

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Blida -01- (ex : Saad Dahlab)



Faculté de la technologie

Département des énergie renouvelable

Thèse présentée pour l'obtention du diplôme de

MASTER 02 LMD

En

Photovoltaïque

Option : Energies Renouvelables en photovoltaïque

Présenté par

LOUAFI ROUSSILIA

**Dimensionnement photovoltaïque d'un système
d'irrigation par pivot de 50 ha de blé dur avec
pompage solaire à hassi fhel - meniaa**

Devant le jury :

- | | | | |
|--------------------|-----|-----------------|--------------|
| - Dr. Dj. LAFRI | MCB | U. Blida 01 | |
| Président | | | |
| - Dr. Med. BOUZAKI | MCB | U. Blida 01 | |
| Examineur | | | |
| - Mr .T. DOUMAZ | MAA | U. Blida 01 | Encadreur |
| - Dr. A.AMMARI | MCA | ENSH Blida -01- | Co-encadreur |

Année universitaire : 2024/2025

Dédicaces

Je dédie ce mémoire, modeste aboutissement d'un long parcours, à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à mon évolution personnelle, académique et humaine.

À **moi-même**, pour la patience, l'endurance et la persévérance face aux épreuves. Pour avoir cru, malgré les moments de fatigue et de doute, que ce rêve pouvait devenir réalité.

À **mes chers parents**, source intarissable d'amour, de sagesse et de sacrifices. Votre foi en moi a été mon moteur. Vos prières silencieuses, votre confiance et votre bienveillance ont éclairé mon chemin.

À **mes frères et sœurs**, pour vos mots d'encouragement, votre chaleur, vos sourires sincères, et surtout votre présence constante dans ma vie. Vous êtes mes piliers.

À **mes oncles, tantes, cousins, cousines** et tous les membres de ma famille, merci pour votre fierté, vos conseils et votre amour.

À **mes amis fidèles**, compagnons de route, pour vos éclats de rire, vos épaules offertes, vos discussions profondes et vos silences solidaires.

À **mes enseignants, encadreurs, et membres du jury**, pour la rigueur, l'inspiration, la transmission du savoir, et surtout pour avoir accepté de juger ce travail avec bienveillance.

Et enfin, à **toutes les personnes présentes aujourd'hui ou absentes, vivantes ou dans nos mémoires**, qui ont semé dans mon cœur une graine d'encouragement. Ce mémoire est aussi le vôtre.

Remerciements

Remerciements

Avant toute chose, je rends grâce à Dieu, Le Tout-Puissant, pour m'avoir accordé la force, la patience et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon encadrant, **[monsieur DOMAZ Toufik]**, pour sa disponibilité, ses conseils avisés, sa rigueur scientifique et son accompagnement constant tout au long de ce mémoire.

Mes sincères remerciements vont également à l'ensemble des enseignants du département **[ms lafri ms bouzaki ms ammari et ms hamid]** pour la qualité de leur enseignement et les valeurs qu'ils m'ont transmises au fil des années.

Je remercie également les professionnels, techniciens et agriculteurs qui m'ont fourni les données, les informations ou le soutien logistique nécessaire à la réalisation de ce travail sur le terrain.

Un merci tout particulier à mes parents, ma famille et mes amis pour leur encouragement indéfectible, leur patience et leur soutien moral précieux.

Enfin, à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire, recevez ici l'expression de ma reconnaissance la plus sincère.

ملخص

لتنشغيل أنظمة الري المحوري المركزي في المناطق شبه القاحلة، تتناول هذه المذكرة دمج أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية مع التركيز على زراعة القمح الصلب في منطقة المنيعية بالجزائر. لمعالجة تحديات توافر المياه وإمدادات الطاقة، يقترح المشروع حلاً مستداماً ومجدياً اقتصادياً عن طريق تصميم نظام كهروضوئي يتناسب مع احتياجات الري. تتضمن عملية التصميم تقييم احتياجات المحاصيل من المياه، والظروف المناخية المحلية، والإشعاع الشمسي المتاح، بالإضافة إلى الخصائص التقنية لنظام الري المحوري. تشير الحسابات الأولية إلى مساحة ري تبلغ 50 هكتاراً، ومعدل تدفق مطلوب يبلغ 260 مترًا قدره 35 مترًا، وقوة هيدروليكية تبلغ 24.79 (HMT) مكعبًا في الساعة، وارتفاع كلي كيلوات، وقوة كهربائية مستهلكة تبلغ 35.4 كيلوات، مما يستلزم محركًا ثلاثي الأطوار بقدرة 40 كيلوات. كما تسلط الدراسة الضوء على أهمية الاعتبارات الاقتصادية والبيئية لضمان استدامة المشروع على المدى الطويل.

الكلمات المفتاحية الري المحوري، الطاقة الشمسية، لوحة الشمسية، الضخ الشمسي، زراعة القمح، نظام كهروضوئي، الإشعاع الشمسي، منظم كهربائي، محول التيار الكهربائي.

Résumé

Cette mémoire traite de l'intégration des systèmes photovoltaïques (PV) pour l'alimentation des pivots d'irrigation centraux dans les zones semi-arides, en se concentrant sur la culture du blé dur à M'niaa, en Algérie. Face aux défis de la disponibilité en eau et de l'approvisionnement énergétique, le projet propose une solution durable et économiquement viable en dimensionnant un système PV adapté aux besoins d'irrigation. Le processus de dimensionnement inclut l'évaluation des besoins en eau des cultures, des conditions climatiques locales, de l'ensoleillement et des caractéristiques techniques du pivot. Les calculs préliminaires indiquent une surface à irriguer de 50 ha, un débit requis de 260 m³/h, une pression totale (HMT) de 35 m, une puissance hydraulique de 24.79 kW, et une puissance électrique absorbée de 35.4 kW, nécessitant un moteur triphasé de 40 kW. L'étude met également en évidence l'importance des considérations économiques et environnementales pour la viabilité à long terme du projet.

Les mots clé : irrigation par pivot , énergie solaire , panneau solaire , pompage solaire , culture de blé , système photovoltaïque , rayonnement solaire , régulateur électrique , onduleur .

Abstract:

This thesis focuses on the integration of photovoltaic (PV) systems for powering central pivot irrigation in semi-arid areas, specifically for durum wheat cultivation in Meniaa, Algeria. Addressing the challenges of water availability and energy supply, the project proposes a sustainable and economically viable solution by sizing a PV system tailored to irrigation needs. The sizing process includes evaluating crop water requirements, local climatic conditions, solar irradiance, and the technical characteristics of the pivot. Preliminary calculations indicate an irrigated area of 50 ha, a required flow rate of 260 m³/h, a total head (HMT) of 35 m, a hydraulic power of 24.79 kW, and an absorbed electrical power of 35.4 kW, necessitating a 40 kW three-phase motor. The study also highlights the importance of economic and environmental considerations for the long-term viability of the project.

Keyword : center pivot irrigation , solar energy , solar pumping , wheat cultivation , photovoltaic system , solar radiation , electrical regulator , inverter

Table de matière

Introduction général :	01
Chapitre I : Fondements des systèmes de pivot d'irrigation	
I.1.	03
Introduction	
I.2. L'agriculture en Algérie	04
I.3. L'importance de l'agriculture en Algérie	04
I.4. Problématique de l'énergie dans la zone agricole reculées	05
I.5. Intérêt du photovoltaïque pour l'irrigation	05
I.6. Objective d'étude	05
I.7. Méthodologie général	05
Chapitre II : l'agriculture de blé dur avec irrigation par pivot	
II.1.	
Introduction.....	
II.2. L'agriculture saharienne	08
II.3. Un nouveau pôle agricole en devenir.....	09
II.4. L'alimentation dans le Sahara algérienne	09
II.5. Aliment typique	09
II.6. L'ambition algérienne de souveraineté céréalière	09
II.7. Autosuffisance en blé dur	10
II.8. L'importance du blé dur	11
II.9. Les aliments a base de blé dur	12
II.10. L'agriculture de blé à EL-MENIAA	13
II.11. Développement de la culture du blé dur à El-Méniaa	13
II.12. Objectifs nationaux et soutien institutionnel.....	14

II .13. Conditions climatiques et techniques.....	14
II .14. Perspectives futures.....	14
II .15. Les types d'irrigations	15
II .15.1. Irrigation par gravitaire	15
II .15.2. Irrigation par goutte à goutte.....	16
II .15.3. Irrigation par aspersion	17
II .16. Technique d'irrigation	21
II .17. Comment choisir un pivot	21
II .18. Critère nécessaire à la conception	21
II .19. Critère de choix	22
II .20. Utilisation des appareils	22
II .21. Vérification	23
II .21.1. La dose	23
II .21.2 La pression de la culture	24
II .21.3 Le débit de la dernière travée	24
II .22. Diagnostique hydraulique	24

Chapitre III : la photovoltaïque

III Introduction	26
III .1. L'énergie solaire	26
III .2. L'énergie solaire photovoltaïque	27
III .3. L'énergie photovoltaïque	28
III .4. Gisement solaire en Algérie	30
Aucune entrée de table d'illustration n'a été trouvée. III .5. Le montage de modules photovoltaïques en série.....	33
III .6. Le montage de modules photovoltaïques en parallèle	34

III.7. Composants d'un système photovoltaïque.....	35
III.7.1. Le régulateur.....	36
III.7.2. Les batteries.....	37
III.7.3. Les convertisseurs.....	39
III.7.4 Les convertisseurs DC/DC.....	40
III.7.5. Les onduleurs DC/AC.....	40
III.7.6. Les câbles.....	41
III.7.7 Les récepteurs.....	42
III .8. Station de pompage solaire	45
III . 9. Pompe immergée.....	45
III .10. Généralités de la pompe en irrigation Pivotal	46

Chapitre IV : Etude de Terrain et Méthodologie de Recherche

IV Introduction	48
IV.1. Présentation de système	48
IV.2. La géomorphologie régionale	49
IV.3. Concentration de la zone	49
IV.3.1. La pluie	49
IV.3.2. Le vent	50
IV.4. Le système	50
IV.5. La durée d'irrigation	50
IV.6. Détermination le besoin d'eau	50
IV.7. Les conditions climatique d'El Meniaa.....	50
IV.8. Les paramètres à définir pour le dimensionnement	50

IV.9. La durée d'irrigation journalière	50
Chapitre V : dimensionnements analytique (les formulaires)	
V .	
Introduction	
V .1. Données fournies.....	52
V .2. Formules et dimensionnement du pivot.....	52
V .2.1. Superficie irrigable.....	52
V .2.2. Volume total.....	52
V .2.4. Volume requise	52
V .3. Puissance de pompage nécessaire.....	52
V .3.1. Débit.....	52
V .3.2. Hypothèse : hauteur manométrique totale (HMT)	52
V .3.3. La puissance hydraulique.....	53
V .4. Vitesse de rotation du pivot.....	53
V .5. Structure physique du pivot.....	53
V .6. Hydraulique.....	54
V .7. Énergie.....	54
V .8. Autres équipements.....	54
V .9. Les dimensionnent de pompe	54
V .10. Consommation quotidienne en énergie.....	55
V .11. Dimensionnement PV1	55
V .11.1. Puissance crête requise.....	55
V .11.2. Débit nécessaire (m³/h).....	55
V .11.3. Onduleur / Variateur de fréquence (VFD).....	55

V .11. 4. Stockage (facultatif).....	56
V .11. 5. Résumé du système PV pour le pivot.....	56
V .12. Conclusion.....	56
V .13. Vérification du volume du réservoir.....	57
V .13. 1. Fonction principale	57
V .13.2. Composants typique.....	57
V .14. Résumé du dimensionnement du réservoir.....	57
V .15. Caractéristiques recommandées de la pompe.....	57
V .16. Moteur électrique.....	58
V .17. Système PV2 – Pompe de forage (remplissage du réservoir).....	58
V .18. Données du problème	58
V .19. Calcul de la puissance de la pompe.....	59
V .20. Énergie journalière nécessaire.....	59
V .21. Dimensionnement du champ PV2	59
V .22. Moteur d'entraînement du pivot.....	59
V .23. Différences clés à retenir.....	60
V .24. Boîte de commande (armoie électrique).....	60
V .25. Conclusion finale.....	61

chapitre VI : dimensionnement PV_{sys}

VI .1. Première dimensionnement	65
VI .2. Le rapport	69
VI .2.1. Commentaires généraux sur le système simulé	73
VI .2.2. Caractéristiques du champ	74

photovoltaïque	
VI .3. Conclusion	74
technique	
VI .4. Discussion des résultats de simulation PV	81
syst.....	
VI .4.1. <i>Production d'eau et performance</i>	81
<i>globale</i>	
VI .4.2. <i>Efficacité et</i>	82
<i>pertes</i>	
VI .4.3. <i>Saisonnalité de</i>	82
<i>performance</i>	
VI .4.4. Utilisation de l'énergie.....	82
VI .5.	82
Conclusion.....	
VI.6. Discussion	87
VI.6.1. Présentation générale du	87
projet.....	
VI.6.2. Analyse des paramètres	88
système.....	
VI.6.3. Résultats	88
clés.....	
VI.6.4. Courbes de	88
performance.....	
VI .7.	89
Conclusion.....	

LISTE DES FIGURES

Figure 01	:	04
l'agriculture.....		
Figure 02	:	06
les composants d'un		
pivot		
Figure 03	:	12
le blé		
dur		
Figure 04 : vue aérienne des cultures de blé irrigues par pivot à El-		13
meniaa.....		

Figure 05	:	Plan d'eau naturel	une région	14
désertique.....				
Figure 06	:		irrigation	16
gravitaire				
Figure 07	:	irrigation	par goutte	16
goutte				
Figure 08	:		irrigation par	17
pivot.....				
Figure 09	:	les avantages	de l'énergie	27
solaire.....				
Figure			10 :	28
L'électricité photovoltaïque				
Figure 11	:	l'énergie	solaire en	30
Algérie				
Figure 12	:	Les différentes étapes du mode de fabrication des modules photovoltaïques à base de silicium cristallin.....		32
Figure 13	:	branchement	en	34
série				
Figure 14	:	branchement	en	35
parallèle.....				
Figure 15	:	la	photovoltaïque	36
agriculture.....				
Figure 16	:		système	37
photovoltaïque.....				
Figure 17	:	type	de	38
batterie.....				
Figure 18	:			39
convertisseur.....				
Figure 19	:		convertisseur	40
DC/DC.....				
Figure	20	:	onduleur	41

AC/DC.....				
Figure 21	:	récepteur	de	12 43
V.....				
Figure 22	:	représente	la	pompe 45
solaire.....				
Figure 23	:			pompe 46
immergée.....				
Figure 24	:	la	zone	de 49
meniaa.....				

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 : Performance des différentes technologies d'irrigation selon l'usage agricole ..	20
Tableau 02 : Ensoleillement annuel et énergie solaire moyenne reçue par région.....	31
Tableau 03 ; Caractéristiques comparées des panneaux solaires : Monocristallin, Poly cristallin et Couches minces.....	33
Tableau 04 : Analyse des options solaires : avec batterie sur réseau ou en autonomie.....	44
Tableau 05 : Paramètres de conception – Irrigation pivot pour blé dur.....	52
Tableau06 : Éléments de conception physique du système pivot	53
Tableau07 : éléments de conception hydraulique du système d'irrigation.....	54
Tableau 08 : Analyse des sources d'alimentation énergétique à EI	54

Meniaa.....	
Tableau 09 : Dispositifs complémentaires pour l'optimisation du système.....	54
Tableau 10 : Données de base pour le dimensionnement électrique de la pompe.....	55
Tableau 11 : Résumé du système photovoltaïque pour l'alimentation du pivot d'irrigation...	56
Tableau 12 : Caractéristiques du réservoir de stockage pour irrigation solaire	57
Tableau 13 : Caractéristiques recommandées de la pompe pour irrigation solaire avec stockage.....	57
Tableau 14 : Caractéristiques du moteur électrique pour pompage d'irrigation.....	58
Tableau 15 : Paramètres techniques du système d'irrigation avec stockage d'eau.....	58
Tableau 16 : Irrigation solaire : comparaison entre systèmes directs (PV1) et indirects (PV2)	60
Tableau 17 : Principales fonctions d'un outil de simulation pour systèmes photovoltaïques d'irrigation.....	64

Introduction générale

Introduction générale

L'agriculture occupe une place stratégique dans l'économie de l'Algérie, notamment dans les zones sahariennes où elle constitue un levier essentiel pour la sécurité alimentaire et le développement régional. Cependant, les contraintes liées à la rareté des ressources hydriques et à l'accès limité à l'énergie représentent des défis majeurs pour la viabilité et la modernisation des exploitations agricoles dans ces régions.

L'irrigation par pivot central, largement utilisée pour sa capacité à optimiser la répartition de l'eau, nécessite une alimentation énergétique stable et continue, souvent assurée par des sources fossiles coûteuses et polluantes. Face à ces enjeux, l'intégration de systèmes photovoltaïques dans les dispositifs d'irrigation constitue une alternative durable et économiquement rentable, en particulier dans des zones comme El Meniaa, bénéficiant d'un ensoleillement exceptionnel.

Ce travail s'inscrit dans cette perspective en proposant une étude de **dimensionnement d'un système photovoltaïque** destiné à alimenter une installation d'irrigation par pivot pour la culture du blé dur. Il vise à évaluer les besoins en eau et en énergie, à sélectionner les équipements adaptés et à analyser la rentabilité du système par rapport aux solutions classiques. En s'appuyant sur des données climatiques locales, des caractéristiques techniques du matériel et des expériences antérieures menées en Algérie, ce mémoire ambitionne de contribuer à la promotion d'une agriculture saharienne durable, autonome et résiliente.

