chez témoin. Cette différence s'explique par l'augmentation des réserves d'eau dans le temps sous panneaux solaires. Cependant, la température du sol a également un effet sur la croissance de la végétation.

Chapitre 5 : Résultats et discussion

3. Biomasse :

3.1 . La surfaces des feuilles :

Tableau 26 : La surface des feuilles et surface des feuilles spécifique

16/06/2022		BLOC 01			BLOC 02			BLOC 03		
		P 1	P 2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Leaf area LA (m2)	APV	0,015	0,003	0,013	0,008	0,021	0,014	0,006	0,005	0,017
	Témoin	0,007	0,002	0,005	0,004	0,007	0,005	0,0050	0,008	0,008
Specific leaf area SLA (m2/g)	APV	0,007	0,002	0,005	0,004	0,007	0,005	0,0050	0,008	0,008
	Témoin	0,231	0,112	0,071	0,105	0,131	0,124	0,092	0,099	0,095

3.2 .Rendement :

Tableau 27 : Nombre de Tiges par plant et Nombre de Tubercules par plant et Masse totale foliaire (g) et Masse totale plant (g) et Masse tubercule (Moyenne)

Date : 16/06/2022		Moyenne
Nombre de tige par plante	APV	18,55
	Témoin	15,66
Nombre de tubercules par plant	APV	5,55
	Témoin	4,11
Masse foliaire total (g)	APV	78,49
	Témoin	56,94
Masse totale de la plante (g)	APV	95,80
	Témoin	70,99
Masse de tubercule (Moyenne)	APV	125,89
	Témoin	120,81

Tableau 28 : Poids de la récolte de pomme de terre dans APV et témoin

LE SITE	Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3	TOTAL
Rendement APV (Kg)	105,96	173,79	143,16	422,91
Rendement Témoin (Kg)	193,1	144,56	152,8	490,46

3.3 classification:

Tableau 29 : Le pourcentage classification de la longueur du tubercule

Size classes	<3 Cm	3 - 6 Cm	> 6 Cm	
APV %	0,06662225	37,7032596	62,2301182	100%
Témoin %	2,4691358	27,2633745	70,2674897	100%

De manière générale ,nous avons remarqué que la surface et Masse totale foliaire dans l'APV sont supérieurs à ceux en que témoin , et il en est de même pour masse total de plante .

En ce qui concerne le rendement nous notons que la longueur des tubercules dans l'APV sont plus gros que témoin , mais le poids général il y a une différence en faveur du témoin dans lequel nous avons trouvé le poids de la récolte est supérieure à l'APV , et cela est du à une maladie nommée (Alternariasolani) (figure 09) qui est apparue dans (bloc 01) de la superficie à l'APV , ce maladie qui a infecté la tige de la plante et c'est propagé aux racines et la tubercule mère qui nourrit les tubercules et donc resté plus léger .

B- Discussion :

1-Dynamique végétale sous l'influence de panneaux photovoltaïques:

1-1 croissance :

La croissance de la végétation est souvent plus importante sous les panneaux que dans les zones ensoleillées des deux sites suivis (ex ; Nombre moyen de feuilles d'APV 288,33 et dans le Témoin 126,40 en date 22/05/2022 (tableau 21) confirmant les résultats obtenus dans d'autres études (Arsenault, 2010 ; Adeg et al., 2018).

Cette différence s'explique par l'augmentation des réserves d'eau dans le temps sous les panneaux solaires. Cependant, la température du sol a également un effet sur la croissance de la végétation. Les résultats des mesures effectuées pendant l'été 2020 ont démontré qu'en moyenne sur les deux sites, l'humidité au sol était 28 % plus importante sous les panneaux que dans les allées exposées au soleil. Quant à la température au sol, elle était de 4 à 6°C inférieure, évitant ainsi plus facilement la sécheresse). Les sols trop chauds sont connus pour avoir un effet négatif sur le taux de croissance notamment en causant des dommages aux plantes (Schulze et al., 2019). La température élevée de la Terre est liée à la température de l'air, en particulier au rayonnement solaire.

Le potentiel de croissance en été sous les panneaux est plus fort que dans les zones ensoleillées. Alors qu'en zone d'ombre la différence de croissance maximale est plus importante entre l'inter-rang et le témoin, ce qui signifie qu'en l'absence de stress le potentiel de croissance est plus important dans l'inter-rang, qui est pas limitant en lumière contrairement aux panneaux et une protection partielle contre les dommages légers contrairement au contrôle.

L'ombrage à long terme a augmenté l'allongement de la tige par rapport au témoin (la hauteur moyenne de plantes de APV 51,81 et dans le témoin 33,12 en 22/05/2022 (tableau 23), et le traitement a augmenté le poids frais des parties aériennes. Cela a entraîné un rapport T/R plus élevé, mais le rendement en porte-greffe était significativement plus faible. En conséquence, les plants de patates douces à longue ombre ont produit des tiges plus longues que les témoins et ont continué à pousser pour obtenir autant de lumière que possible dans les limites des restrictions (Qingmei Wang et al., 2014). Il en va de même pour les résultats de l'expérimentation (Dynamique végétale sous l'influence de panneaux photovoltaïques sur deux sites partiels pâturés. MADEJ LOAN, 2020)

1-2 biomasse :

Que ce soit sur une petite échelle ou à l'échelle du parc sur les deux sites, les traitements n'ont pas eu d'influences sur la production de biomasse. Ces résultats sont en contradiction avec d'autres études. Adeg et al. (2018) ont trouvé une biomasse supérieure sous les panneaux et Armstrong et al. (2016) ont trouvé l'inverse une biomasse inférieure sous panneaux (par exemple : la surface des feuilles et surface des feuilles spécifique (tableau 26)). Il est observé cependant sur le témoin, une diminution globale de la biomasse dans le temps (moyen de nombre de ramification de APV 20,89 et dans le témoin la moyenne de nombre de ramification inférieure par rapport sous les panneaux solaire (APV) où dans le témoin 10,15 (tableau 24)).