CHAPITRE I :

FONDEMENTS DES SYSTEMES DE PIVOT D'IRRIGATION

I.1. Introduction :

L'agriculture constitue un secteur stratégique pour l'économie algérienne, notamment dans les zones semi-arides telles que M'niala, où la culture du blé dur est essentielle à la sécurité alimentaire nationale. Cependant, la disponibilité en eau et l'approvisionnement énergétique demeurent des défis majeurs pour les exploitations agricoles de cette région. L'irrigation par pivot central, bien que performante, nécessite une alimentation énergétique conséquente, souvent fournie par des sources non renouvelables.

Dans ce contexte, l'intégration de systèmes photovoltaïques (PV) pour alimenter ces pivots représente une solution durable et économiquement viable. Le dimensionnement adéquat d'un tel système repose sur une évaluation précise des besoins en eau de la culture, des conditions climatiques locales, de l'ensoleillement disponible, ainsi que des caractéristiques techniques du pivot. Il est également essentiel de prendre en compte les aspects économiques et environnementaux pour assurer la viabilité à long terme du projet.

Les systèmes d'irrigation à pivot sont un type de technologie d'irrigation utilisé dans l'agriculture pour distribuer l'eau aux cultures. Ces systèmes sont généralement constitués d'un long bras qui tourne autour d'un point central ou "pivot" et porte des arroseurs sur toute sa longueur. En tournant, le pivot distribue l'eau uniformément sur les cultures, garantissant qu'elles reçoivent la quantité d'humidité nécessaire à une croissance optimale. [1]

Plusieurs études académiques ont été menées sur ce sujet en Algérie, fournissant des méthodologies et des données précieuses pour le dimensionnement de systèmes photovoltaïques destinés à l'irrigation. Par exemple, une étude de l'Université de Blida a analysé les performances d'un générateur photovoltaïque alimentant un système d'irrigation à pivot central, mettant en évidence l'importance de l'optimisation du dimensionnement pour garantir une alimentation énergétique fiable et efficace.

Une autre recherche menée par l'Université d'El Oued a proposé un dimensionnement d'une station photovoltaïque pour les pivots, en tenant compte des besoins réels d'irrigation et des conditions locales, afin d'assurer une efficacité énergétique optimale. [2]

Ces travaux soulignent l'importance d'une approche intégrée et contextualisée pour le dimensionnement des systèmes photovoltaïques d'irrigation, prenant en considération les spécificités locales et les objectifs de durabilité.

Ce chapitre présente une vue d'ensemble des composants fondamentaux et des principes de fonctionnement des systèmes d'irrigation à pivot. Il commence par examiner les éléments structurels qui composent ces systèmes, notamment les

canalisations, l'unité centrale, les travées et les tours mobiles. Le chapitre se penche ensuite sur les principes de fonctionnement qui régissent la fonctionnalité de l'irrigation par pivot, en explorant la manière dont ces systèmes distribuent efficacement l'eau dans les champs agricoles.

I .2. Agriculture en Algérie

L'agriculture est un facteur important de l'économie de l'Algérie. Elle a généré, sans les industries agroalimentaires, plus de 12% du produit intérieur brut (PIB) en 2017, mais avec des variations importantes selon les années en fonction des conditions climatiques. Depuis les années 2000, l'agriculture est devenue l'une des priorités du gouvernement afin de diversifier son économie, encore dominée par la production pétrolière. Les principales productions végétales sont les céréales, largement majoritaires en surface, l'arboriculture, les cultures maraichères, notamment les pommes de terre, les agrumes et les fourrages. L'élevage occupe une place non négligeable, en particulier l'élevage ovin et l'aviculture. Les exportations, même si elles sont en augmentation, demeurent faibles. Elles concernent principalement le sucre réexporté après raffinage, eaux minérales et gazéifiées (y compris les boissons), pâtes alimentaires et couscous, dattes, vins, ainsi que certains produits agricoles comme la pomme de terre et toute sorte de produits maraichers (melon, pastèque, tomate, citron, fraise, poivron, aubergine, truffe...). Ses principaux clients sont la France, l'Allemagne, l'Espagne, la Russie, le Canada, les États-Unis, les Émirats arabes unis et le Qatar. [3]



Figure 01 : l'agriculture

I.3. L'importance de l'agriculture et de l'irrigation en Algérie

L'agriculture représente un pilier stratégique pour le développement économique et social de l'Algérie. Dans un contexte de diversification économique, la sécurité alimentaire et la valorisation des ressources naturelles sont devenues des priorités nationales. Cependant, l'agriculture algérienne est confrontée à plusieurs défis, notamment la rareté des ressources en

eau et la forte dépendance vis-à-vis des conditions climatiques. Dans les zones arides et semi-arides comme la wilaya de M'naâ, l'irrigation est indispensable pour assurer une production agricole stable, notamment pour les cultures céréalières telles que le blé, qui occupent une place centrale dans le régime alimentaire et les politiques agricoles du pays. [4]

I.4. Problématique de l'énergie dans les zones agricoles reculées

L'un des obstacles majeurs à l'extension des systèmes d'irrigation modernes en Algérie est l'accès à une source d'énergie fiable, notamment dans les zones rurales et isolées. Ces régions souffrent souvent d'un faible taux d'électrification ou d'une alimentation instable, rendant l'utilisation de pompes électriques difficile. L'alternative au diesel, bien qu'utilisée, reste coûteuse, polluante et dépendante des fluctuations du marché. Ainsi, l'enjeu énergétique devient un facteur limitant pour le développement agricole durable.

I.4. Intérêt du photovoltaïque pour l'irrigation

Face à ces contraintes, l'énergie solaire photovoltaïque apparaît comme une solution technique et économique prometteuse. L'Algérie bénéficie d'un des taux d'ensoleillement les plus élevés au monde, avec plus de 3000 heures de soleil par an dans certaines régions. Exploiter cette ressource naturelle permet de rendre les exploitations agricoles autonomes énergétiquement, tout en réduisant les coûts d'exploitation et l'impact environnemental. En particulier, l'irrigation photovoltaïque permet de coupler les besoins en eau et en énergie pendant la saison de croissance des cultures, optimisant ainsi la gestion des ressources. [5]

I.5. Objectifs de l'étude

L'objectif principal de cette étude est de dimensionner un système photovoltaïque destiné à alimenter une pompe d'irrigation par pivot pour la culture du blé dans la région de M'naâ. Plus précisément, il s'agit de :

- Déterminer les besoins hydriques de la culture de blé dans cette zone.
- Identifier la puissance nécessaire pour le pompage.
- Dimensionner un système photovoltaïque adapté aux conditions climatiques locales.
- Comparer les performances et les coûts de ce système avec ceux d'alternatives classiques.

I.5. Méthodologie générale

Pour atteindre ces objectifs, la méthodologie adoptée se décompose en plusieurs étapes :

1. **Collecte des données** : climat, rayonnement solaire, caractéristiques du sol, besoin en eau du blé dur, données du forage (profondeur, débit), etc.
 2. **Calcul des besoins hydriques et énergétiques** : estimation du volume d'eau requis et de la puissance électrique nécessaire pour le pompage.
 3. **Dimensionnement du système photovoltaïque** : choix des équipements (panneaux, pompe, convertisseur), calcul du nombre de modules, simulation de fonctionnement.
 4. **Étude technico-économique** : estimation des coûts, analyse de rentabilité et comparaison avec d'autres sources d'énergie.
- **Conclusion et recommandations** : évaluation de la faisabilité et des bénéfices du projet.

Les éléments structurels Au cours des trois dernières décennies, les machines à pivot central ont été assez bien perfectionnées. Elles sont mécaniquement fiables et simples à utiliser, bien que, comme toute machine, un entretien systématique de routine soit nécessaire [6]. Le système pivot d'irrigation est constitué par une canalisation de grande longueur, tournant autour d'un axe (point pivot) par lequel se fait l'arrivée d'eau et d'électricité. La canalisation est portée, de proche en proche, par des tours mobiles équipées

de roues, propulsées par des moteurs électriques. Les tours divisent l'appareil en travées rigidifiées par un système de triangulation et de tirants, la canalisation tenant lieu de poutre.

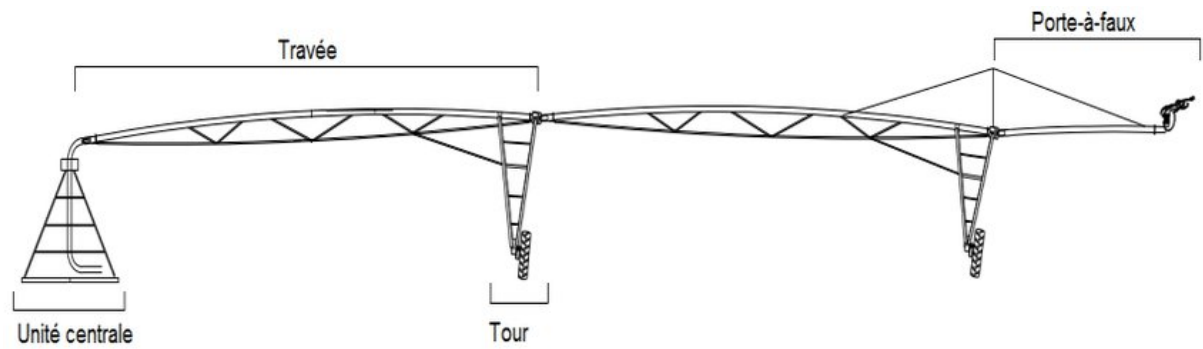


Figure 02 : les composants d'un pivot

CHAPITRE II :

L'AGRICULTURE DE BLE DUR AVEC IRRIGATION PAR PIVOT

II.1. L'agriculture saharienne :

L'Algérie transforme progressivement son Sahara en un véritable grenier agricole, développant des cultures stratégiques pour assurer sa sécurité alimentaire. Cette initiative ambitieuse vise à réduire la dépendance du pays aux importations et à créer de nouvelles opportunités économiques dans les régions désertiques. [7]

u-delà du fait qu'elle soit déjà considérée comme une priorité par le gouvernement, l'agriculture saharienne s'inscrit avant tout dans une dynamique de développement durable. Engager une politique agricole réfléchie et basée sur des connaissances scientifiques pour transformer radicalement le Sud algérien en véritable grenier de céréales ainsi que d'autres produits agricoles, dans le but d'entraîner toute une région, dont l'image est encore collée aux hydrocarbures et à un degré moindre au tourisme saharien toujours conçu à travers une vision exotique, dans une véritable « révolution » agricole, est une option stratégique. [8]

Depuis les années 1980, l'agriculture saharienne en Algérie connaît un essor remarquable grâce à l'utilisation de techniques d'irrigation modernes comme les rampes pivot. Ces systèmes permettent désormais de cultiver de vastes étendues désertiques, transformant le paysage agricole du pays.

Pour assurer la durabilité de cette agriculture, l'Algérie devra donc optimiser l'utilisation de l'eau et développer des techniques d'irrigation innovantes. Le pays dispose déjà d'un savoir-faire en matière de gestion de l'eau, notamment avec les barrages à infero-flux et les ouvrages

L'agriculture saharienne représente un enjeu stratégique majeur pour l'Algérie dans sa quête d'autonomie alimentaire. Les récentes initiatives gouvernementales, comme le Salon de l'Agriculture Algérienne qui met en avant les innovations en équipements agricoles, témoignent de cette volonté de modernisation du secteur

De plus, la mise en place d'un réseau national de chambres froides dans les exploitations agricoles devrait permettre d'améliorer la conservation et la distribution des produits, renforçant ainsi la chaîne de valeur agricole.

Malgré un environnement extrêmement aride, l'agriculture existe bel et bien dans le Sahara grâce à plusieurs facteurs :

Les oasis

- Ce sont des zones fertiles autour de sources d'eau souterraines (nappes phréatiques).
- Cultures principales : **palmiers-dattiers**, légumes (carottes, oignons), céréales (orge), et parfois du fourrage pour le bétail. [9]

L'Algérie transforme progressivement son Sahara en un véritable grenier agricole, développant des cultures stratégiques pour assurer sa sécurité alimentaire. Cette initiative ambitieuse vise à réduire la dépendance du pays aux importations et à créer de nouvelles opportunités économiques dans les régions désertiques.

II.2. Le Sahara algérien : un nouveau pôle agricole en devenir

Depuis les années 1980, l'agriculture saharienne en Algérie connaît un essor remarquable grâce à l'utilisation de techniques d'irrigation modernes comme les rampes pivot. Ces systèmes permettent désormais de cultiver de vastes étendues désertiques, transformant le paysage agricole du pays. [10]

II.2.1. L'alimentation dans le Sahara algérien

L'alimentation est influencée par :

- La **disponibilité locale des aliments**.
- Les **traditions culturelles**.
- L'approvisionnement depuis le nord du pays.

II.2.1.1 Aliments typiques :

- **Dattes** (aliment de base, riche en énergie).
- **Couscous, galettes de blé ou d'orge**.
- **Viande de mouton ou de chèvre**, souvent en ragoût (taguella, tajine).
- **Lait de chèvre, beurre, produits laitiers** traditionnels.
- Légumes cultivés localement ou importés des zones nordiques. [11]

II.3. La Céréaliculture en Algérie :

En Algérie, la culture des céréales occupe une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. La production des céréales jachère comprise ,occupe environ 80% de la superficie agricole utile (SAU) du pays . la superficie emblavée annuellement en céréales se situe entre 3 et 3.5 millions d'hectar ,les superficies annuellement récoltées représentent 63% des emblavures (Djermoun,2009) [12] .Aussi les importations des céréales représentent 43% des valeurs globales des importations du pays et le blé dur représente la majorité des importations (smadhi et zella ,2009) [13]

La production des céréales en Algérie présente une caractéristique fondamentale depuis l'indépendance à travers l'extrême variabilité du volume récolté .cette particularité témoigne d'une maîtrise insuffisante de cette culture et de l'indice des aléas climatique.

II.4. L'Ambition Algérienne de Souveraineté Céréalière.

Le président de la République, Abdelmadjid Tebboune, avait déclaré à la fin du mois de novembre que le pays visait à ne plus importer de blé dur dès 2025. « Cette

année, nous avons produit 80% de nos besoins en blé dur. Il reste 20% et nous sommes capables d'assurer notre autosuffisance en blé dur en 2025. J'ai donné des instructions au gouvernement d'essayer de ne pas importer même un quintal de blé dur », avait-il affirmé lors de la cérémonie marquant le cinquantenaire de l'Union nationale des paysans algériens (UNPA). [14]

Dans ses prévisions sur la filière céréales en Algérie en octobre 2024, le département américain de l'agriculture (USDA) a indiqué qu'au cours de la campagne de commercialisation 2023/24, l'Algérie a importé plus de 2,64 millions de tonnes métriques de blé dur, avec le Canada comme le principal fournisseur de blé dur de l'Algérie, ayant assuré, au cours des six dernières années, 32 % des importations de blé dur du pays. Les autres fournisseurs de l'Algérie sont le Mexique, les Etats-Unis et des pays de l'Union européenne. L'Algérie a importé en moyenne 1,56 millions de tonnes métriques de blé dur au cours des six dernières années, selon l'USDA, qui a noté une hausse des importations algérienne de blé dur ces dernières années. [15]

« Les importations de blé dur (de l'Algérie, ndlr) augmentent généralement lorsque les cultures nationales sont touchées par la sécheresse », explique l'USDA, qui cite l'exemple des importations de blé dur qui ont augmenté pendant les campagnes de commercialisation 2022/23 et 2023/24, car la récolte a été très mauvaise en raison des années de sécheresse qui en ont résulté. La même source estime que « les importations de blé dur diminueraient si la récolte était meilleure que la moyenne. » [16]

Le département américain prévoit que *« les importations de blé dur pourraient diminuer après 2025 si l'Algérie accumule des stocks de blé dur plus importants, en particulier compte tenu du rythme soutenu des importations et de la décision du gouvernement d'étendre les installations de stockage »*. Cependant, l'USDA ne prévoit pas que les importations algériennes de blé dur cesseront complètement au cours des prochaines saisons, et ce, même si tous les facteurs s'alignent parfaitement.

En général, le blé tendre constitue 75 à 80 % des importations totales de l'Algérie, tandis que le blé dur représente 20 à 25 %. L'USDA prévoit que les importations de blé de l'Algérie pour la campagne de commercialisation 2024/25 atteindront 9 millions de tonnes métriques, après avoir importé 9,4 millions de tonnes métriques pour la campagne précédente. Malgré une amélioration des conditions de culture, les niveaux d'importation devraient rester élevés. Cela s'explique par le fait que l'Algérie ne couvre pas entièrement sa demande intérieure et accumule des stocks pour compenser les déficits de production causés par une récolte précédente moins bonne. [17]

II.5. Autosuffisance en Blé Dur

L'exposé du ministre souligne que *« l'Algérie a assuré 1,2 milliard de dollars au profit du Trésor, du fait de la production abondante de blé dur réalisée cette année, laquelle a permis à l'Algérie de se rapprocher de l'autosuffisance totale »*, indique le communiqué du Conseil des ministres.

A l'issue de la présentation, le Président Tebboune a ordonné « de fixer un objectif stratégique, à même d'augmenter les surfaces cultivées dans notre grand Sud à 500.000 hectares, notamment avec l'investissement de l'Etat frère du Qatar sur 117.000 hectares et celui de l'Italie sur 36.000 hectares, outre les investissements nationaux sur 120.000 hectares. »

L'Algérie, à travers l'Office algérien des céréales (OAIC), a réalisé un nouvel achat de blé dur. Selon des négociants cités par l'agence Reuters, l'appel d'offres international lancé par l'OAIC a été finalisé mercredi 18 décembre. [18]

La quantité acquise serait comprise entre 350 000 et 400 000 tonnes, avec une possibilité d'atteindre 500 000 tonnes. Les prix seraient estimés entre 340 et 352 dollars par tonne. Ce blé devrait être livré en quatre périodes au cours des mois de mars et avril 2025. Les origines possibles de cette cargaison incluent le Canada, les États-Unis et l'Australie. Le dernier achat de blé dur par l'Algérie remonte au 21 novembre, selon la même source[19]

II.6. L'importance du blé dur

Le **blé dur** (*Triticum durum*) est l'une des principales céréales cultivées dans le monde, et il joue un rôle stratégique en Algérie, tant sur le plan **alimentaire qu'économique**.

1. **Valeur nutritionnelle** :
Le blé dur est riche en **protéines** (notamment en gluten), en **glucides complexes**, en **fibres**, en **vitamines B** et en **minéraux** comme le magnésium, le zinc et le fer. Il fournit une énergie durable et est essentiel dans l'alimentation quotidienne. [20]
2. **Rôle stratégique en sécurité alimentaire** :
En Algérie, le blé dur est **une denrée de base**, utilisée dans de nombreux aliments traditionnels. La production nationale de blé dur est un facteur clé pour **réduire la dépendance aux importations** et **assurer la souveraineté alimentaire**. [21]
3. **Atout économique** :
Une bonne récolte de blé dur permet de **réduire les dépenses publiques liées aux importations**, d'équilibrer la balance commerciale et de générer des **revenus pour les agriculteurs**. En 2024, une récolte abondante a permis à l'Algérie d'économiser 1,2 milliard de dollars. [22]



Figure 03 : le blé dur

II.6.1 Les aliments à base de blé dur

Le blé dur est principalement utilisé pour la **transformation alimentaire**. Voici les produits essentiels issus de cette céréale :

1. **Semoule** :
 - Ingrédient de base pour le **couscous**, plat traditionnel algérienne .
 - Utilisée pour préparer des **galettes**, **pâtes fraîches** et **pains traditionnels** (comme le khobz eddar).
2. **Pâtes alimentaires** :
 - Le blé dur est la base de la **pâte sèche** (macaroni, spaghetti, tagliatelle).
 - Sa haute teneur en gluten permet une bonne tenue à la cuisson.
3. **Frike (blé vert concassé)** :
 - Préparé à partir de blé dur récolté encore vert, puis séché et concassé. Il est utilisé dans la **chorba frik**, soupe traditionnelle algérienne.
4. **Boulgour** :
 - Blé dur précuit et concassé, utilisé dans les salades (comme le taboulé) ou comme accompagnement. [23]

Le blé dur est **fondamental dans l'alimentation algérienne et méditerranéenne**, tant pour sa valeur nutritive que pour ses multiples usages culinaires. Sa production est également un enjeu économique majeur pour le pays, dans le cadre des politiques de réduction des importations et d'atteinte de l'autosuffisance alimentaire.



Figure 04 : vue aérienne des cultures de blé irrigues par pivot à El-meniala

II.7. L'agriculture de blé à EL- MENIAA :

Les intervenants, agronomes et experts en agriculture, ont mis en avant la nécessaire conjugaison des efforts pour le développement des cultures stratégiques en régions sahariennes, notamment l'exploitation optimale des périmètres agricoles et de la ressource hydrique en utilisant les moyens technologiques modernes. [24]

Les participants ont également appelé à une meilleure exploitation, dans le cadre du développement de l'agronomie saharienne, des étendues arables disponibles dans les Sud, au regard des potentialités hydro-édaphiques existantes, des conditions favorables au développement de la céréaliculture, dont le blé, le maïs et les cultures fourragères, usant d'outils technologiques modernes dans le but d'atteindre les objectifs fixés par les pouvoirs publics d'atteindre l'autosuffisance et la réduction de la facture d'importation.

II.7.1 Développement de la culture du blé dur à El-Méniaa

Un partenariat algéro-saoudien a permis la mise en place d'un projet agricole ambitieux à El-Méniaa, dans la commune de Hassi El-Gara, couvrant une superficie de 5 000 hectares. Ce projet inclut la culture de blé dur sur 800 hectares, en plus de cultures fourragères et de dattes. L'objectif est de produire entre 125 000 et 150 000 quintaux de semences de blé dur et tendre, contribuant ainsi à renforcer la production céréalière locale. [25]

II.7.2 Objectifs nationaux et soutien institutionnel

L'Algérie vise l'autosuffisance en blé dur d'ici 2027, avec des objectifs spécifiques pour 2025. Le ministre de l'Agriculture a annoncé que 1,6 million d'hectares seront consacrés à la culture du blé dur lors de la campagne 2024-2025, représentant 55% de la superficie totale dédiée aux céréales. Cette initiative s'inscrit dans le cadre du Plan national de développement des cultures stratégiques, visant à réduire les importations et à assurer la sécurité alimentaire du pays [26].

II.7.3 Conditions climatiques et techniques

Le climat semi-aride d'El-Méniaa, avec une pluviométrie annuelle entre 400 et 600 mm, est favorable à la culture du blé dur. Les sols limono-argileux, profonds et bien drainés, sont adaptés à cette culture. Des techniques d'irrigation modernes, telles que les pivots et l'irrigation goutte-à-goutte, sont mises en œuvre pour optimiser l'utilisation de l'eau et améliorer les rendements [27]

II.7.4 Perspectives futures

Le succès de ces initiatives à El-Méniaa pourrait servir de modèle pour d'autres régions du sud algérien, favorisant la diversification des cultures et le développement agricole durable. Les investissements dans l'infrastructure d'irrigation et de stockage, ainsi que la formation des agriculteurs, sont essentiels pour atteindre les objectifs d'autosuffisance en blé dur et renforcer la résilience du secteur agricole face aux défis climatiques. [28]



Figure 05 : Plan d'eau naturel une région désertique

II.8. Irrigation :

L'irrigation : est l'opération qui consiste à amener l'eau sur une terre à irriguer afin de compenser le déficit pluviométrique qui risque d'affecter les cultures en places. Les moyens et les méthodes utilisées pour l'irrigation définissent la technique d'irrigation. Cette dernière implique les moyens de transports de l'eau et de comptage et de sa répartition au niveau de la parcelle. -Le réseau de transport de l'eau se compose des conduites et des canaux au permettent de ramener de l'eau du point de mobilisation de celle-ci jusqu'à la parcelle. -Le comptage de l'eau se fait à l'aide de plusieurs appareils compteur volumétrique, décimétrique, manomètre...etc). -La distribution de l'eau au niveau de la parcelle peut se faire selon plusieurs procédés appelés techniques d'irrigation. est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production, et permettre leur développement normal en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe, en particulier dans les zones arides. [29]

II.9. Les types d'irrigation :

II.9.1. Irrigation gravitaire (ou de surface) :

Les irrigations de surface recouvrent l'ensemble des techniques d'irrigation où l'eau disponible en tête de parcelle est répartie sur le terrain à irriguer par un écoulement gravitaire de surface ne nécessitant qu'un aménagement adéquat du sol. On classifie généralement les différentes

techniques d'irrigation de surface en trois groupes principaux : irrigations par submersion (inondation), irrigations par ruissellement (déversement), irrigations par rigoles d'infiltration. [30]

L'écoulement de l'eau se fait selon la pente naturelle du sol. S'il peut être fait appel à des ouvrages de type siphon, aucune force extérieure n'est utilisée pour amener l'eau aux endroits désirés. On retrouve là les techniques les plus anciennement mises en œuvre, sur l'ensemble de la planète, qu'il s'agisse de ruissellement ou de submersion (ou d'une combinaison de ces deux principes)



Figure 06 : irrigation gravitaire

II.9.2. Irrigation goutte à goutte (ou localisée)

L'irrigation au goutte à goutte consiste à amener l'eau sous pression dans un système de canalisations, généralement en PEHD ; cette eau est ensuite distribuée en gouttes au champ par un grand nombre de goutteurs répartis tout le long des rangées des plantations. La zone humidifiée du sol est celle située au voisinage immédiat des racines des plantes.

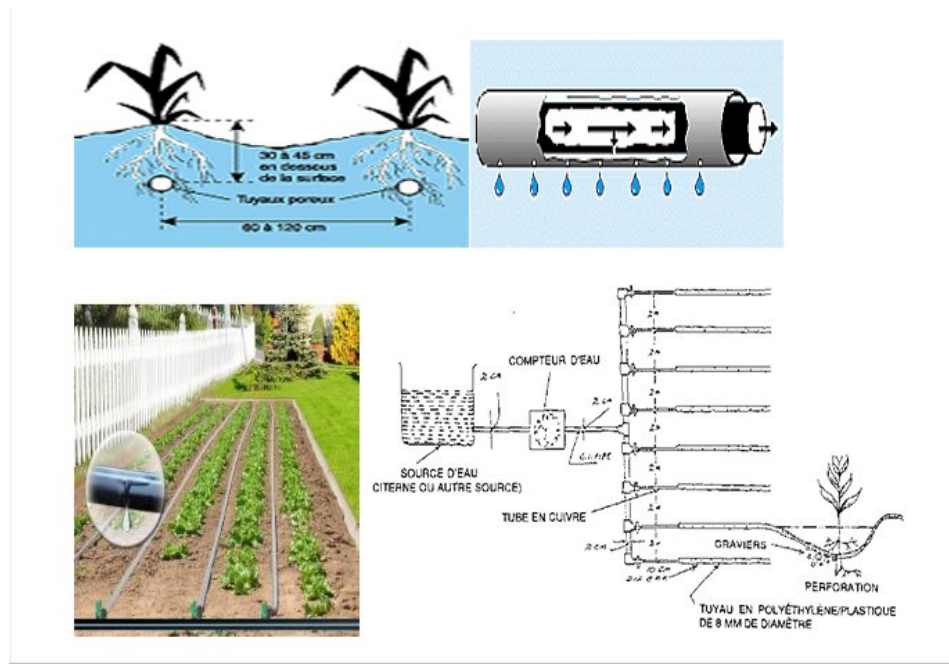


Figure 07 : irrigation par goutte a goutte

II.9.3 Irrigation par aspersion

Une **irrigation par aspersion** consiste en un système d'irrigation dans lequel l'eau est distribuée sous forme de pluie, simulant une précipitation, éventuellement de bruine. L'aspersion est une forme de pulvérisation.

Si vous utilisez des arroseurs pour l'arrosage de votre pelouse ou votre jardin, vous utilisez l'irrigation par aspersion. C'est un style d'arrosage qui imite la ! pluie. [32]

Fonctionnement des asperseurs :

- Les asperseurs sont conçus pour pulvériser l'eau selon un motif spécifique, qui peut être circulaire, rectangulaire ou irrégulier, selon le type d'asperseur et la configuration du système.
- Certains asperseurs ont des buses réglables qui permettent de contrôler la distance et la direction du jet d'eau.



Figure 08 : irrigation par pivot

L'irrigation par aspersion est également connue sous le nom d'irrigation par aspersion. Il existe différentes options pour ce style de système. Les plus courants sont :

- Utiliser un tuyau d'arrosage pour arroser la zone à arroser. Cela demande évidemment beaucoup de travail si vous avez un grand jardin.
- Les systèmes d'arrosage sont une autre option pour arroser de plus grandes surfaces sans nécessiter autant de travail de votre part.
- Les systèmes à pivot central sont utilisés dans les grandes installations agricoles. Ils ont un cadre métallique sur roues qui est alimenté par un moteur. L'engin est déplacé autour du champ pour arroser les cultures via un grand arroseur au centre qui pulvérise de l'eau d'un côté à l'autre.
- L'irrigation par déplacement latéral est un système d'arrosage à grande échelle qui déplace l'eau via un énorme arroseur autour d'un champ de forme rectangulaire en ligne droite. [33]

Ce sont toutes des options valables pour un système d'irrigation par pulvérisation ou par aspersion.

Que vous choisissiez un grand système d'irrigation par pulvérisation ou un système plus petit, ils fonctionnent tous essentiellement de la même manière.

L'irrigation par aspersion applique de l'eau comme la pluie sur la zone désignée. L'eau coulera à travers un tuyau ou un tuyau à partir de la source d'eau. La plupart utilisent un robinet, mais si vous avez une source d'eau plus grande, il peut être nécessaire d'utiliser une pompe pour acheminer l'eau vers le tuyau ou le tuyau et à travers celui-ci.

Une fois que l'eau dans le tuyau atteint l'arroseur, l'écoulement de l'eau sera interrompu par l'action mécanique de l'arroseur.

Cette action mécanique non seulement décompose l'eau en gouttelettes, mais la force également dans l'air où la gravité fera son travail et ramènera les gouttelettes vers les plantes et le sol entourant les plantes. [34]

Les systèmes d'arrosage sont évidemment l'un des choix les plus courants pour un système d'irrigation par pulvérisation. Pourtant, il existe plusieurs options pour une configuration de gicleurs :

- Les gicleurs aériens tournent d'avant en arrière et forment un arc d'eau. Selon la pression dans le tuyau, ils peuvent arroser une zone importante mais doivent être déplacés dans la cour au besoin. Ce style d'arroseur convient bien pour arroser les petites cours ou peut être jumelé pour arroser de plus grandes pelouses et de plus grands jardins.
- Les arroseurs à rotor sont les systèmes d'arrosage où ils peuvent soit sortir du sol, soit s'asseoir sur le sol. Ils tournent en cercle pour arroser une grande surface. Ils doivent être conçus de manière adéquate pour être efficaces, mais ils constituent une option peu coûteuse pour l'arrosage. S'ils sont conçus et configurés correctement, ils permettent un arrosage sans effort lorsqu'ils sont couplés à un contrôleur d'arrosage.
- Les arroseurs brumisateurs décomposent l'eau à un point où elle produit plus de brouillard. C'est une excellente option si vous êtes préoccupé par l'eau qui bat vos plantes et que vous aimez le doux brouillard de ce système d'arrosage respectueux des plantes.
- Les systèmes de gicleurs à jet évacuent l'eau avec plus de force que certaines des autres options mentionnées précédemment. Ce serait une excellente option si vous devez arroser de grandes surfaces. Cela fonctionnerait bien pour les grands aménagements de jardin ou pour les grandes cours.

II.10. Matériel d'irrigation

On peut distinguer deux catégories de matériels ou d'installations nécessaire à l'irrigation :

- ceux servant à amener l'eau depuis les sources disponibles (cours d'eau, lacs ou retenues, nappe phréatique) ;
- ceux servant à l'irrigation proprement dite, c'est-à-dire à distribuer l'eau aux plantes.

Dans la première catégorie, on trouvera : forage, pompes, réseaux d'irrigations, canaux, norias...

Dans la seconde : asperseurs, canons d'arrosage, arroseurs automoteurs, goutteurs...

Dans les régions arides, on utilise un système d'irrigation à pivot central pour irriguer les cultures. [35]

Ce tableau permet de comparer facilement les principaux types d'irrigation

Tableau 01 : Performance des différentes technologies d'irrigation selon l'usage agricole

Type d'irrigation	Surface	Asperseur	Goutte a goutte entrée	Goutte à goutte	Pivot central
Convient pour	Terrains	Aménagemen	Horticulture,	Horticulture,	Agricultur

	plats, diverses cultures	ts paysagers, cultures diverses	agriculture à grande échelle, aménagement paysager	agriculture à grande échelle, aménagement paysager	e à grande échelle
Efficacité de l'eau	Modérée	Modérée à élevée	Très élevée	Très élevée	Élevée
Coût d'installation initial	Faible	Modéré	Très élevée	Très élevée	Élevée
Coût d'exploitation	Faible	Modéré	Faibles	Faibles	Modérée
Gestion des nutriments	Précision faible	Précision modérée	Précision élevée	Précision très élevée	Précision élevée
Adaptabilité à différents	Limitée	Modérée	Limitée	Élevée	Élevée
Potentiel d'automatisation	Faible	Modéré	Élevée	Élevée	Élevée
Exigences d'entretien	Modérées	Modérées	Faibles	Modérées	Modérées

Comme nous l'avons vu, il existe une vaste gamme d'options d'irrigation sur le marché. Il est très important de comprendre toutes les possibilités avant de prendre une décision.

Chaque solution d'irrigation présente des avantages et des inconvénients, comme toute autre chose dans ce monde. Il est primordial de les comprendre tous et de voir lesquels sont pertinents et dans quelle mesure. C'est la seule façon de prendre une décision sensée.

Quel que soit le type de sol, n'importe où, n'importe quand, nous sommes là pour vous conseiller et vous proposer ce dont vous avez vraiment besoin pour tirer le meilleur parti de votre investissement. [36]

II.10.1. Durée de l'irrigation :

- Le temps d'irrigation est défini en fonction des besoins en eau des cultures ou du paysage, ainsi que des conditions climatiques locales.
- Le temps d'irrigation est surveillé pour éviter le sur-arrosage, ce qui pourrait entraîner une saturation du sol et des pertes d'eau par ruissellement. [37]

II.10.2. Détermination des besoins en eau

- Les besoins en eau des plantes dépendent de plusieurs facteurs, intrinsèques ou extrinsèques à la culture : nature des plantes cultivées

(espèce, variété), stade de végétation, nature et état d'humidité du sol, données climatiques (précipitations, insolation, vent...).

- Il convient de tenir compte des réserves en eau du sol, de l'évaporation au niveau du sol, de la transpiration des plantes, de l'évapotranspiration qui cumule les deux phénomènes. [38]

II.11. Techniques d'irrigation

Le choix de système d'irrigation doit reposer sur des critères objectivement choisis. à savoir les caractéristiques du sol, l'étendue de la surface et la topographie, la ressource en l'eau en quantité et qualité, le type de culture et le coût d'irrigation en pluvial [40]

On peut distinguer plusieurs techniques d'irrigation :

- Manuelle (arrosoir, seau...), réservée aux très petites surfaces ;
- par écoulement de surface, sous le simple effet de la gravité, au moyen de canaux et rigoles ;
- Par aspersion, technique qui consiste à reproduire la pluie ;
- Par goutte à goutte, pour une irrigation de précision, ou micro-irrigation, destinée à économiser l'eau ;
- Par infiltration, au moyen de tuyaux filtrants enterrés, variante de la technique de la goutte à goutte ;
- Par inondation ou submersion (c'est la technique appliquée dans les rizières).
- par application d'une gestion globale de l'eau grâce à une répartition systématique des excédents d'eau et leur réinfiltration profonde au moyen de bief.