Cette diminution est expliquée par la teneur en eau du site qui est faible et devient de plus en plus insuffisante pour la production de la biomasse puisque l'eau est la ressource la plus importante pour la production végétale (Schulze et al., 2019). Ce stress hydrique provoque une « trêve » estivale notamment plus marquée en zone contrôle qui a plus besoin d'eau pour produire de biomasse. Au contraire, à l'abri des panneaux solaires, la demande climatique est réduite car le rayonnement plus faible de 92-94% en fonction du site induit une diminution de l'évapotranspiration de plus de moitié d'après Marrou et al. (2013) ce qui permet de garder un stock en eau plus longtemps et d'avoir une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau pour la biomasse (Valle et al., 2017a ; Adeg et al., 2018).

Cette similarité de production de biomasse entre traitements alors que les croissances sont plus grandes sous panneaux peut provenir du fait que le pourcentage de sol nu est plus important sous les panneaux ce qui traduit une densité végétale plus faible (Armstrong et al., 2016). La différence provient aussi du fait que la teneur en fibres est plus faible sous les panneaux. Effectivement, les plantes sous les panneaux ont une plasticité phénotypique leur permettant de s'étioler pour la compétition par rapport à la lumière (Marrou et al., 2013 ; Grime et al., 2017 ; Valle et al., 2017a).

2- production végétale :

Difficile de conclure avec les études si telle ou telle culture est compatible avec un système agri voltaïque. En termes de cultures couvertes par les tables photovoltaïques, les expériences sont plutôt nombreuses. On trouvera néanmoins principalement des travaux sur les cultures pérennes à forte valeur ajoutée (vignes et vergers [pommiers, abricotiers, cerisiers...]) et des cultures annuelles sous serres dans le cadre d'activités de maraîchage (tomates, concombres...). Les grandes cultures sont pour l'instant moins ciblées, déjà parce que les surfaces sont plus grandes, mais peut-être aussi parce que les cultures céréalières sont récoltées en fin de printemps, voire au début de l'été – des

Chapitre 5 : Résultats et discussion

périodes pendant lesquelles les principaux risques climatiques n'ont pas encore eu lieu. Les surfaces de grandes cultures sont également des surfaces agricoles soumises à des rotations culturales plus ou moins longues et dont la gestion sous panneaux pourrait s'avérer d'autant plus complexe. Rajoutons également les contraintes de mécanisation qui n'arrangent rien à la chose (même si certains acteurs proposent des technologies en ce sens) (ADEME 2021).

Une étude a été menée en (forêt d'OM J'DOUR) dans le but de déterminer le niveau d'ombrage qui permettrait d'améliorer à la fois la production de mauvaises herbes et la croissance naturelle du pin d'Alep tout en assurant son renouvellement. Les résultats ont montré une forte baisse de la production de mauvaises herbes des espèces herbacées, en particulier les adventices, dès que la couverture dépasse 25 %. Les plantes herbacées étaient le principal contributeur au potentiel de production de pâturage, tandis que les plantes grossières étaient les plus tolérantes à l'ombre. Un seuil critique de densité totale de 300 arbres/ha a été établi pour améliorer la croissance paysanne des pins d'Alep et favoriser leur régénération naturelle. Cela peut être aidé en plantant des plants sur les parcelles peu peuplées et en éclaircissant les parcelles dont la densité est supérieure à la limite recommandée. (BEN MANSOURA. A et al , 2006)

2.1 De l'ombre à la lumière, et à la gestion de l'eau:

L'ombre et lumière sont les deux facettes d'une même pièce que les tables photovoltaïques s'engagent à partager entre la production agricole et la production électrique. L'ombrage est intéressant pour les plantes dans la mesure où il permet de diminuer la température du couvert (et ainsi réduire les phénomènes d'évapotranspiration des plantes) et, quand la lumière est trop importante, . Plus que des états d'ombre et de lumière, c'est parfois plutôt en termes d'alternance qu'il nous faut réfléchir. Avec la course du soleil, les tables photovoltaïques créent des périodes d'ombres et de lumière plus ou moins longue pour les plantes (ces périodes pouvant être plus ou moins pilotées en fonction de la technologie utilisée, nous en reparlerons plus loin). Tous les végétaux n'ont pour autant pas la même sensibilité à l'ombre. Certaines cultures supportent par exemple assez mal les alternances d'irradiation, et il est d'ailleurs relativement difficile de prédire la productivité des cultures soumises à des alternances d'ombre et de lumière. Les effets peuvent alors être assez sévères, avec par exemple des désordres physiologiques sur la floraison et la nouaison (surtout lorsque l'induction florale est importante) et des décalages dans les dates de maturité. D'autres, au contraire, comme les plantes dites de « mi-ombre » acceptent plutôt bien ces différentes périodes (les produits originaires des sous-bois comme les petits fruits et les kiwis, les légumes feuilles comme la mâche ou les blettes...).

Chapitre 5 : Résultats et discussion

La température de l'air et du sol sous la canopée a diminué avec l'augmentation du niveau d'ombrage (tableau 28). La différence de température de l'air entre les canopées variait de 0,4 à 1,1 °C, et l'humidité de l'air et l'humidité du sol augmentaient avec l'ombrage. La température du sol dans les traitements d'ombrage à 40 et 70 % a diminué de 1,68 et 2,36 °C, respectivement, par rapport au témoin (CK), mais la différence entre les traitements n'était pas significative. (Qingmei Wang et al., 2014)

Tableau 30 : Effet de l'ombrage sur la température de l'air de la canopée et la température du sol

Treatment	June		July		August		September		October	
	Air Temp.	Soil Temp.								
I	28.1a	25.5a	27.7a	25.7a	24.3a	24.5a	20.9a	22.6a	13.0a	17.8a
II	28.0a	25.1a	27.6a	24.9a	24.0a	23.8a	20.7a	21.8a	12.9a	17.1a
CK	28.4a	27.4a	28.4a	26.9a	25.1a	25.3a	21.8a	24.4a	13.7a	20.5a

Les valeurs suivies de la lettre minuscule avec dans une colonne sont significativement différentes au seuil de 5 %. I, traitement d'ombrage de 40 % ; II, 70 % d'ombrage traitement

Nous l'évoquons en début de paragraphe mais l'ombrage peut apporter indirectement un effet positif sur l'évapotranspiration des plantes lorsque la température du couvert diminue avec, en conséquence, des besoins réduits en irrigation (certains projets de tables photovoltaïques sont d'ailleurs aussi en cours au-dessus de canaux d'irrigation pour limiter les pertes d'eau par évaporation).