II.12. Comment choisir et utiliser un pivot

L'**irrigation par pivot** (ou **pivot central**) est un **système d'irrigation mécanisé** qui consiste en une longue rampe métallique montée sur des roues, qui tourne autour d'un **point central fixe** (le pivot), en décrivant un cercle. De l'eau est pompée et distribuée le long de cette rampe à travers des **asperseurs**, arrosant ainsi uniformément la parcelle agricole. [40]

II.12.1. Critères nécessaires à la conception.

La dose journalière à apporter (mm/jour) détermine le débit d'équipement. Cette dose est fonction de la capacité de stockage en eau du sol et de sa perméabilité ainsi que des besoins en eau de la culture et des éventuelles pluies durant la campagne. Sur une installation existante, la connaissance de la pression et du débit de la pompe dimensionne l'appareil et le type d'asperseurs. La portée des asperseurs détermine l'intensité de la pluviométrie. [41]

II.12.1.1. Critères de choix.

- Choix des asperseurs en fonction de la pression disponible : les asperseurs de pivot doivent être à angle bas et fonctionner dans la plage de pression pour laquelle ils ont été conçus (voir le tableau ci-dessous).
- Sensibilité de l'arrosage au vent : l'arrosage est d'autant plus sensible au vent que les gouttes produites sont petites (notamment en cas de pression élevée et hauteur importante par rapport au sol).
- Intensité de l'arrosage : l'intensité est d'autant plus élevée que la portée des arroseurs est faible. Combinée avec la taille des gouttes, elle est directement responsable des dégradations de la surface du sol si elle n'est pas adaptée au type de sol : risque de battance et de ruissellement induits.
- Remarques : les régulateurs de pression montés sur les arroseurs sont souvent nécessaires en zone accidentée. Les fabricants doivent respecter les normes européennes en vigueur.

II.13. Utilisation des appareils

Dès le début de la campagne

- Purger l'installation.
- Vérifier : le bon fonctionnement des asperseurs (rotation, obstruction) et le réglage du canon d'extrémité (portée et angle d'arrosage précisés dans le plan de usage).

Le canon d'extrémité peut couvrir jusqu'à 25 % de la surface irriguée selon la taille de l'appareil.

Sa pression permet d'assurer une portée efficace, en général les $\frac{3}{4}$ de la portée réelle. Du réglage de l'angle du secteur dépend l'uniformité d'arrosage à l'extrémité.

- Vérifier avec un manomètre amovible les pressions d'entrée et d'extrémité. Ces pressions doivent être conformes à celles indiquées dans le plan de usage (ne pas laisser le manomètre branché en permanence sur l'installation). [42]
- Vérifier l'alignement des travées (entre elles).

En cours de campagne

Un usage et les asperseurs ont une durée de vie moyenne de 5 à 10 ans.

- Vérifier les pressions d'entrée et d'extrémité. Si les pressions sont différentes de celles prescrites, le débit est différent et donc la dose ainsi que la distribution de l'eau sont mauvaises. Ces mesures doivent être réalisées régulièrement et sont impératives en cas de changement d'usage.
- Vérifier le bon fonctionnement des asperseurs et du canon d'extrémité (rotation, obstruction, dispositif coupe, canon).

- Calculer la dose apportée. Elle peut être calculée par la relation suivante :

$$D = Q \times 2\pi \times R$$

$$S = V \times 10$$

Q : Débit à l'entrée de l'appareil en m³/h

S : Surface arrosée (ha)

V : Vitesse moyenne d'avancement de la dernière tour (m/h)

R : Distance entre l'axe de rotation du pivot et la dernière roue (m)

$$\pi = 3.1416$$

Dans le cas d'un appareil fonctionnant en secteur, corriger S et R sans oublier le temps nécessaire au retour de la rampe. Pour un canon à fonctionnement intermittent, corriger seulement S.

En fin de campagne

- Graisser les transmissions.
- Gonfler les pneus pour éviter les pliures.
- Protéger les installations électriques.

Une rampe d'irrigation performante, c'est une dose adaptée. Elle doit tenir compte du sol (stockage, perméabilité) et de l'intensité pluviométrique de l'arrosage, et permettre de satisfaire les besoins de la culture durant les périodes de pointe.

II.13.1. Vérifier la dose d'irrigation.

Cette vérification peut se faire au moyen de récipients placés sous chaque travée à une distance identique par rapport à chaque tour (exemple 15 m). Ce test peut être fait en plusieurs fois. Si le résultat des mesures montre une différence d'apport de plus de 10%, un diagnostic complet s'avère nécessaire.

Une erreur de variation de dose de 10 +% peut entraîner jusqu'à 20 % de perte de rendement dans les sols légers type sables. Si le sous-dosage d'une travée se traduit par des tours d'eau supplémentaires, on a alors un surdosage sur le reste de la parcelle et donc un gaspillage d'eau. [43]

II.13.2. Vérifier la pression de la dernière travée.

Un piquage sur le dernier asperseur permet facilement cette vérification. Si une différence avec la pression indiquée sur le plan de usage est constatée, vérifier la pression en tête puis la station de pompage. [44]

En cas de variation de pression importante entre l'entrée du pivot et son extrémité, il est conseillé de vidanger l'appareil pour s'assurer qu'il n'est pas colmaté. Si le problème persiste, il faudra changer l'usage.

II.13.3. Vérifier le débit de l'installation.

Cette vérification peut être faite par jaugeage de la bêche de reprise, ou après l'utilisation d'un compteur volumétrique. Une mesure par débitmètre à ultrason est réalisée lors du diagnostic complet de l'appareil. [45]

II.13.4. Réaliser un diagnostic hydraulique.

Il permet la vérification du débit entrant dans l'appareil, de la pression en tête puis en extrémité. Si des écarts sont constatés par rapport aux prescriptions du fabricant, il y a recherche de la cause et possibilité de faire une étude d'un nouveau plan de usage adapté aux caractéristiques hydrauliques relevées sur le terrain. [46]

CHAPITRE III : ENERGIE RENOUVELABLE -LA PHOTOVOLTAÏQUE-

III Introduction

Face aux enjeux environnementaux et énergétiques croissants, l'humanité se tourne de plus en plus vers les sources d'énergies renouvelables, propres et durables. Parmi elles, l'énergie solaire occupe une place prépondérante en raison de son immense potentiel, de sa disponibilité quasi illimitée et de son faible impact environnemental.

L'énergie solaire peut être exploitée de deux manières principales : thermique (utilisation de la chaleur du soleil) et photovoltaïque (conversion de la lumière en électricité). La technologie photovoltaïque, en particulier, repose sur l'effet photoélectrique, découvert au XIXe siècle, qui permet aux cellules solaires de transformer directement le rayonnement solaire en courant électrique continu.

Le développement des systèmes photovoltaïques a connu un essor considérable ces dernières décennies, en particulier dans les régions ensoleillées comme le Sahara algérien, où l'ensoleillement dépasse souvent 3 000 heures par an. Cette abondance énergétique naturelle constitue une opportunité stratégique pour répondre aux besoins croissants en énergie, notamment dans les secteurs agricoles, comme l'irrigation solaire, qui permet de réduire la dépendance aux énergies fossiles et d'assurer une autonomie énergétique durable.

III.1. L'ENERGIE SOLAIRE :

L'énergie solaire est généralement utilisée selon deux technologies différentes :

- Une basée sur la production d'électricité : C'est de l'énergie solaire photovoltaïque.
- Et l'autre produit des calories : c'est l'énergie solaire thermique [47]



Figure 09 : les avantages de l'énergie solaire

III.2. L'ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE :

L'énergie solaire ou photovoltaïque est une énergie qui convertit directement le rayonnement solaire en électricité. Pour ce faire, nous utilisons des modules photovoltaïques. Ces derniers sont constitués de cellules ou cellules solaires connectées en série et/ou en parallèle. [46]



Figure 10 : L'électricité photovoltaïque

L'électricité photovoltaïque est une technologie remarquable qui transforme le rayonnement lumineux en électricité. L'effet photovoltaïque a été découvert en 1839 par le physicien français Alexandre-Edmond Becquerel. Cette filière s'est ensuite développée par la nécessité d'approvisionner en électricité solaire les satellites.

III.3. L'énergie photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque est obtenue directement à partir du rayonnement du soleil. Les panneaux photovoltaïques composés des cellules photovoltaïques à base de silicium ont la capacité de transformer les photons en électrons. L'énergie sous forme de courant continu est ainsi directement utilisable. Les panneaux solaires actuels sont relativement onéreux à la fabrication malgré la première peu coûteuse et abondante (silice) car une énergie significative est nécessaire à la production des cellules. Cependant, de nets progrès ont été faits à ce sujet et on considère aujourd'hui qu'il suffit de 3 à 5 ans pour qu'un panneau produise l'énergie que sa construction a nécessitée. Un autre inconvénient est celui de la pollution à la production qui est due à la technologie utilisée. Des progrès technologiques sont en cours pour rendre l'énergie photovoltaïque plus compétitive. En raison des caractéristiques électriques fortement non linéaires des cellules et de leurs associations, le rendement des systèmes photovoltaïque peut être augmenté par les solutions utilisation les techniques de recherche du point de puissance maximale.

[47] Cette dernière caractéristique est assez commune avec la production d'énergie éolienne. Les panneaux solaires sont très pratiques d'utilisation. L'intégration dans le bâtiment est facile et devient même esthétique. Pour les sites isolés et dispersés qui demandent peu d'énergie, c'est une solution idéale (télécommunication, balises, etc.). La technique photovoltaïque malgré sa complexité est très forte croissance. En

2001, en Europe on comptait environ 250MW installés et en 2003 ce chiffre est monté jusqu'au

560MW de puissance installée. Montre l'évolution mondiale de cette ressource qui est en très nette progression depuis le début du siècle.

- a) Les avantages La technologie photovoltaïque présente un grand nombre d'avantages. D'abord, une haute fiabilité - elle ne comporte pas de pièces mobiles
- b) Les - qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux. Ensuite, le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au Mégawatt. Leurs coûts de fonctionnement sont très faibles vu les entretiens réduits et ils ne nécessitent ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé. Enfin, la technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions.
- b) Les inconvénients Le système photovoltaïque présente toutefois des inconvénients. La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé. Le rendement réel de conversion d'un module est faible (la limite théorique pour une cellule au silicium cristallin est de 28%). Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs Diesel que pour des faibles demandes d'énergie en région isolée. Enfin, lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur photovoltaïque est accru. La fiabilité et les performances du système restent cependant équivalentes pour autant que la batterie et les composants de régulations associés soient judicieusement choisis. [49]

Le 9 décembre 2011, la société algérienne de l'électricité et du gaz Sonelgaz et Desertec Industry Initiative ont signé à Bruxelles un accord de coopération visant au renforcement des échanges d'expertise technique, à l'examen des voies et moyens pour l'accès aux marchés extérieurs et à la promotion commune du développement des énergies renouvelables en Algérie. Pour que l'Algérie préserve les réserves énergétiques actuelles (pétrole et gaz), le pays a opté pour le développement et l'exploitation de l'énergie solaire. Afin de concrétiser son programme d'exploitation de l'énergie solaire, l'Algérie a réalisé la première centrale électrique de Hassi R'mel à Tilghemt dans la wilaya de Laghouat dans le sud du pays, d'une capacité de 150 mégawatts. C'est la société New Energie Algérie (NEA), qui est chargée du secteur des énergies nouvelles et renouvelables. La première usine privée algérienne de

fabrication de panneaux solaires est opérationnelle à partir du mois de mars 2012 avec un taux d'intégration nationale. [49]

III.4. Gisement solaire en Algérie

L'Algérie, compte tenu de sa position géographique, dispose de l'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut même atteindre 3900 heures notamment dans les hauts plateaux et le Sahara.

Ainsi, sur l'ensemble du territoire national, l'énergie solaire globale reçue par jour sur une surface horizontale d'un mètre carré varie entre 5,1 KWh (~1860 KWh par an et par m²) au Nord et 6,6 KWh (~2410 KWh par an et par m²) dans le Grand Sud.

Quant à la radiation solaire incidente provenant du disque solaire et atteignant directement la surface terrestre, sans avoir été dispersée par l'atmosphère, qui reste une donnée de base pour le solaire thermique à concentration (CSP), elle peut atteindre 5.5 KWh (~2007 KWh par an et par m²) (Alger) jusqu'à 7.5 KWh (2738 KWh par an et par m²) (Illizi) par jour et par mètre carré. [50]

Voir cartes réalisées par le [#CDER](#) dans son Atlas des Ressources Energétiques Renouvelables de l'Algérie, Edition 2019.

De part sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus importants du monde et en particulier de la région MENA

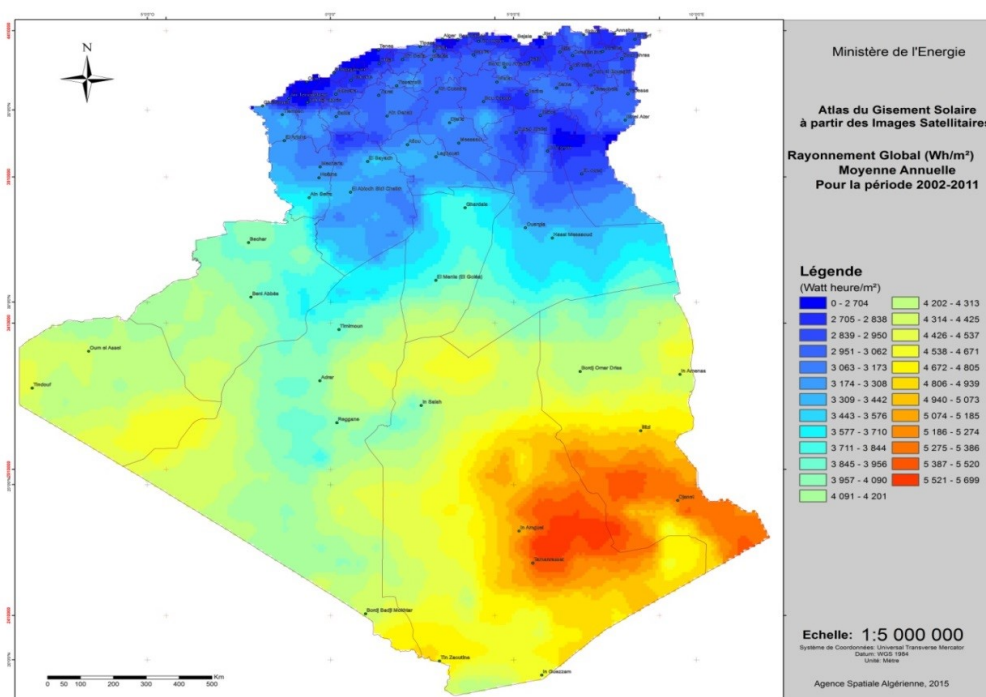


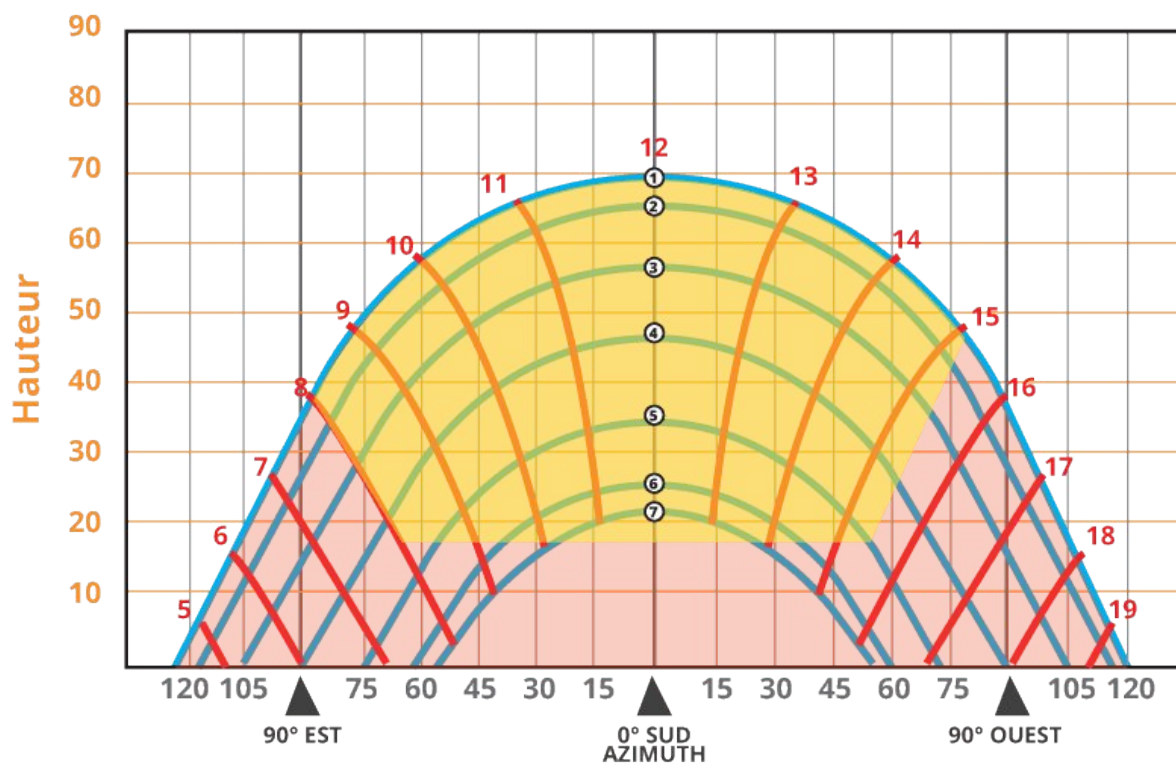
Figure 11 : l'énergie solaire en Algérie

La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et atteint les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m² est de l'ordre de 5 kWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 kWh/m²/an au Nord et 2263 kWh/m²/an au sud du pays. Le tableau suivant résume le potentiel solaire en Algérie. [51]

- Tableau 02 : Ensoleillement annuel et énergie solaire moyenne reçue par région

Régions	Région côtière	Hauts Plateaux	Sahara
Superficie(%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (kwh/m2/an)	1700	1900	2650

MASQUES SOLAIRES



©2020 civisol

- | | |
|-----------------------|----------------------------|
| ① 22 juin | ④ 20 mars - 23 septembre |
| ② 22 mai - 23 juillet | ⑤ 21 février - 23 octobre |
| ③ 20 avril - 23 août | ⑥ 19 janvier - 22 novembre |
| | ⑦ décembre |

Figure 11 : hauteur en fonction de azimuth entre est et ouest

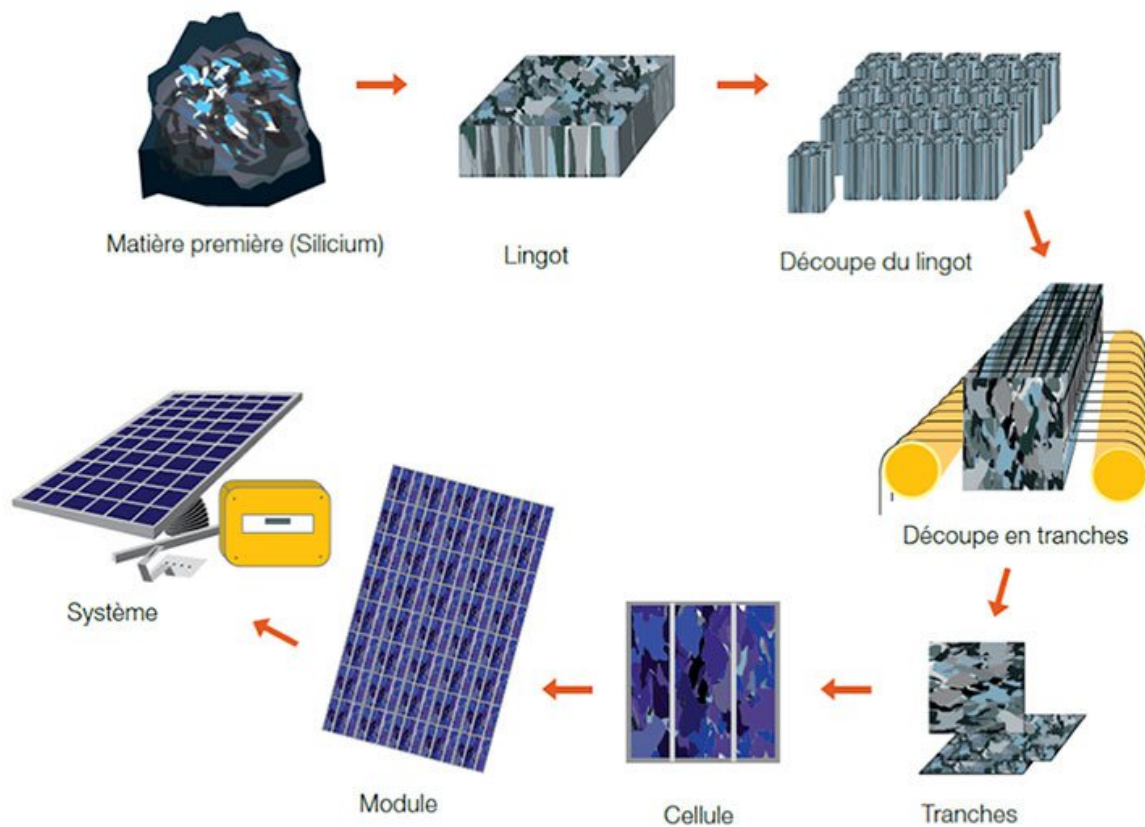


Figure12 :

Les différentes étapes du mode de fabrication des modules photovoltaïques à base de silicium cristallin

Tableau 03 ; Caractéristiques comparées des panneaux solaires : Monocristallin, Polycristallin et Couches minces

Critère	Monocristallin	Poly cristallin	Couches minces (Thin-film)
Rendement	18–23 %	15–18 %	10–13 % (parfois jusqu'à 16 % pour le CdTe)
Aspect visuel	Noir uniforme	Bleu moucheté	Noir ou très foncé, uniforme
Coût (€/Wc)	Plus élevé	Moins cher que le mono	Très variable, parfois moins cher
Surface nécessaire	Faible (rendement élevé)	Moyenne	Élevée (rendement faible)
Comportement par faible luminosité	Bon	Moyen	Très bon (notamment amorphe)
Sensibilité à la température	Moyenne à bonne	Moyenne	Bonne (moins affectée)
Durée de vie	25–30 ans ou plus	20–25 ans	10–20 ans (selon type)
Poids	Relativement lourd	Relativement lourd	Léger (souvent flexible)
Applications typiques	Toitures résidentielles, espace limité	Installations résidentielles ou agricoles	Surfaces légères, façades, combrières, nomades
Impact environnemental (fabrication)	Élevé (énergie grise plus importante)	Élevé	Moins élevé (selon technologie utilisée)

III.5.Le montage de modules photovoltaïques en série

Lorsque l'on branche des modules photovoltaïques en série, cela additionne les voltages, tout en conservant un ampérage identique. Il s'effectue normalement entre des modules de même ampérage. Dans le cas contraire, l'ensemble s'aligne sur l'ampérage le plus faible.

Branchement de panneaux en série

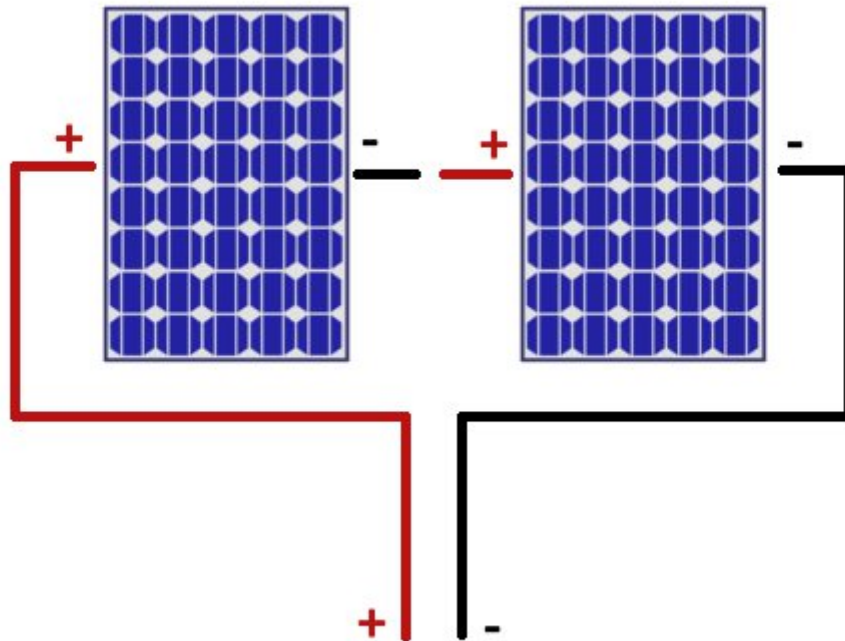


Figure13 : branchement en série

Pour un branchement en série, il faut relier les pôles positifs d'un module aux pôles négatifs d'un autre module.

III.6. Le montage de modules photovoltaïques en parallèle

Lors d'un montage de **modules en parallèle**, ce sont les intensités (ampérage) qui s'additionnent, tandis que la tension (voltage) reste identique. Le résultat est donc inverse d'un branchement en série. Il s'effectue normalement entre des modules de **même voltage**, et ce, afin d'éviter tout risque de surtension ou de court-circuit. Les intensités peuvent quant à elles être différentes, puisqu'elles s'additionnent. Ce type de branchement est utilisé lorsqu'on souhaite une forte intensité.

Branchement de panneaux en parallèle

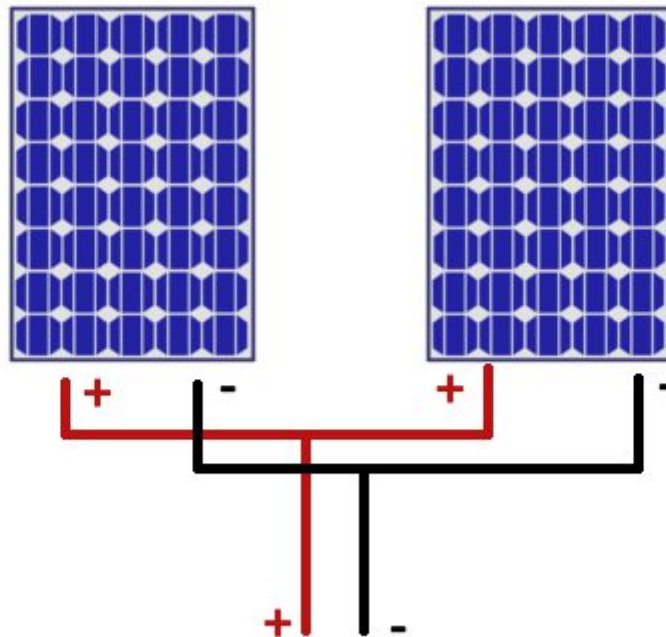


Figure14 : branchement en parallèle

Pour un branchement en parallèle, il faut relier les bornes positives entre elles. Il en est de même pour les bornes négatives.

III.7. Systèmes photovoltaïques

III.7.1. Composants d'un système photovoltaïque

Un système photovoltaïque est généralement constitué d'un champ de panneaux photovoltaïques, d'un régulateur, d'un ou plusieurs batteries de stockage, d'un convertisseur, de câbles et de récepteurs électriques.



Figure 15 : la photovoltaïque en agriculture

III.7.1.1. Le régulateur

- Le régulateur contrôle la production d'électricité du panneau et l'électricité allant vers les appareils
- Il laisse passer le courant dans un sens ou dans l'autre selon que la tension des composants atteint une certaine valeur
- Il contrôle la charge et la décharge de la batterie et protège cette dernière contre les surcharges et les décharges profondes pouvant l'endommager. Il mesure la tension de la batterie, et la coupe si la tension est au-dessus (ex: 14,5V) ou en dessous (ex: entre 10,5 et 11,9V) d'un certain niveau
- Le régulateur permet d'optimiser la production d'énergie du panneau solaire
- Il permet de donner des informations à l'utilisateur sur l'état actuel du système solaire.



Figure 16 : système photovoltaïque

III.7.1.2. Les batteries

- Une batterie est un composant qui sert à stocker chimiquement de l'énergie électrique (seulement du courant continu DC) pour un usage ultérieur
- La batterie est donc utilisée pour conserver l'électricité produite au cours de la journée par le panneau solaire
- Il existe 3 types de batteries :
 - Les batteries plomb-acide ouvertes (= batteries de voitures) qui ont une durée de vie courte et nécessitent beaucoup d'entretien
 - Les batteries plomb-acide étanches (= batteries sèches) qui ont une durée de vie plus longue et qui nécessitent moins d'entretien
 - Les batteries à gel qui ont une durée de vie beaucoup plus longue et qui ne nécessitent presque pas d'entretien



Figure 17 : type de batterie

- **Caractéristiques des batteries**

- Capacité de stockage = Ampère-heure (Ah)

La capacité de stockage va diminuer si :

- Le courant de décharge augmente
 - La batterie reste sans être chargée pendant plusieurs semaines
 - La batterie fonctionne de manière prolongée avec un état de charge faible
 - Si l'utilisation et la maintenance n'est pas correctement faite (par exemple pas suffisamment d'électrolyte)
- Tension (Volt)
 - Degré de décharge quotidien (DDQ)

- Durée de vie = nombre de cycles de charge/décharge qu'une batterie est capable de supporter sans dommage

Dans un système solaire la batterie est successivement chargée et déchargée quotidiennement. La durée de vie d'une batterie dépendra du degré de décharge quotidien (DDQ). La durée de vie de la batterie augmente si le DDQ est faible.

Exemple pour une batterie de voiture :

- DDQ de 50% à durée de vie = 6 mois
- DDQ de 30% à durée de vie = 2 ans

Partie pratique :

Mesurer l'état de charge d'une batterie :

- Tension de circuit ouvert = 12,8 V → charge = 100%
- Tension de circuit ouvert = 12,5 V → charge = 70%
- Tension de circuit ouvert = 11,9 V → charge = 20%

III.7.1.3. Les convertisseurs

Les convertisseurs sont des appareils servant à transformer la tension continue fournie par les panneaux ou les batteries par l'adapter à des récepteurs fonctionnant soit à une tension continue différents, soit à une tension alternative.



Figure 18 : convertisseur

III.7.1.4. Les convertisseurs DC/DC

Ce type de composant est utilisé pour transformer la tension des batteries en une tension DC différente pour alimenter un appareil spécial : chargeur téléphone portable, radio, ordinateur portable...



Figure 19 : **convertisseurs DC/DC**

III.7.1.5 .Les onduleurs DC/AC

Dès que le nombre d'appareils est important, il est plus avantageux d'utiliser un bon onduleur.

Les onduleurs sont des appareils capables de transformer le courant continu (CC) en courant alternatif (CA). Ils consomment de l'électricité (en fonction de leur rendement).



Figure 20 : onduleur AC/DC

• **Caractéristiques :**

- Puissance nominale (= somme de la puissance des appareils qui peuvent être branchés/supportés par l'onduleur)
- Plage de tension de sortie (= tension à la sortie)
- Plage de tension d'entrée (= tension qui entre dans l'onduleur)
- Rendement = Puissance de sortie / Puissance d'entrée (par exemple, un TV de 50W CA alimentée par un onduleur dont le rendement est de 75% nécessite une puissance d'entrée de $50W/0,75 = 66,6W$ en CC)

La puissance nominale doit être environ 2 à 3 fois supérieure à la puissance des appareils à alimenter (permet d'absorber les pics de courant de démarrage de certains appareils électriques).

Les câbles

Les câbles vont servir à transporter l'électricité; les câbles doivent donc être dimensionnés afin de limiter les chutes de tension.



Figure21 : Les câbles électrique

Les récepteurs

Ce sont les éléments qui utilisent l'électricité produite par le panneau solaire (lampes, radio, télévision, chargeur de téléphone .). Il est conseillé d'utiliser des récepteurs fonctionnant en courant continu et de faible consommation afin de minimiser le coût de l'installation (exemple : utiliser des lampes économiques au lieu de lampes incandescentes). Pour les appareils fonctionnant en courant alternatif, il faudra utiliser un onduleur.



Figure 22 : récepteur de 12 V

III.8. Systèmes photovoltaïques et stockage d'énergie

Un système solaire photovoltaïque typique se compose de quatre éléments de base : Le module photovoltaïque, le contrôleur de charge, l'onduleur et la batterie si nécessaire. Comme on peut le voir, le panneau photovoltaïque produit de l'électricité, qui peut être dirigée par le contrôleur vers un stockage sur batterie ou une charge. Lorsqu'il n'y a pas de soleil, la batterie a le rôle de fournir une alimentation à la charge si elle a une capacité satisfaisante. Le contrôleur a pour fonction d'empêcher les batteries d'être surchargées ou de se décharger complètement, augmentant ainsi leur durée de vie utile. L'onduleur est responsable de la conversion de la puissance générée par les panneaux photovoltaïques au courant alternatif (niveaux de tension AC et fréquence du réseau). Généralement, dans les systèmes photovoltaïques les batteries sont utilisées pour stocker le surplus produit par les modules afin de l'utiliser la nuit ou les jours de faible ensoleillement ou de ciel couvert.

Voici un tableau comparatif entre un **système photovoltaïque avec batterie** et un **système photovoltaïque en autonomie (off-grid ou autonome)** :

Tableau 04 : Analyse des options solaires : avec batterie sur réseau ou en autonomie

<i>Critère</i>	Système PV avec Batterie (Hybride)	Système PV en Autonomie (Off-grid)
Connexion au réseau	Connecté au réseau électrique + batteries	Totalement indépendant du réseau
Utilisation des batteries	Stockage pour optimiser l'autoconsommation ou en cas de coupure réseau	Stockage indispensable pour assurer la fourniture d'énergie continue
Production solaire	Fournit de l'énergie au bâtiment et/ou au réseau	Fournit de l'énergie uniquement au bâtiment
Consommation	Priorité à l'énergie solaire → batterie → réseau	Priorité à l'énergie solaire → batterie (seule source disponible)
Sécurité d'alimentation	Peut être soutenu par le réseau en cas de décharge	Aucune alimentation si batterie vide et pas de soleil
Dimensionnement	Moins dimensionné que l'autonome (car secours via réseau)	Doit être surdimensionné pour couvrir tous les besoins
Coût initial	Modéré (plus que PV seul, mais moins que système autonome)	Élevé (plus de panneaux + batteries importantes + convertisseurs)
Maintenance	Moyenne (suivi des batteries et onduleur)	Plus complexe (fiabilité critique)
Usage typique	Résidences avec réseau, optimisation de la facture	Sites isolés, refuges, zones sans réseau
Exemples	Maison avec compteur EDF + batteries	Refuge de montagne, ferme isolée, cabane sans réseau

Station de pompage solaire



Figure 23 : représente la pompe solaire

III.9. Pompe immergée :

Définition : Une pompe immergée est une unité de pompage compacte composée d'une partie hydraulique et d'un moteur électrique, destinée à être immergée dans le liquide même qu'elle doit pomper.

Avantages : Les pompes centrifuges sont les plus utilisées et elles couvrent environ 80% des pompes utilisées et présentent les avantages suivants :

- ✓ Machine de construction simple et nécessite peu d'entretien
- ✓ Prix d'achat modéré, cout de maintenance faible

Bon rendement (jusqu'à à 80%)

- ✓ Vitesse de rotation allant de 750 à 3000trs/min, facilement entraîné par un moteur électrique.
 - ✓ Les pompes centrifuges admettent les suspensions chargées de solides.
- Inconvénients Elles présentent aussi certains inconvénients :
- ✓ Impossible de pomper les liquides trop visqueux (les roues tournent sans entraînés le liquides)
 - ✓ Ne supportant pas la très forte agitation dans la pompe pour les liquides « susceptibles » (liquides alimentaires tels que le vin, le lait et la bière).