Dans les zones sèches, les tables photovoltaïques peuvent en effet participer à la réduction de l'évapotranspiration. Quand il n'y a pas de stress hydrique néanmoins, les panneaux pourraient au contraire être un obstacle à la photosynthèse. De manière plus générale, si l'on s'intéresse à l'efficacité de l'utilisation de l'eau, c'est-à-dire le ratio entre la variation relative de la matière sèche et l'évapotranspiration réelle, force est de constater que son amélioration n'est pas systématique – tout dépend en réalité des conditions climatiques présentes dans l'environnement. (Grison. (2021).

Pour continuer sur la thématique de l'eau, l'utilisation des tables photovoltaïques peut poser question quant à l'hétérogénéité spatiale de l'eau sous les modules, mais aussi quant à l'hétérogénéité de l'eau dans le sol. Les tables photovoltaïques peuvent en effet générer des effets de rigole ou de rideau d'eau en bord de panneau (surtout quand l'eau n'est pas récupérée dans des

Chapitre 5 : Résultats et discussion

gouttières dédiées). Il pourrait être pertinent de s'intéresser plus sérieusement au sol, à la fois sur les effets d'érosion sur les pourtours des panneaux (même si certains travaux ont pu observer que l'érosion était moindre sous les panneaux parce que le sol était plus humide car moins directement soumis au réchauffement des rayons du soleil), mais aussi sur la création de microclimats dans le sol, ou encore l'affectation de la structure et de l'hydrologie des sols. Certaines expériences sembleraient également montrer que les sols à l'ombre ne se réchauffent ni ne minéralisent de la même façon.

En protégeant de la pluie, les tables photovoltaïques pourraient avoir un effet bénéfique sur le développement des maladies et champignons (on peut penser à l'oïdium et au mildiou par exemple) puisque les conditions d'humidité et d'hygrométrie sont complètement changées. Cet aspect pourrait être intéressant pour les agriculteurs souhaitant s'orienter vers une agriculture biologique dans le sens où la limitation du développement de maladies pourrait aider à se passer de produits phytosanitaires, Aucune différence significative de l'humidité de l'air n'a été observée entre les traitements d'ombrage et le témoin, alors que l'humidité du sol a augmenté de 2,2 % sous 40 % d'ombrage et de 33,1 % sous 70 % d'ombrage (tableau 29) .(Qingmei Wang et al.,2014)

Tableau 31 : Effet de l'ombrage sur l'humidité de l'air de la canopée et l'humidité du sol

Treatment	June		July		August		September		October	
	Air humidity	Soil humidity								
I	85.2a	22.2a	72.6a	22.8a	67.6a	21.3a	59.2a	21.0a	56.3a	19.3a
II	85.3a	23.3a	72.8a	23.6a	67.8a	22.6a	60.3a	21.7a	57.5a	19.8a
CK	85.1a	20.8a	72.0a	21.3a	65.4a	19.6a	58.3a	17.3a	53.2a	16.5a

Les valeurs suivies de la lettre minuscule avec dans une colonne sont significativement différentes au seuil de 5 %. I, traitement d'ombrage de 40 % ; II, 70 % d'ombrage traitement

2-2-Photovoltaïque et production agricole:

en termes de quantité de production, les effets des installations photovoltaïques semblent être globalement neutres à négatifs. Les plantes n'auraient de toute façon pas besoin de 100% de luminosité pour pousser au mieux. Certaines plantes verraient même leur croissance plutôt stimulée

Chapitre 5 : Résultats et discussion

pour des niveaux d'ombrages moyens. C'est par contre en atteignant des niveaux d'occultation de lumière importants que l'on pourrait s'attendre à une perte importante de rendement.

La relation n'est de toute façon pas linéaire entre la baisse de la radiation lumineuse et le rendement. Certains projets récents ont pu néanmoins témoigner d'une augmentation de la productivité sous les panneaux avec un pilotage très fin de la lumière (en faisant en sorte de limiter les périodes de photo-inhibition lors d'ensoleillement intense pour que les plantes n'arrêtent pas leur croissance en milieu de journée). Encore peu étudiés, les effets de long-terme ne seraient pourtant pas à négliger. En limitant la photosynthèse sur la saison sur une plante pérenne, il y aurait en effet des risques d'affecter le développement de l'année suivante (les réserves sont impactées, l'induction florale aussi). L'hypothèse du point de saturation de la lumière se travaille à l'échelle de la feuille. A l'échelle de la plante, la question est peut-être différente en ce sens que la lumière arrivant sur une feuille sera transmise et diffusée aux autres feuilles de la plante. Les questions de flux d'énergie changent d'échelle, et affectent peut-être la manière de raisonner les effets de lumière et d'ombrage sur la plante. Au vu de la variabilité climatique interannuelle importante, disposer de séries temporelles longues semble nécessaire pour s'atteler au problème. . (ADEME 2021). Les scientifiques de l'INRAE (institut national française de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement) ont placé des sondes de température et d'humidité dans l'air et sur le sol, des capteurs du rayonnement solaire, ainsi qu'une mini-station météo qui mesure les précipitations, la vitesse et la direction du vent. Des observations sont effectuées sous les panneaux, dans les allées, ainsi que dans des zones témoins, en dehors de l'influence des modules photovoltaïques. Les chercheurs ont analysé l'humidité du sol, la hauteur de pousse de l'herbe et la qualité du fourrage. Les résultats des mesures effectuées pendant l'été 2020 ont démontré qu'en moyenne sur les deux sites, l'humidité au sol était 28 % plus importante sous les panneaux que dans les allées exposées au soleil. Quant à la température au sol, elle était de 4 à 6°C inférieure, évitant ainsi plus facilement la sécheresse. « Pendant l'été 2020, nous avons constaté que la croissance de l'herbe était de 125 % à 200 % supérieure sous les panneaux à celle qui pousse en plein soleil », explique Catherine Picon-Cochard, directrice de l'unité de recherche sur l'écosystème prairial à l'INRAE. « L'indice de végétation est aussi plus élevé, c'est-à-dire que l'herbe reste verte plus longtemps », ajoute-t-elle. (INRAE, 2020)

3 L'ombre des installations photovoltaïques diminue l'arrosage nécessaire:

Dans les régions hors réseau, le photovoltaïque agricole peut produire de l'électricité pour le captage et le traitement de l'eau tout en diminuant les besoins en eau des cultures grâce à l'ombre

Chapitre 5 : Résultats et discussion

fournie. Cela agit contre la désertification et la détérioration de la qualité des sols. Ainsi, la plus grande installation photovoltaïque agricole du monde est située en bordure du désert de Gobi en Chine : on y cultive des baies sous des modules solaires d'une puissance de 700 mégawatts. Une étude préliminaire de l'Institut Fraunhofer ISE concernant un site dans l'État indien du Maharashtra indique que l'ombrage et la réduction de l'évaporation dus aux installations photovoltaïques agricoles permettent un rendement 40 pour cent supérieur pour la tomate et le coton.(Inter solar Europe 2021).

Les défis que représente l'utilisation du photovoltaïque agricole à grande échelle sont notamment les coûts d'investissement supérieurs par rapport aux installations au sol conventionnelles liés aux supports des modules et à la conception de l'installation spécifique au site. Selon le guide sur les opportunités du photovoltaïque agricole pour l'agriculture et la transition énergétique publié par l'Institut Fraunhofer ISE en octobre 2020, le photovoltaïque agricole est toutefois déjà compétitif avec d'autres énergies renouvelables grâce à ses coûts de revient du courant entre 7 et 12 centimes d'euro par kWh : les coûts de revient du photovoltaïque agricole sont donc actuellement encore supérieurs à ceux des installations au sol conventionnelles, mais déjà inférieurs à ceux des petites installations sur toitures.(Inter solar Europe 2021).

4 .Effet de l'ombrage sur le rendement et la qualité :

L'ampleur de la réduction du rayonnement solaire sous un auvent APV dépend beaucoup de l'altitude solaire saisonnière, de la position sous le générateur et de la mise en œuvre technique de l'installation. Ce dernier comprend l'orientation, l'angle d'inclinaison et la taille des panneaux ainsi que la distance entre eux (Beck et al. 2012 ; Dupraz et al. 2011a). En raison de la disposition des modules PV, l'ombrage sous l'installation n'est pas uniforme et varie au cours de la journée en fonction de l'altitude solaire. Dans des études avec des systèmes APV adaptés à la production agricole, par exemple grâce à une densité de module réduite, le rayonnement disponible pour les cultures a été prédit pour atteindre des valeurs comprises entre 60 et 85 % de celles en conditions de plein champ (Dupraz et al. 2011a ; Majumdar et Pasqualetti 2018 ; Obergfell et al. 2017 ; Praderio et Perego 2017). Cet effet sera moins distinct dans les petites installations APV en raison des effets de bordure, en particulier lorsque le soleil est bas et peut atteindre le sol par les côtés. Dans une expérience au champ où différentes variétés de laitue ont été cultivées dans une installation APV, (Marrou et al., 2013) ont constaté qu'avec une densité de modules PV réduite avec une distance entre les rangées de panneaux de 3,2 m, jusqu'à 73% du rayonnement entrant était disponible au niveau de l'usine. En moyenne, les rendements de laitue étaient de 81 à 99 % des rendements

Chapitre 5 : Résultats et discussion

témoins en plein soleil, deux variétés dépassant même les valeurs témoins. Dans des simulations réalisées avec des données climatiques des 37 dernières années (1975-2012), (Praderio et Perego, 2017) ont constaté que les rendements moyens du maïs et du blé cultivés sous APV ne seraient réduits que d'environ 0,5 à 1,5 %. Cependant, il reste douteux que de tels rendements puissent être atteints dans la pratique. Dans un modèle de culture modifié adapté aux conditions d'ombrage sous APV, (Homma et al., 2016) ont découvert qu'une réduction de 20 % du rayonnement solaire entraînait une réduction de 20 % des rendements de riz. Ils ont conclu qu'une disponibilité suffisante de lumière pendant les premières périodes de croissance est un facteur de rendement important.

En dehors des études mentionnées ci-dessus, il existe très peu d'informations sur les effets de l'APV sur la production agricole. Par conséquent, les informations sur la question ne peuvent être tirées que d'études dans des conditions comparables, telles que des expériences d'agroforesterie ou des études avec ombrage artificiel. Un bref résumé de la littérature existante traitant de l'impact de l'ombrage sur le développement et le rendement des plantes (**FIGURE 33**). Pour des raisons de comparabilité, seules les expériences de terrain avec un ombrage artificiel (principalement créé par des toiles ou des filets d'ombrage) ont été prises en compte. Comme dans la plupart de ces études, l'ombre était fournie par des filets sur toute la zone d'étude, les conditions d'ombrage uniformes obtenues ne sont pas les mêmes que les modèles d'ombrage dynamiques sous une installation APV. Par conséquent, les résultats de ces études doivent être traités avec prudence et ne peuvent pas être directement transférés aux systèmes APV. Dans la plupart des études, différentes intensités d'ombrage ont été appliquées. Afin de distinguer les intensités, nous utilisons les termes « ombrage modéré » (jusqu'à 50 % de réduction par rapport au plein soleil) et « ombrage sévère » (plus de 50 % de réduction par rapport au plein soleil) dans le texte suivant. Ces termes ne sont utilisés que pour diviser les intensités d'ombrage appliquées en deux catégories et ne sont pas destinés à évaluer l'impact sur la production agricole. Par exemple, des conditions d'ombrage modérées peuvent potentiellement conduire à des résultats sévères en ce qui concerne le rendement et la qualité des cultures, comme indiqué pour les pommes de terre (Sale 1973). Comme le rayonnement disponible pour les cultures sous APV est réduit d'environ 15 à 40 %, ces conditions d'éclairage correspondent à un ombrage modéré (Amaducci et al. 2018 ; Dupraz et al. 2011a ; Marrou et al. 2013b).