- ✓ Utilisation comme pompe doseuse : la nécessité de réaliser des dosages précis instantanés risque d'entraîner la pompe en dehors de ses caractéristiques optimales.
- ✓ Production d'une pression différentielle faible (0,5 à 10bars)
- ✓ La pompe ne s'amorce pas d'elle-même. [52]

III.10. Généralités de la pompe en irrigation Pivotal :

Environ la moitié des systèmes de pompage pour l'irrigation à pivot central sont alimentés par une alimentation électrique triphasée et environ la moitié sont alimentés par du diesel ou un autre système à combustible fossile. La puissance du gazole ou du gaz naturel est Environ prise en compte lorsque l'alimentation triphasée n'est pas disponible ou qu'il est coûteux d'étendre les lignes électriques existantes ou lorsqu'un client se trouve à la fin d'une ligne électrique existante dont la capacité est limitée. Ce chapitre traite de certains des facteurs qui doivent être pris en compte lors de la sélection de l'unité de pompage pour fournir de l'eau sous pression à un système de pivotement central. L'AI et d'autres entités offrent des cours complets sur les unités de pompage et la sélection. Par conséquent, ce chapitre est abrégé en détail et vise uniquement à fournir des informations sur la sélection de la pompe spécifique aux systèmes de pivotement centraux. En outre, les contrôle d'exploitation et de sécurité sont discutés. En Algérie l'alimentation de pivot se fait par la pompe électrique immergée. . [54]



Figure 24 : pompe immergée

CHAPITRE IV :

ETUDE DE TERRAIN ET METHODOLOGIE DE RECHERCHE

IV.1. Introduction

Dans un contexte de **raréfaction des ressources en eau** et d'**accroissement des besoins alimentaires**, le développement de l'agriculture dans les zones arides devient un enjeu stratégique majeur pour l'Algérie. La région de **Ménéa**, située au sud du pays, possède un fort potentiel agricole, mais reste confrontée à des défis importants liés à l'**accès à l'eau** et à l'**énergie**. [55]

Face à ces contraintes, l'usage combiné de l'**irrigation localisée** et de l'**énergie solaire** constitue une solution innovante, durable et adaptée au climat saharien. Dans ce cadre, le présent projet porte sur le **dimensionnement complet d'un système d'irrigation par pivot** destiné à une culture de **blé dur** sur une superficie de **50 hectares**, situé dans la zone agricole de **Hassi Fhel**, wilaya de Ménéa.

L'approche adoptée repose sur la mise en place de **deux systèmes photovoltaïques** :

- **PV1** pour alimenter directement un **pivot d'irrigation**.
- **PV2** pour faire fonctionner une **pompe de remplissage d'un réservoir** de 4 000 m³, assurant une autonomie d'eau de deux jours.

IV.2. Etude de Terrain et Méthodologie de Recherche

IV.3. Cadre Géographique :

La wilaya de Ménéa est située au **sud de l'Algérie**, dans la région saharienne, à environ **270 km au sud de Ghardaïa**. Elle fait partie intégrante du **Grand Erg Occidental** et s'inscrit dans une zone **aride à hyperaride**, caractérisée par un climat saharien sec, des précipitations très faibles et des températures extrêmes.

Ménéa s'étend sur une vaste superficie composée de **plateaux rocheux**, de **regs (zones caillouteuses)** et de **zones alluviales**, favorables à l'agriculture saharienne lorsque l'eau est disponible. La commune de **Hassi Fhel**, en particulier, est localisée dans une cuvette alluviale ancienne, traversée par des couches géologiques d'époque **crétacée (Cénomanién)**, contenant des nappes profondes, ce qui la rend propice à l'irrigation souterraine.

En termes de **coordonnées géographiques**, Ménée se situe entre les **latitudes 30°30' et 32°00' N**, et les **longitudes 2° à 4° E**, avec une altitude moyenne d'environ **380 mètres**. Cette position géographique offre un ensoleillement exceptionnel, avec plus de **3 000 heures par an**, ce qui constitue un atout majeur pour le **développement des énergies renouvelables**, notamment **l'énergie solaire**.

La région est peu peuplée, mais connaît un développement agricole soutenu grâce à la mise en valeur des terres sahariennes par l'irrigation localisée et les projets de pompage solaire.

IV.3.1. Présentation de système :

Introduction : La performance de system pivot centrale base sur des paramètre hydraulique (débit, pression, calcule) et le rondement désiré (ciblé). La méthodologie scientifique dépend sur l'observation, phénomène, hypothèse, expériences et résultat, d'après ça la visite de ce périmètre et consultation global, renseignement les observations commence du puits vers le réseau, les nouds, les fuites jusqu'à l'axe de pivot en traversant les surfaces irriguées par ce system.

IV.3.2La géomorphologie régionale :

GENERALITE SUR LA ZONE D'ETUDE La région hassi fhal est située sur un niveau alluvial ancien creusé dans un plateau caillouteux dont les assises géologiques appartiennent au cénomanien. [56]

IV.33. Présentation de la zone :



Figure24 :la zone de meniaa

IV.3.4. Carte géographique Hassi f'hel

Météorologie :

La région de HASSI FHEL est une zone saharienne, de climat sec : température, la désert est connue par la température élevés, dépassé 45° à l'été et moyen automne et le printemps et basse degré à l'hiver, ce que la fait une zone agricole pour des différents cultures.

La pluie :

Comme tous les zones sahariennes, la région souffrit de la sécheresse spécialement les années actuelles, mais l'historique de HASSI FHEL d'après des vieux témoins montre que la pluie était saisonnière (hiver).

Le vent :

La grande partes de Sahara algérien a presque la météo, surtout le vent et que s'appel (AAMMI) mais d'après les habitant dont heureux de (GHARBI) car il aide a la pollinisation, le vent (CHARGUI) est indésirable pour eux car il cause des dommages au niveau de ses périmètre, et il y'a un le vent (HSSOME) 07 nuits et 07jour comme

cité au (QURAN KARIM Les observations après la visite et la consultation on obtenir les données suivant.

Le système :

L'étude de ce système commence de la source vers la terre en traversant la pompe, la jonction, la conduite, le pivot et les asperseurs

Pour dimensionner un système photovoltaïque (PV) pour l'irrigation par **pivot** dans une zone comme **El Meniaa** (wilaya d'El Meniaa, Algérie saharienne), il faut prendre en compte plusieurs paramètres climatiques, techniques et hydrauliques. Voici une approche méthodique adaptée à cette région à fort ensoleillement. [57]



1. Conditions climatiques d'El Meniaa

- **Insolation moyenne** : 6 à 7 kWh/m²/jour
- **Nombre de jours ensoleillés/an** : > 300 jours
- **Température moyenne annuelle** : ~28–30°C



2. Paramètres à définir pour le dimensionnement

B. Durée d'irrigation journalière

- 6 à 8 h/jour (selon stratégie culturale)

CHAPITRE V : LES DIMENSIONNEMENTS ANALYTIQUES

V.1. Données fournies

Tableau 05 : Paramètres de conception – Irrigation pivot pour blé dur [58]

Paramètre	Valeur
Culture	Blé dur
Superficie irriguée	50 ha
Diamètre du pivot	800 m
Besoins en eau	5 000 m ³ /ha/saison
Volume total d'eau	250 000 m ³ /saison
Durée de la saison	120 jours
Débit moyen	200 m ³ /h
Durée d'irrigation par jour	10h

V.2. Formules et dimensionnement du pivot

V.2.1. Superficie irrigable

Le pivot irrigue une **surface circulaire** :

$$S = \pi \times R^2$$

$$S = \pi \times (400)^2 = 502,655 \text{ m}^2 = 50.27 \text{ ha}$$

V.2.2. Volume total

$$5000 \text{ m}^3 / \text{ha} \times 50 \text{ ha} = 250000 \text{ m}^3 / \text{jour}$$

V.2.3 Volume journalier

$$V_{\text{jour}} = \frac{V_{\text{jour}}}{t_{\text{irrigation}}} = v = \frac{250\,000}{120} \approx 2083 \text{ m}^3 / \text{jour}$$

V.2.4. Volume requise

$$V_{\text{jour}} = \frac{V_{\text{jour}}}{t_{\text{irrigation}}} = v = \frac{2083}{120} \approx 208,3 \text{ m}^3 / \text{h}$$

V.3. Puissance de pompage nécessaire

V.3.1. Débit

$$Q = 200 \text{ m}^3 / \text{h} = 55,56 \text{ L/s}$$

V.3.2. Hypothèse : hauteur manométrique totale (HMT) = 30 m

(prise en compte de l'élévation + pertes de charge)

V.3.3. La puissance hydraulique

$$P_{\text{hyd}} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot \text{HMT} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,05556 \cdot 30 = 16,36 \text{ kW}$$

. Calcul de la puissance électrique absorbée

$$P_{\text{éle}} = \frac{P_{\text{hyd}}}{\eta} = \frac{16.36}{0.65} = 25,17 \text{kw}$$

V.4. Vitesse de rotation du pivot

La vitesse du pivot dépend de la pluviométrie requise et du débit :

$$V = \frac{2\pi R}{T}$$

- ✓ V: vitesse à l'extrémité (m/h)
- ✓ R : rayon du pivot (m)
- ✓ T : temps d'un tour (en h)

V.5. Structure physique du pivot

Tableau06 : Éléments de conception physique du système pivot

Élément	Valeur/Recommandation	Remarques
Nombre de travées	6 à 8 travées	Selon la longueur moyenne (50–65 m par travée)
Hauteur du pivot	2 à 4 m	Pour passage des machines
Pression de travail	2 à 4 bars (normale), 5 bars max	Selon topographie et type de sol

V.6. Hydraulique

Élément	Valeur estimée	Calcul / Source
Besoin en d'eau total	250 000 m³/saison	5000×50
Durée de la saison	120 jours	
Volume journalier	≈ 2 083 m³/jour	250 000/120
Débit moyen requis	≈ 87 m³/h	2083/24
Pompe recommandée	90–100 m³/h à 4 bars	Avec marge de sécurité
Filtration	Filtre à disque ou sable	Obligatoire si eau de forage

Tableau07 : éléments de conception hydraulique du système d'irrigation

V.7. Énergie

Tableau 08 : Analyse des sources d'alimentation énergétique à El Meniaa

Source	Option	Détail
Électrique	Réseau ou générateur	Moteur 30–35 kW
Photovoltaïque (option)	≈ 130–150 m² de panneaux PV	Production ≈ 5,5 kWh/m²/jour à El Meniaa

V.8. Équipements

Tableau 09 : Dispositifs complémentaires pour l'optimisation du système

Équipement	Utilité
Boîtier de contrôle	Programmation de cycles, vitesse du pivot
Capteur pluie/vent	Interruption automatique si pluie ou vent fort
Dispositif anti-goutte	Réduit pertes par évaporation
Système de drainage	Protection contre engorgement au centre

V.9. Les dimensionnement de pompe

Rappel des besoins électriques

Tableau 10 : Données de base pour le dimensionnement électrique de la pompe

Élément	Valeur
Débit pompe	200 m ³ /h (≈ 55,56 L/s)
HMT estimée	30 m
Puissance hydraulique	16,36 kW
Rendement total système	65 %
Puissance électrique absorbée	≈ 25,2 kW
Durée d'irrigation / jour	10 h

V.10. Consommation quotidienne en énergie

$$E_{\text{journalière}} = 25,2 \text{ kW} \times 10 \text{ h} = 252 \text{ kWh /jour}$$

V.11. Dimensionnement PV1

Productivité solaire moyenne à Ménée / Hassi Fhel (sud algérien)

☀ Ensoleillement moyen : 5,5 à 6,5 kWh/m²/jour

On prend une moyenne de 6 kWh/kWc/jour

V.11.1. Puissance crête requise

$$P_{pv} = \frac{252 \text{ kWh}}{6 \text{ kWh/kWc}} = 42 \text{ kWc}$$

➔ On prévoit une marge de sécurité de 10–15 % :

$$P_{pv \text{ final}} = 46\text{--}48 \text{ kWc}$$

V.11. 2. Débit nécessaire (m³/h)

$$Q = \frac{v_j}{H} = 208/10 = 20.8 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Q : débit moyen nécessaire (m³/h)
- H : nombre d'heures d'irrigation par jour (généralement 24 h)
- v_j : volume journalier (m³/jour)

V.11.3. Onduleur / Variateur de fréquence (VFD)

- Doit être capable de piloter un **moteur de 25–30 kW**
- **Type** : triphasé – tension 400 V
- Avec **MPPT** (Maximum Power Point Tracking)
- Puissance recommandée de l'onduleur : **30–35 kW**
-

V.11. 4. Stockage (facultatif)

☞ En général, **pas de batterie** pour un système PV agricole avec irrigation **diurne**

Mais si vous souhaitez **une autonomie** (ex. pour irrigation tôt le matin ou le soir), alors :

- Besoin journalier : 252 kWh
- Batterie utile (sans décharge profonde) :

V.11. 5. Résumé du système PV pour le pivot

Tableau 11 : Résumé du système photovoltaïque pour l'alimentation du pivot d'irrigation

Élément	Valeur estimée
Puissance pompe	25–30 kW
Énergie/jour	252 kWh
Ensoleillement local	6 kWh/kWc/jour
Puissance PV requise	42–48 kWc
Nombre de panneaux (550 W)	≈ 88 à 95 modules
Surface PV totale	≈ 270–300 m²
Onduleur triphasé	30–35 kW
Batteries	3 batterie

V.12. Conclusion

Le **dimensionnement PV pour votre pivot de 800 m (50 ha)** nécessite :

- ✓ Environ **48 kWc de panneaux PV**,
- ✓ Un **onduleur solaire de 30–35 kW**,

- ✓ Surface d'environ **270–300 m² de capteurs PV**,
- ✓ Peut alimenter un moteur-pompe de **25–30 kW** en direct.

Nombre de panneaux :

$$\text{Nombre de panneaux} = \frac{\text{Puissance crête totale (kWc)} \times 1000}{\text{Puissance d'un panneau (W)}} = 48000/540 = 90 \text{ panneaux}$$

V.13. Vérification du volume du réservoir

Le volume d'un réservoir rectangulaire est :

$$V = L \times l \times h = 50 \times 40 \times 2 = 4000 \text{ mètre cube}$$

Si l'**autonomie souhaitée est 2 jours**, et que le **besoin quotidien est de 2 000 m³/jour** (comme vu dans les calculs précédents pour irriguer 50 ha de blé dur) :

$$2000 \times 2 = 4000 \text{ mètre cube}$$

Le réservoir couvre **2 jours d'irrigation** de façon exacte.

V.13. 1. Fonction principale :

- Contrôler automatiquement les pompes selon les niveaux du réservoir.
- Protéger contre les **surcharges, court-circuit, marche à vide, surtensions**.
- Intégrer des **flotteurs de niveau haut et bas**, temporisateurs et contacteurs.

V.13.2. Composants typiques :

- Disjoncteurs magnétothermiques
- Relais thermiques
- Interrupteur horaire ou automate
- Variateur de fréquence (optionnel)

V.14. Résumé du dimensionnement du réservoir

Tableau 12 : Caractéristiques du réservoir de stockage pour irrigation solaire

Paramètre	Valeur
Longueur (l)	40 m
Largeur (L)	50 m
Hauteur (h)	2 m
Volume total	4 000 m³
Autonomie visée	2 jours
Besoin journalier	≈ 2 000 m³
Usage	Alimentation pivot 50 ha

V.15. Caractéristiques recommandées de la pompe

Tableau 13 : Caractéristiques recommandées de la pompe pour irrigation solaire avec stockage

Caractéristique	Valeur recommandée
Débit nominal	200 m ³ /h
HMT (hauteur totale)	30 mCE
Type de pompe	Centrifuge multicellulaire horizontale ou verticale
Diamètre aspiration	DN 125 – DN 150 mm
Diamètre refoulement	DN 100 – DN 125 mm
Matière	Fonte/acier inox selon qualité eau
Entraînement	Moteur électrique 30 kW (400 V triphasé)
Vitesse rotation	1450–2900 tr/min

V.16. Moteur électrique

Tableau 14 : Caractéristiques du moteur électrique pour pompage d'irrigation

Élément	Valeur
Puissance	30 kW (40 CV)
Tension	Triphasé 380/400 V
Fréquence	50 Hz
Type de démarrage	Démarrage étoile-triangle ou variateur de fréquence
Indice de protection	IP55 (extérieur)

V.17. Système PV2 – Pompe de forage (remplissage du réservoir)

✓ Rôle :

Le **système PV2** puise l'eau depuis la **nappe phréatique profonde (65 m)** et la **transfère vers le réservoir de stockage**.

Fonction principale :

- Fournir un **débit constant de 20 m³/h** pendant 10 h/j.
- Maintenir une **autonomie de 2 jours** d'eau dans le réservoir (4000 m³).
- Assurer une remontée d'eau fiable malgré la profondeur élevée.

V.18. Données du problème :

Tableau 15 : Paramètres techniques du système d'irrigation avec stockage d'eau

Paramètre	Valeur
Volume du réservoir	4 000 m ³
Durée de remplissage	2 jours (autonomie)

Débit nécessaire	200mètre cube par heure
HMT (hauteur manométrique)	30 m (hypothèse constante)
Rendement global	65 %

V.19. Calcul de la puissance de la pompe

a) Débit :

$$Q = 200 \text{ m}^3/h = 55,56 \text{ L/s}$$

b) Puissance hydraulique :

$$P_h = 1000 \times 9,81 \times 0,05556 \times 30 \approx 16,36 \text{ kW}$$

c) Puissance absorbée (avec $\eta = 0,65$) :

$$P_{\text{abs}} = \frac{16,36}{0,65} \approx \boxed{25,2 \text{ kW}}$$

. V.20. Énergie journalière nécessaire

Si on pompe pendant 10 h par jour :

$$E = 25,2 \times 10 = \boxed{252 \text{ kWh/jour}}$$

V.21. Dimensionnement du champ PV2

Avec un ensoleillement moyen de 6 kWh/kWc/jour, on calcule :

$$P_{PV} = \frac{252}{6} = \boxed{42 \text{ kWc}}$$

✅ En ajoutant une marge de 10–15 % → ≈ 46 à 48 kWc

V.22. Moteur d'entraînement du pivot

✓ Rôle :

Le moteur **entraîne les roues** du pivot pour assurer une **rotation régulière** autour du point central.