Il existe une forte corrélation entre le rendement en grains et l'irradiance dans les céréales telles que le blé (Artru et al. 2017 ; Dufour et al. 2013 ; Jedel et Hunt 1990 ; Li et al. 2012 ; Mu et al. 2010), le riz (Islam et al. 2010). (Morison, 1992) et le maïs (Jia et al. 2011 ; Reed et al. 1988). L'étendue de la

Chapitre 5 : Résultats et discussion

réduction du rendement dépend de l'intensité de l'ombrage, de la période et du stade de développement de la culture auquel l'ombrage est appliqué. Par exemple, dans le riz, la réduction de rendement peut atteindre jusqu'à 73 % dans des conditions d'ombrage sévères avec une réduction du rayonnement entrant jusqu'à 77 % (Islam et Morison, 1992). Dans des expériences antérieures avec du blé, Fischer (1985) a montré que cette baisse de rendement est due à la fois à un nombre réduit de grains par épi et d'épis par unité de surface et varie également avec le stade phénologique de la culture auquel l'ombrage est appliqué. Alors que les cultures de blé étaient les plus sensibles à l'ombrage dans la période de 30 jours avant la floraison, les traitements se terminant 45 jours avant l'anthèse n'ont pas montré d'effets significatifs. Ces résultats sont en accord avec ceux du riz, où un léger changement d'intensité lumineuse pendant la phase végétative n'a eu aucun effet sur les rendements (Islam et Morison 1992). En revanche, (Li et al., 2012) ont constaté que les rendements en grains de deux cultivars de blé augmentaient dans des conditions d'ombrage doux lorsqu'ils étaient appliqués de la jointure à la maturité (réduction de 8 % du plein ensoleillement). Dans le cas du maïs, l'ampleur des réductions de rendement était également liée au stade de croissance auquel l'ombrage était appliqué. (Reid et al. 1988) ont constaté que le rendement en grain était réduit de 12 % lorsque l'ombrage (réduction de 50 % du rayonnement entrant) était appliqué pendant la phase végétative. Lorsqu'il est appliqué pendant la floraison ou le remplissage des grains, les rendements ont été réduits de 20 % et 19 %, respectivement (Reed et al. 1988). (Mbewe et Hunter, 1986) ont trouvé des résultats similaires, les réductions de rendement en grains du maïs étant les plus affectées pendant la phase de reproduction. Fait intéressant, alors que les rendements en grains ont été réduits de 52 % sous ombrage (réduction de 65 % du rayonnement entrant), le rendement en tiges n'a pratiquement pas été affecté par l'ombrage pendant la phase de reproduction (Mbewe et Hunter 1986).

Sur la pommes de terre, le nombre de tubercules et le rendement en tubercules étaient généralement diminués par l'ombrage (Kurupparachchi 1990 ; Midmore et al. 1988 ; Sale 1973), mais dans les régions à forte irradiation solaire, les rendements étaient augmentés lorsque l'ombrage était appliqué soit au début du développement de la plante (Kurupparachchi 1990) ou vers midi (Midmore et al. 1988). Cet effet a été expliqué par un meilleur taux de survie des plantes grâce à l'ombrage. Cependant, selon le climat, les effets potentiels de la canopée PV sur le microclimat, par ex. les changements observés dans l'évapotranspiration doivent être pris en compte lors de l'interprétation des données (Marrou et al. 2013a). C'est le cas, par exemple, des conclusions de (Marrou et al. 2013c), issue d'expériences menées sous un climat méditerranéen sec. dans les tomates, le rendement en fruits a augmenté dans des conditions d'ombrage modéré (réduction de 25 à 36 % du

Chapitre 5 : Résultats et discussion

plein soleil) dans des conditions semi-arides avec des intensités lumineuses élevées (Baharuddin et al. 2014 ; El-Gizawy et al. 1993 ; Nangare et al. 2015) . La hauteur des plantes a également augmenté dans ces conditions. Cependant, un degré d'ombrage plus élevé (50 à 75 % du plein soleil) a eu des effets néfastes et a entraîné une diminution des rendements en fruits. Des résultats similaires ont été trouvés pour les poivrons cultivés dans le désert du Néguev où un ombrage modéré (réduction de 12 à 26 % du plein soleil) a entraîné une augmentation des rendements et de la hauteur des plantes (Rylski et Spigelman, 1986).

Par ailleurs, l'impact de l'ombrage sur les rendements semble dépendre de la composante végétale récoltée. Pour la laitue, le rendement récoltable de certaines variétés s'est avéré être à peine affecté par l'ombrage, tandis que pour d'autres variétés, le rendement a dépassé celui des plantes cultivées en plein soleil (Marrou et al. 2013c). (Marrou et al., 2013) ont conclu que cela était lié à différents mécanismes d'adaptation des variétés aux conditions ombragées. Les variétés tolérantes à l'ombre ont montré un certain nombre de stratégies d'adaptation, notamment une surface foliaire totale accrue, une orientation foliaire modifiée et une morphologie modifiée avec un nombre de feuilles plus longues, plus larges, plus minces mais plus faible. Chez le blé, l'indice de surface foliaire maximale n'a pas été affecté par l'ombrage (Artru et al. 2017 ; Dufour et al. 2013), tandis que la biomasse de paille de certaines variétés a augmenté (Artru et al. 2017). Pour certaines espèces de prairies tempérées, des expériences en pot avec des toiles d'ombrage ont montré que, selon la variété, des rendements constants, voire supérieurs, peuvent être obtenus dans des conditions d'ombrage modéré (Pang et al. 2017 ; Semchenko et al. 2012). Le rendement des tiges n'était presque pas affecté selon le stade de croissance auquel l'ombrage était appliqué. Par conséquent, l'effet de l'ombrage sur les composants végétaux végétatifs doit également être pris en compte ; des avantages potentiels peuvent être tirés de la sélection d'espèces et de variétés de cultures appropriées. En particulier, les cultures fourragères et les légumes-feuilles tels que le chou et la laitue peuvent bénéficier d'une irradiation solaire réduite en augmentant la surface foliaire et donc la biomasse végétale totale (Mbewe et Hunter, 1986)

En plus des facteurs de rendement, l'ombrage influence la qualité des produits récoltables. Chez le blé, l'ombrage était corrélé à l'augmentation de la teneur en protéines du grain (Artru et al. 2017 ; Dufour et al. 2013 ; Li et al. 2012) ; dans les grains de maïs, la teneur en matières grasses et en protéines a augmenté (Jia et al. 2011). Une étude a également porté sur l'impact de l'ombrage sur la qualité boulangère de deux cultivars de blé différents (Li et al. 2012) : la teneur en glutenine, la teneur en gluten humide, l'indice de chute et la valeur de sédimentation ont tous augmenté dans des

Chapitre 5 : Résultats et discussion

conditions d'ombrage modérées, tandis qu'un ombrage doux (8% de réduction du plein soleil) a conduit à des résultats opposés. Ces résultats ont été expliqués par un effet de dilution dû aux changements de poids des grains, qui a été diminué par un ombrage modéré et augmenté par un ombrage léger (Li et al. 2012). Dans les cultures oléagineuses, la qualité de l'huile s'est avérée modifiée par une composition altérée en acides gras en réponse aux changements du rayonnement solaire intercepté (Gauthier et al. 2017; Izquierdo et al. 2009). La teneur en acide oléique du maïs, du colza, du soja et du tournesol a diminué avec la diminution de l'intensité lumineuse, tandis que la teneur en acides gras polyinsaturés tels que l'acide linoléique et linoléique a augmenté (Izquierdo et al. 2009). Ce résultat a été récemment confirmé par (Gauthier et al. 2017) qui ont également trouvé que la concentration en acide linoléique de différents génotypes de colza était négativement corrélée avec le rayonnement solaire. Cependant, l'effet du rayonnement solaire était inverse pendant les premiers 100 à 300 degrés-jours après le début de la floraison. Outre la composition en huile, l'ombrage était également associé à une concentration réduite en huile (Gauthier et al. 2017).

Chapitre 5 : Résultats et discussion

Crop	Shade effect	Effect on yield	Further effects	Reference	RSR ^b [%]	Type/time of shade application	Study site
Field crops							
Sunflower	-/+	•Decreased seed set and number in all shading treatments	•Altered fatty acid composition	Cantagallo et al. (2004)	80	At various periods ^a	Buenos Aires, Argentina
				Izquierdo et al. (2009)	50/80	During grain filling ^a	Santamari-ne, Argentina
Oleiferous plants	-/+	•No details given	•Altered fatty acid composition	Izquierdo et al. (2009)	50/80	During grain filling ^a	Santamari-ne, Argentina
Potato	-/+	•Decreased tuber yield and number •Increased yield at some locations and shading times	•Increased plant height and leaf area	Kurupparachchi (1990)	50	Non-uniform shading; at various periods	Kalpitiya, Sri Lanka
				Sale (1973)	21/34	During entire growth period ^a	Australia
				Midmore et al. (1988)	50/67	At various times of the day ^a	Peru
Wheat	-/+	•Decreased grain yield and grain size •Increased yield for some cultivars under moderate shading conditions	•Increased protein content	Artru et al. (2017)	55	Non-uniform shading; Starting at flowering	Gembloux, Belgium
				Dufour et al. (2013)	25–60	Various; increasing intensity ^a	Montpellier, France
				Fischer (1985)	50–67	At various periods ^a	Various
				Jedel and Hunt (1990)	50±5 (of PAR)	Various ^a	Toronto, Canada
				Li et al. (2012)	8/15/23	From jointing to maturity ^a	Nanjing, China
				Mu et al. (2010)	22/33 (of PAR)	From jointing to maturity ^a	Nanjing, China
Maize	-/+	•Decreased grain yield due to reduced grain weight •Increased stover yield	•Increased fat and protein content •Decreased starch content	Reed et al. (1988)	50	At various growth stages ^a	Missouri, USA
				Jia et al. (2011)	55	For 2 weeks at different times ^a	Shadong, China
				Mbewe and Hunter (1986)	65	At various growth stages ^a	Ontario, USA
Rice	-	•Reduced grain yield through shading during reproductive and ripening stages	•Shading during vegetative stage had no effect	Islam and Morison (1992)	22/52/77	At various growth stages ^a	Joydebpur, Bangladesh
Cotton	-	•Decreased lint yield	•Decreased fibre strength •Increased fibre length	Chen et al. (2017)	21/38	Starting at flowering ^a	Nanjing, China
Horticultural crops							
Tomato	+	•Increased fruit yield under moderate shading conditions	•Increased plant height with increasing shade •Reduced number of fruits with sunscald •Decreased content of ascorbic acid, carotenoids and phenolics	Baharuddin et al. (2014)	25/50/75	Unknown	Bogor, Indonesia
				El-Gizawy et al. (1993)	35/51/63	Starting 1 month after transplanting ^a	Egypt
				Nangare et al. (2015)	35/50/75	Starting after transplanting ^a	Abohar, Punjab, India
Sweet pepper	+	•Highest yield under moderate shading conditions	•Increased plant height and quantity of flower nodes •Reduced number of fruits with sunscald	Rylski and Spigelman (1986)	12/26/47	During entire growth period ^a	Negev desert, Israel
Tree fruit and berry crops							
Kiwi	+	•Highest fruit yield under moderate shading conditions	•Decreased fruit drop and leaf fall in all cultivars •Increased storage quality •Reduced heat stress assumed	Wang et al. (2007)	70	During summertime ^a	Changsha, China
				Allan and Carlson (2003)	15/30/40/55	Unknown timing ^a	Pietmaritz-burg, South Africa
Mango	+	•No details given	•Decreased severity of postharvest diseases and thus increased fruit quality •Decreased anthracnose infestation through rain reduction during rainy season	Jutamee et al. (2013)	26	Starting at beginning of flowering ^a	Nakhon Phanom, Thailand
Coffee	+	•Highest yields under moderate shade conditions	•Decreased yields under severe shading (> 50% reduction of incoming radiation)	Soto-Pinto et al. (2000)	30–70	During whole investigation period ^a	Chilón, Chiapas, Mexico
Black-berries	+	•Increased yield	•Extended harvest period	Rotundo et al. (1998)	40	From June–October ^a	Basilicata region, Italy
				Makus (2010)	40	Starting after third harvest ^a	Monte Alto, Texas, USA
Blue-berries	+/-	•Both increased and decreased yields depending on geographic location and shading period	•Extended harvest period	Lobos et al. (2013)	25/50/75	Starting 1 month after fruit set ^a	Gobles, Michigan, USA
				Retamales et al. (2008)	35/50	Starting at fruit set ^a	Miraflores, Chile