Fonction principale :

- Contrôler la **vitesse de rotation** selon le programme d'irrigation.
- Garantir une **couverture**
- **Homogène** de toute la surface.

✂ Type :

- Moteur électrique à **réduction de vitesse**
- Puissance : généralement de 0.5 à 2 kW par tour (varie selon le modèle du pivot)

Et système à deux pompes avec réservoir est **pertinent pour les régions désertiques** comme Hassi Fhel. Il garantit :

- Une **flexibilité d'exploitation**
- Une **sécurité d'irrigation** en cas de coupure
- Une **maîtrise du débit et de la pression**
- Une **meilleure durée de vie des équipements**

Cependant, cela exige une **bonne gestion énergétique** et un **suivi technique régulier** (niveau de nappe, entretien, contrôles électriques). Ce système est adapté à une exploitation semi-industrielle, avec ou sans assistance solaire.

V.23. Différences clés à retenir

Tableau 16 : Irrigation solaire : comparaison entre systèmes directs (PV1) et indirects (PV2)

Point	PV1	PV2
Type d'irrigation	Directe (pivot branché sur PV1)	Indirecte (eau stockée puis utilisée)
Flexibilité	Moins flexible (besoin d'ensoleillement en temps réel)	Plus flexible (stock tampon en eau)
Risques si faible soleil	Arrêt de pivot	Réservoir déjà rempli — pas de coupure immédiate
Investissement stratégique	PV1 → dépend 100 % du soleil	PV2 → apporte une sécurité via stockage

V.24. Boîte de commande (armoire électrique)

✓ Rôle :

La **boîte de commande** gère la **mise en marche**, la **protection** et l'**automatisation** des deux systèmes de pompage (PV1 et PV2).

V.25. Conclusion finale

Ce projet solaire assure une **autosuffisance énergétique complète** pour l'irrigation d'un champ de blé dur sur 50 ha, tout en respectant les conditions climatiques de la région.

La **combinaison intelligente de PV1 (pivot direct) et PV2 (pompe + réservoir)** garantit à la fois **efficacité, résilience et durabilité** du système agricole.

Il s'agit donc d'un **modèle reproductible** pour l'agriculture saharienne, alliant **technologie propre, gestion efficace de l'eau et autonomie énergétique**.

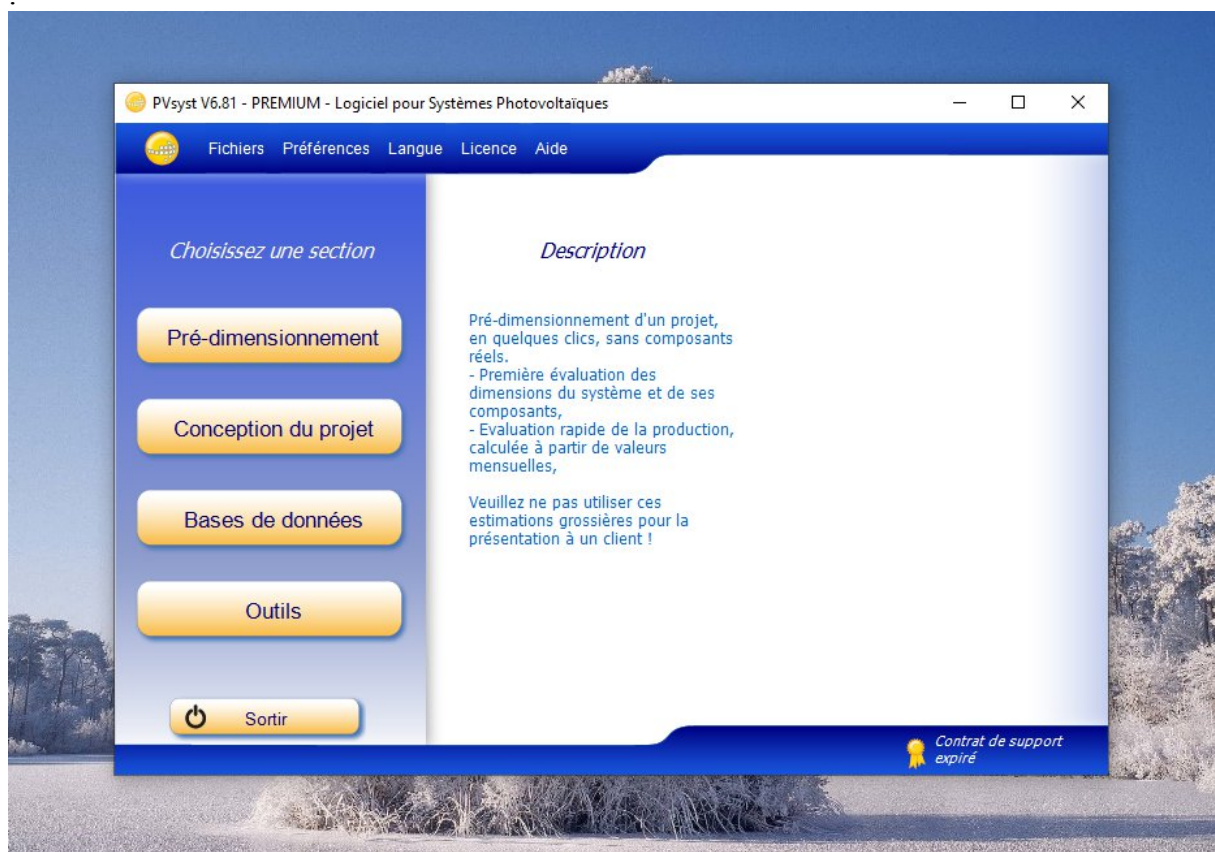
CHAPITRE VI : LES DIMENSIONNEMENTS PHOTOVOLTAIQUE

Définition de PVsyst

PVsyst est un **logiciel professionnel de simulation de systèmes photovoltaïques (PV)**, développé par l'Université de Genève (Suisse), principalement destiné aux :

- ingénieurs en énergie,
- chercheurs,
- bureaux d'études solaires,
- installateurs professionnels.

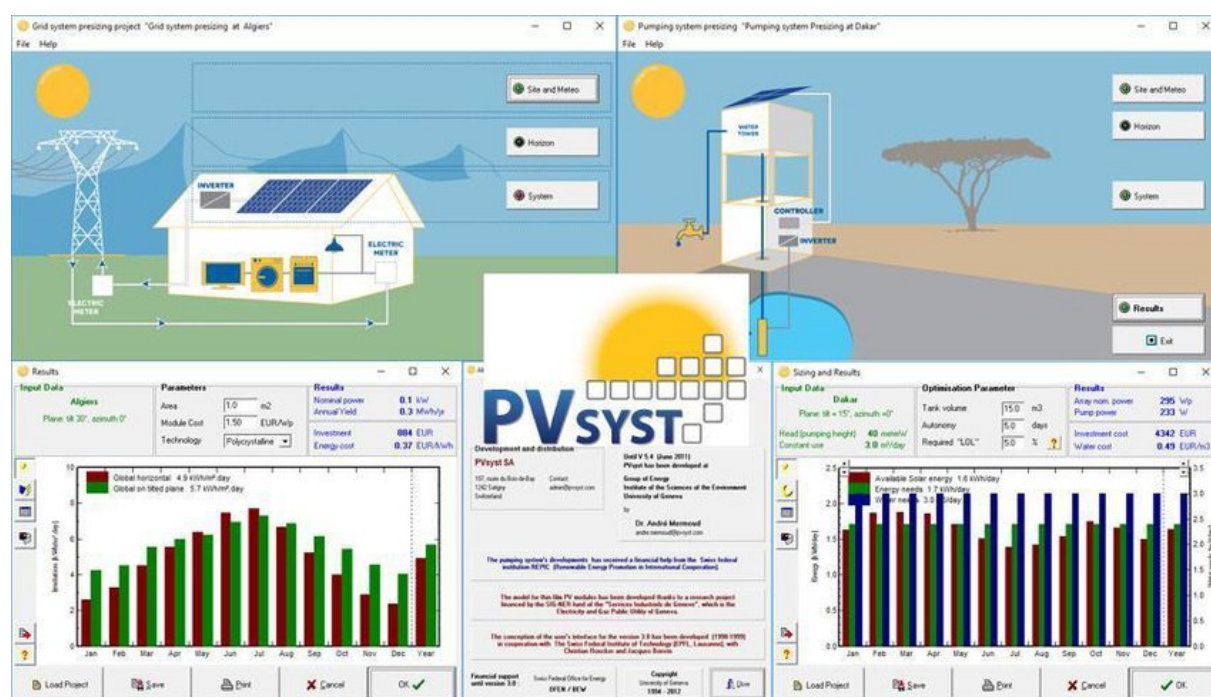
Il permet de **modéliser, dimensionner, simuler et analyser** les performances techniques et énergétiques d'une installation solaire photovoltaïque.



Fonctionnalités principales de PVsyst

Tableau 17 : Principales fonctions d'un outil de simulation pour systèmes photovoltaïques d'irrigation

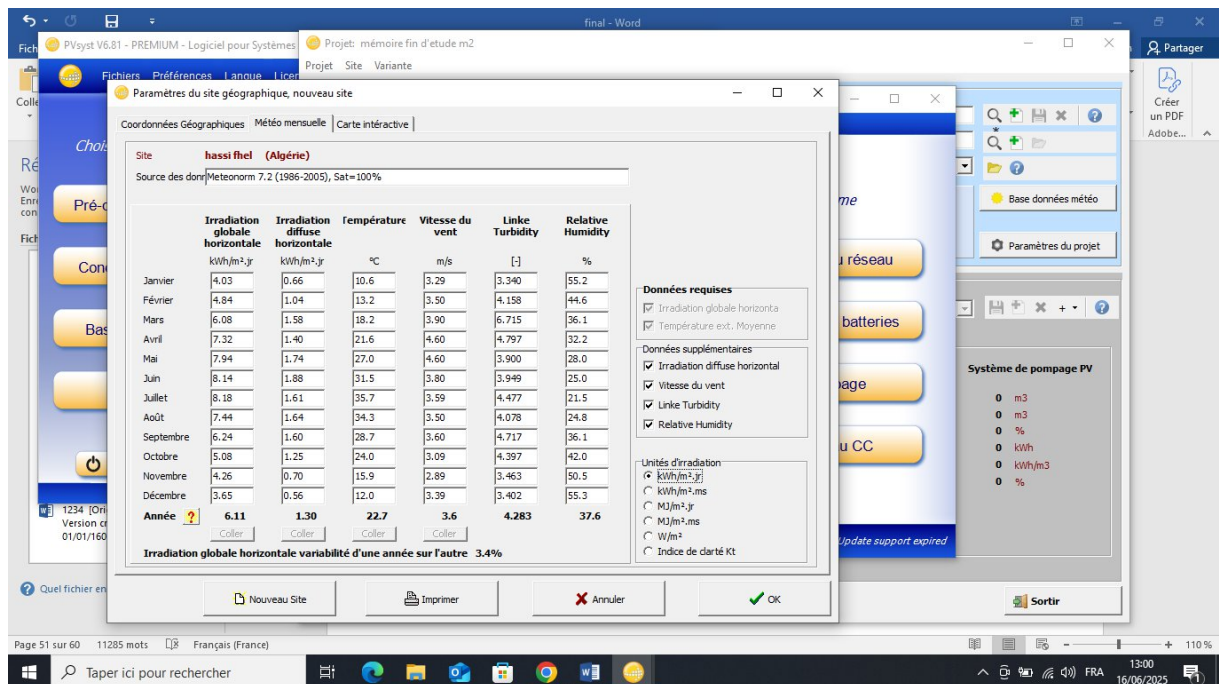
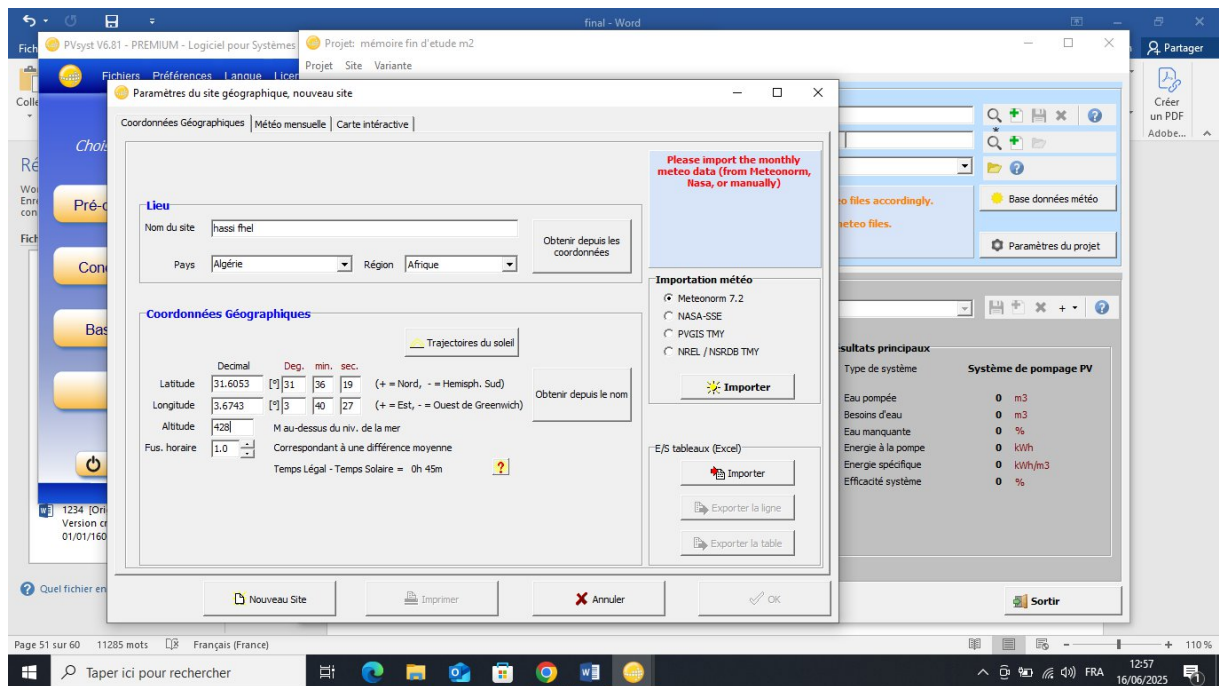
Fonction	Détail technique
Simulation énergétique	Calcule la production d'électricité solaire (kWh/an) en fonction du lieu, de l'ensoleillement et du système
Dimensionnement	Choix optimal des modules, onduleurs, batteries, surface PV
Analyse des pertes	Chaleur, poussière, ombrage, rendement, câblage
Base de données météo	Inclut PVGIS, Meteonorm, NASA, etc.
Modèle de pompage solaire	Simulation directe d'un système de pompage alimenté par panneaux solaires (utile pour l'irrigation)
Rapports détaillés	Génère des rapports PDF professionnels (bilan énergétique, pertes, efficacité...)