Figure 33: Aperçu de la existante sur les effets de l'ombrage sur différentes cultures

Conclusion:

Les systèmes agri-voltaïques ont émergé afin de répondre au défi d'assurer sur place les énergies renouvelables et la production agricole. Cependant, l'installation de panneaux solaires modifie le microclimat comme la répartition des précipitations, la température et le rayonnement. Ces modifications affectent la dynamique de la plante. La recherche de ces effets liés à l'agriculture n'en est qu'à ses balbutiements, un projet entre deux PME de centrales solaires et l'UREP a été créé depuis l'INRAE en Auvergne. Les objectifs sont de suivre les effets de la présence de panneaux solaires, en période estivale, sur la dynamique des prairies, en comparant différentes variables liées à la végétation et au microclimat en relation avec l'évolution des conditions d'ombrage. Pour séparer les effets directs des panneaux solaires,

La surveillance a été effectuée dans des hangars et comparée à la surveillance des pâturages dans les jardins. Les résultats ont montré une altération de la parade florale à longue distance sous les plateaux avec une diminution de la richesse spécifique associée à la dominance des espèces présentant des altérations phénotypiques. De plus, sous les panneaux, en été, le potentiel de croissance, l'état et la qualité de la végétation sont favorisés grâce à des panneaux solaires qui protègent contre le stress hydrique, lumineux et thermique. Le sol est plus humide et plus frais par rapport aux zones ensoleillées. Parallèlement, en Europe, la société énergétique suédoise Vattenfall a annoncé son intention de réaliser ses premiers projets agri-voltaïques aux Pays-Bas, où l'opposition des systèmes solaires à grande échelle est forte par crainte de perte de terres agricoles.

« Les agriculteurs, les politiciens et les organisations environnementales nous disent régulièrement que les terres agricoles ne doivent pas être utilisées pour des parcs solaires », déclare Margit Diemel, la directrice de l'énergie solaire à grande échelle dans le secteur des batteries et de l'énergie solaire de Vattenfall. « En étudiant si nous pouvons combiner les parcs solaires avec l'agriculture, nous voulons également accroître l'acceptabilité de nos parcs solaires dans le pays », a-t-elle ajouté.

Les References :

"APV Resola". APV Resola (in German). Retrieved 2017-09-11.

Adeh E. H., Selker J. S., Higgins C. W. (2018). Remarkable agrivoltaic influence on soil moisture, micrometeorology and water-use efficiency. PloS One 13, e0203256.

ADEME (2021). Caractériser les projets photovoltaïques sur terrains agricoles et l'agrivoltaïsme. Etat de l'art bibliographique.

Annales de l'INRGREF (2006), Numéro spécial, (2) BEN MANSOURA. A et a

Antioxidative activity of anthocyanins from purple sweet potato, *Ipomoea batatas* cultivar Ayamurasaki. Biosci Biotechnol Biochem 69:979–988.

Armstrong A., Ostle N. J., Whitaker J. (2016). Solar park microclimate and vegetation management effects on grassland carbon cycling. Environmental Research Letters, 11(7), 074016.

Arnon DI (1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol 24:1–15.

Arsenault J.T. (2010). Proposed Solar Panel Vegetation Impacts Stafford Landfill Solar Installation : Structure and Shading Impacts Prepared by Joseph Arsenault July 2010.

BELAID, Nour El Houda et BOUHAMDA, Afrah 2018 . Contribution à l'étude de la possibilité de culture de la pomme de terre sous couvert de déchets végétaux (mulch) et son impact agro-économique et écologique dans la région d'el OUED.

Bell GE, Danneberger TK, McMahon MJ (2000) Spectral irradiance available for turfgrass growth in sun and shade. Crop Sci 40:189–195.

Boardman NK (1977) Comparative photosynthesis of sun and shade plants. Annu Rev Plant Physiol 28:355–377.

Bouderbala, A. & Gharbi, B. Y. 2017. Hydrogeochemical characterization and groundwater quality assessment in the intensive agricultural zone of the Upper Cheliff plain, Algeria. Environmental Earth Sciences, 76, 744.

Les Références

- Bouderbala, A. 2017. Assessment of water quality index for the groundwater in the upper Cheliff plain, Algeria. *Journal of the Geological Society of India*, 90, 347-356.
- Bray EA, Beachy RN (1985) Regulation by ABA of b-conglycinin expression in cultured developing soybean cotyledons. *Plant Physiol* 79:746–750.
- Cohen S, Moreschet S, Guillou LL, Simon JC, Cohen M (1997).
- Davies WJ, Zhang J (1991) Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *AnnuRev Plant Physiol Mol Biol* 42:55–76.
- DEME (2021). Caractériser les projets photovoltaïques sur terrains agricoles et l'agrivoltaïsme. Recueil de retours d'expériences et fiches techniques récapitulatives.
- Dinesh, Harshavardhan; Pearce, Joshua M. (2016). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 54: 299–308.
- Emiliano joined pv magazine in March 2017. He has been reporting on solar and renewable energy since 2009.
- Evans JR, Poorter H (2001) Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. *Plant Cell Environ* 24:755–767.
- Fales FW (1951) The assimilation and degradation of carbohydrates by yeast cells. *J Biol Chem* 193:113–124.
- Global energy demand rose by 2.3% in 2018, its fastest pace in the last decade, International Energy Agency, 2019.
- GOETZBERGER, A.; ZASTROW, A. (1982-01-01). "On the Coexistence of Solar-Energy Conversion and Plant Cultivation". *International Journal of Solar Energy*.
- Greenwald R, Bergin MH, Xu J, Cohan D, Hoogenboom G, Chameides WL (2006) The influence of aerosols on crop growth. *Plant Growth Regul* (2014) 72:113–122 121.
- Grison, C., Cases, L., Le Moigne, M., Hossaert-McKey, M. (2021). Photovoltaïsme, agriculture et écologie. De l'agrivoltaïsme à l'écovoltaiïsme.
- Houben, S.J.G., 2020. Current potato production in Algeria; An explorative research of the current

Les Références

potato production systems in two regions. Wageningen Research .

Intersolar Europe soutient pour la première fois la conférence internationale AgriVoltaics 2021 et souligne ainsi à quel point le sujet est pertinent. Cet événement en ligne aura lieu du 14 au 16 juin 2021 et s'adresse à tous ceux qui veulent explorer plus avant le monde du photovoltaïque agricole.

ITGC KhemisMiliana, 2007 .

Janzing, Bernward (2011). *Solare Zeiten*. Freiburg/Germany: BernwardJanzing. ISBN 978-3-9814265-0-2.

Jia SF, Li CF, Dong ST, Zhang JW (2011) Effects of shading at different stages after anthesis on maize grain weight and quality at cytology level. *Agric Sci China* 10:58–69.

Jiao DM, Li X (2001) Cultivar differences in photosynthetic tolerance to photooxidation and shading in rice (*Oryza sativa* L.). *Photosynthetica* 39:167–175.

Jump up to:^{a b} Dupraz, C.; Marrou, H.; Talbot, G.; Dufour, L.; Nogier, A.; Ferard, Y. (2011). "Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes". *Renewable Energy*.

Kano M, Takayanagi T, Harada K, Makino K, Ishikawa F (2005).

Ku SJ, Park JY, Ha SB, Kim J (2009) Overexpression of IAA1 with domain II mutation impairs cell elongation and cell division in inflorescences and leaves of *Arabidopsis*. *J Plant Physiol* 166: 548–553.

Lee SC, Luan S (2012) ABA signal transduction at the crossroad of biotic and abiotic stress responses. *Plant Cell Environ* 35:53–60.

Li HW, Jiang D, Wollenweber B, Dai TB, Cao WX (2010) Effects of shading on morphology, physiology and grain yield of winter wheat. *Eur J Agron* 33:267–275.

Marrou H., Dufour L., & Wery J. (2013). How does a shelter of solar panels influence water flows in a soil–crop system?. *European Journal of Agronomy*, 50, 38-51.

Matsui T, Ebuchi S, Kobayashi M, Fukui K, Sugita K, Terahara N, Matsumoto K (2002) Anti-hyperglycemic effect of diacylated anthocyanin derived from *Ipomoea batatas* L. cultivar Ayamurasaki can be achieved through the alpha-glucosidase inhibitory action. *Agric Food Chem* 50:7244–7248.

Les Références

- McGregor CE (2006) Differential expression and detection of transcripts in sweetpotato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) using cDNA microarrays. Dissertation, Louisiana State University, p 53
- Nakatani M, Komeichi M (1991) Changes in the endogenous level of zeatin riboside, abscisic acid and indole acetic acid during formation and thickening of tuberous roots in sweet potato. *Jpn J Crop Sci* 60:91–100.
- Movellan, Junko (10 October 2013). "Japan Next-Generation Farmers Cultivate Crops and Solar Energy". *renewableenergyworld.com*. Retrieved 2017-09-11.
- Nakatani M, Tanaka M, Yoshinaga M (2002) Physiological and anatomical characterization of a late-storage root-forming mutant of sweetpotato. *J Am Soc Hortic Sci* 127:178–183.
- Nedunchezian N, Kulandaivelu G (1991) Effect of enhanced radiation on ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase in leaves of *Vigna sinensis* L. *Photosynthetica* 25:231–435.
- Papers.Siegler, Kirk (2021-11-15). Retrieved 2021-11-15.
- Perrodon, A. 1957. Etude géologique des bassins néogènes sublittoraux de l'Algérie occidentale.
- production: a study using the CERES crop model. *Agric Syst*89:390–413.
- R. Brohm and N. Khanh, Dual-use approaches for solar energy and food production international experience and potentials for Viet Nam, 2018.
- Response of citrus trees to modified radiation regime in semi-arid conditions. *J Exp Bot* 48:35–44.
- Sahraoui, N. 2015. Étude de la coeherence entre la vulnérabilité a la pollution et la qualité des eaux souterraines : plaine de Kemis Miliana, Algerie. Master, DjelaliBounâama .
- SantanuDas. Evaluation of QualityParameters of SevenProcessing Type Potato (*Solanumtuberosum* L.) Cultivars in the EasternSub-Himalayan Plains.2021. *Foods*.
-
- Schindele, Stefan (2013). "Combining Pv And Food Crops ToAgrophotovoltaic–Optimization Of Orientation And Harvest", 13th IAEE European Conference.
- Senevirathna AM, Stirling CM, Rodrigo VH (2003) Growth, photosynthetic performance and shade adaptation of rubber (*Heveabrasiliensis*) grown in natural shade. *Tree Physiol* 23:705–712.
- Shi Y, Chen MX, Yu ZW, Xu ZZ (2011) Effect of shading at different phases of grain-filling on wheat grain protein components and processing quality. *Chin J Appl Ecol* 22:2504–2510.

Les Références

Sprtova M, Marek MV, Nedbal L, Prasil O, Kalina J (1999) Seasonal changes of photosynthetic assimilation of Norway spruce under the impact of enhanced UV-B radiation. *Plant Sci* 142:37–45.

Station de KhemisMiliana (ANRH 1981-2018).

Suda I, Oki T, Masuda M, Kobayashi M, Nishiba Y, Furuta S (2003) Physiological functionality of purple-fleshed sweetpotatoes containing anthocyanins and their utilization in foods. *Jpn Agric Res Q* 37:167–17.

T. Obergfell, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. BIOM-LAND Travelling Conference Hanoi, Fraunhofer Institute. Available at, 2016.

TROMMSDORFF, Maximillian (2016). The Constitutional Economics Network Working.

Valle B., Simonneau T., Sourd F., Pechier P., Hamard P., Frisson T., Ryckewaert M., Christophe A. (2017). Increasing the total productivity of a land by combining mobile photovoltaic panels and food crops. *Applied energy*, 206, 1495-1507.

Vanessa S. Schulz. Impact of Different Shading Levels on Growth, Yield and Quality of Potato (*Solanum tuberosum* L.). 2019. *Agronomy*.

www.colibrisolar.com/ L'agriculture et la production solaire en synergie pour un futur plus proche.