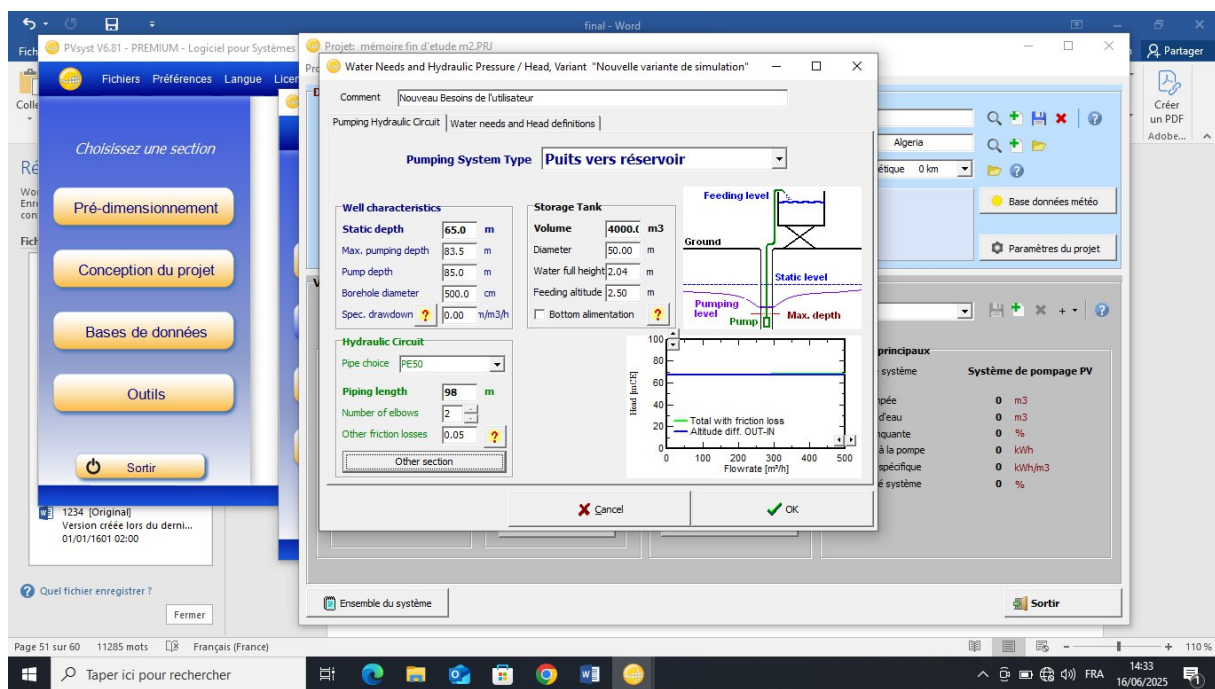
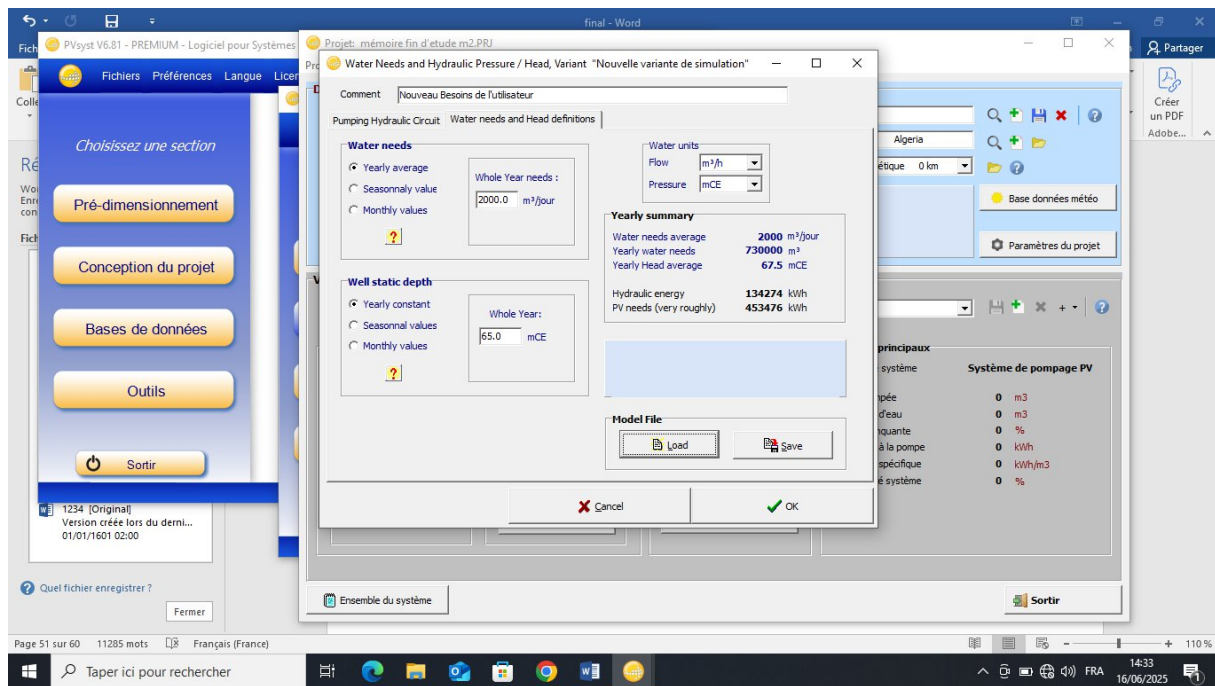


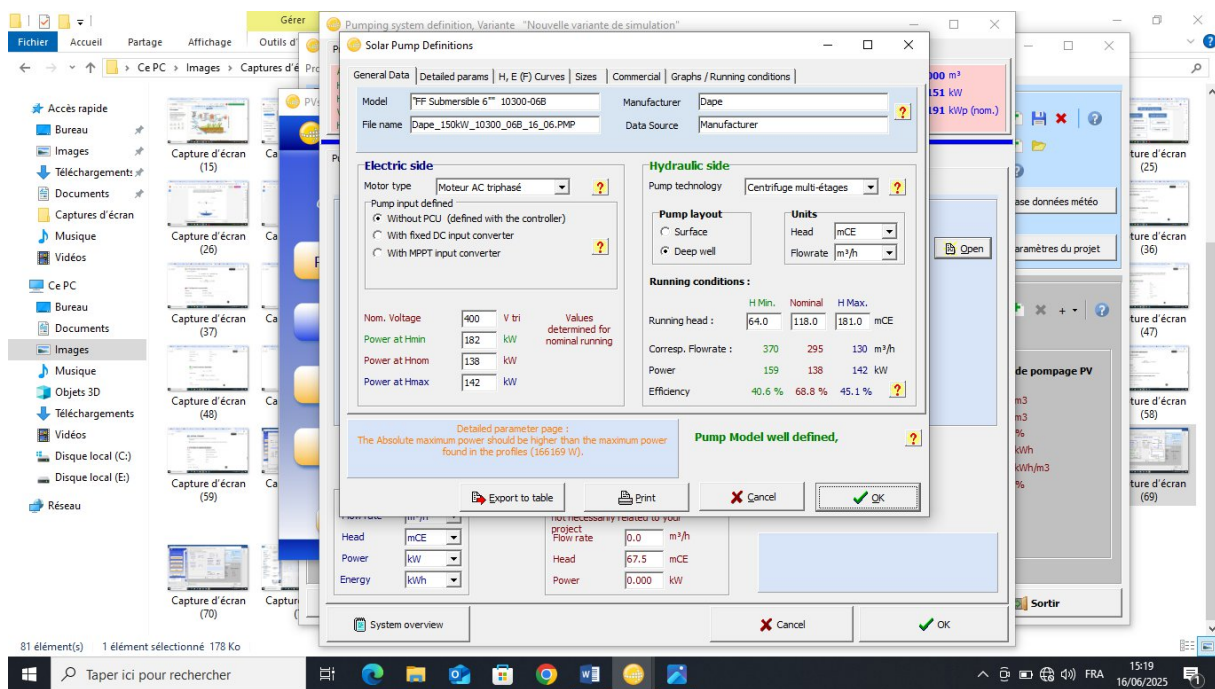
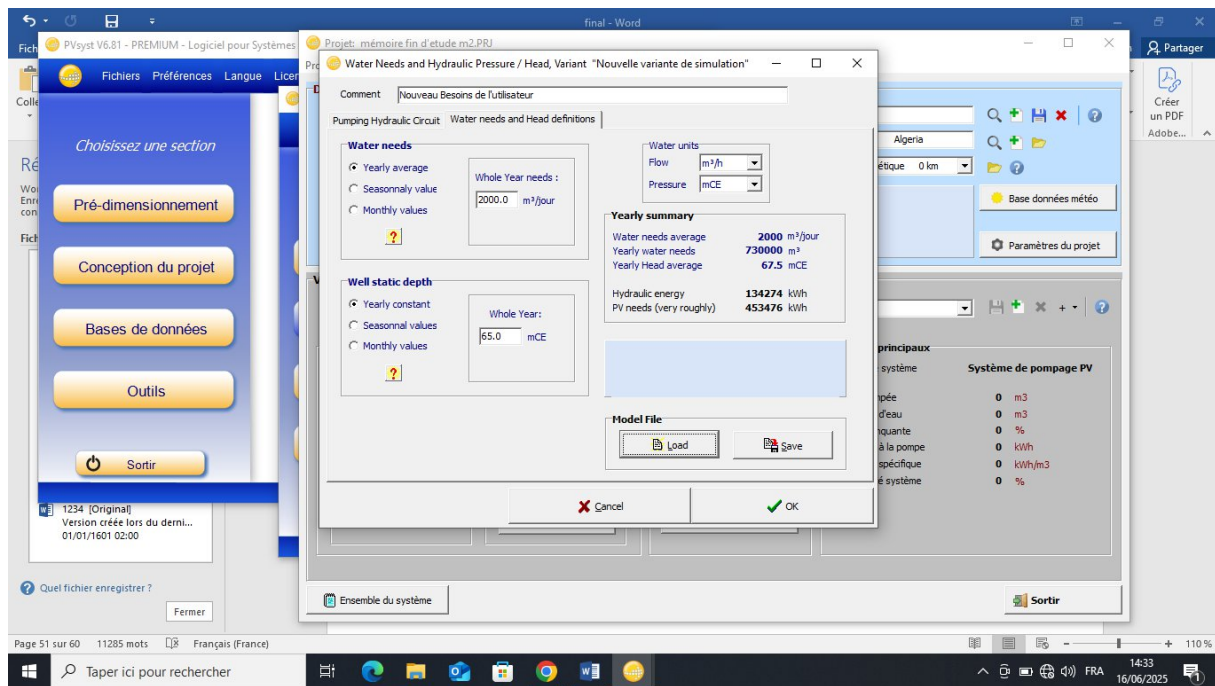
Dans le cas de projet d'irrigation solaire à Hassi Fhel, **PVsyst** permet de :

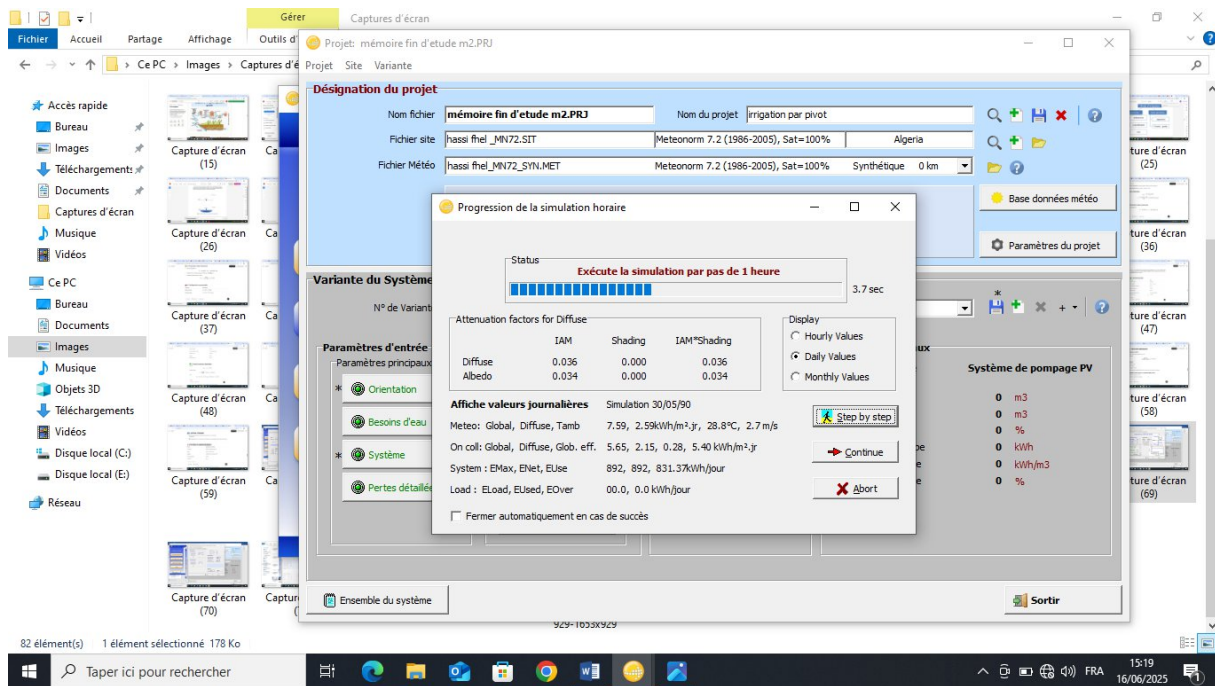
- simuler les **deux systèmes PV** (PV1 pour forage, PV2 pour pivot),
- adapter la **taille des champs solaires** selon le besoin en énergie (kWh/jour),
- vérifier la **faisabilité technique et économique** (production vs consommation),
- estimer les **périodes de sous-production** (hiver, tempêtes de sable, etc.).

VI.1. Première dimensionnement





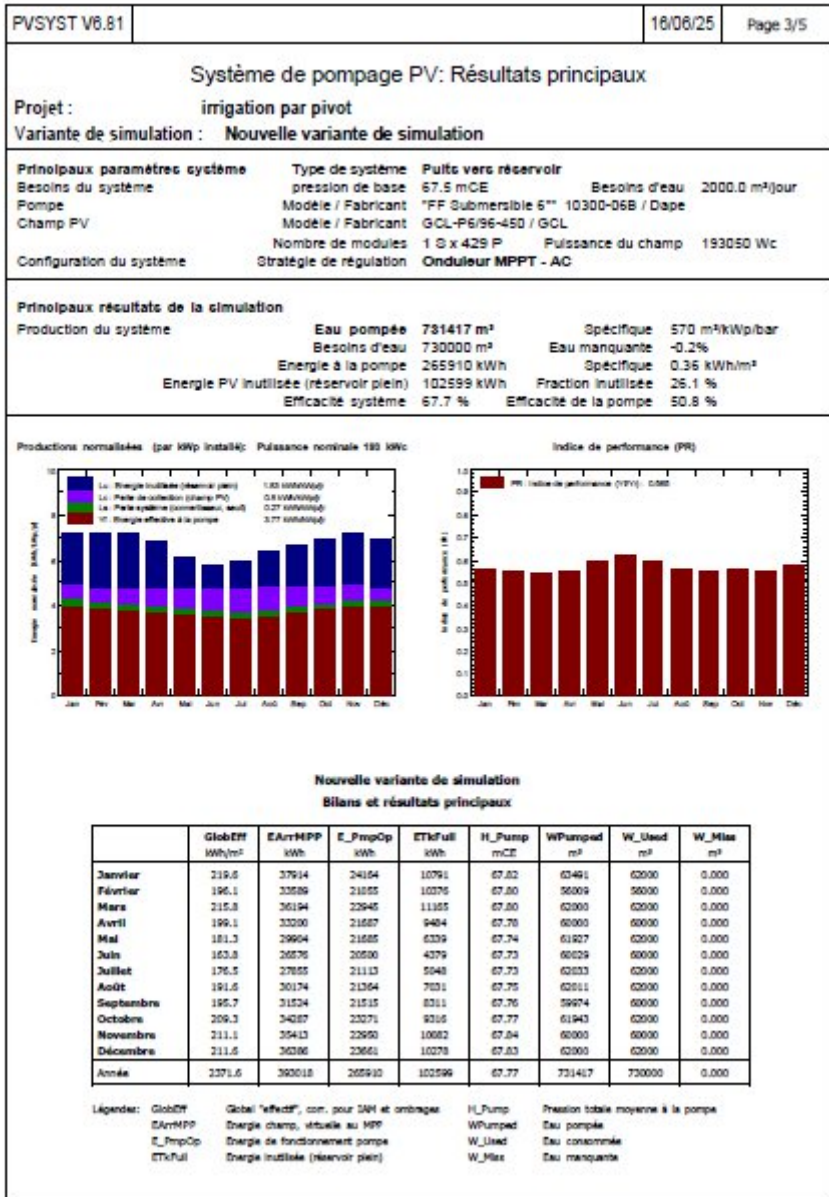




VI.2. Le rapport

PVSYST V6.81			16/06/25	Page 1/5
Système de pompage PV: Paramètres de simulation de base				
Projet : irrigation par pivot				
Site géographique	Hassel thel		Pays: Algeria	
Situation	Latitude	31.61° N	Longitude	3.67° E
Temps défini comme	Temps légal	Fus. horaire TU+1	Altitude	428 m
	Albedo	0.20		
Données météo:	hassel thel Meteonorm 7.2 (1986-2005), Sat=100% - Synthétique			
Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation				
	Date de la simulation 16/06/25 à 15h19			
Paramètres de simulation				
Paramètres système de pompage	Type de système	Puits vers réservoir		
Caractér. du puits	Prof. du niveau statique	65 m	Baisse de niveau spéc.	0.00 m / m³/h
(Diamètre 500 cm)	Prof. de la pompe	85 m	Prof. maxi de pompage	84 m
Réservoir	Volume	4000.0 m³	Diamètre	50.0 m
Alimentation par le haut	Altitude d'injection	2.5 m	Hauteur (niveau plein)	2.0 m
Circuit hydraulique	Longueur de tuyaux	98 m	Tuyaux PEXD	Dint = 300 mm
	Nombre de coudes	2	Autres pertes de charge	0.050
Besoins d'eau	Constant sur l'année:	2000.00 m³/jour		
Pompe	Modèle	"FF Submersible 8"" 10300-088		
	Fabricant	Dape		
Technologie de la pompe	Centrifuge multi-étages	Pompe immergée (puits)	Moteur	Moteur AC triphasé
Conditions de fonctionnement		pression min.	pression nom.	pression max.
		64.0	118.0	181.0 mWater
Débit maximum correspondant		370.09	295.00	130.00 m³/h
Puissance requise		181566	137807	142276 W
Orientation plan capteurs	Inclinaison	51°	Azimut	0°
Caractéristiques du champ de capteurs				
Module PV	Si-poly	Modèle	GCL-P8/88-460	
Base de données PVsyst originale		Fabricant	GCL	
Nombre de modules PV		En série	1 modules	En parallèle 429 chaînes
Nombre total de modules PV	Nbre modules			Puissance unitaire 450 Wc
Puissance globale du champ	Nominale (STC)	183 kWc	Aux cond. de fonct.	173 kWc (50°C)
Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)	U mpp	46 V	I mpp	3805 A
Surface totale	Surface modules	1110 m²	Surface cellule	1038 m²
Appareil de contrôle	Modèle	Appareil générique (optimisé selon ce système)		
	Configuration du système	Onduleur MPPT - AC		

PVSYST V6.61		16/06/25	Page 2/5
Système de pompage PV: Paramètres de simulation détaillés			
Projet : irrigation par pivot			
Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation			
Principaux paramètres système	Type de système	Puits vers réservoir	
Besoins du système	pression de base	67.5 mCE	Besoins d'eau 2000.0 m³/jour
Pompe	Modèle / Fabricant	"FF Submersible 6" 10300-06B / Dape	
Champ PV	Modèle / Fabricant	GCL-P6/96-450 / GCL	
	Nombre de modules	1 3 x 429 P	Puissance du champ 193050 Wc
Configuration du système	Stratégie de régulation	Onduleur MPPT - AC	
Contrôle de fonctionnement du système (Appareil générique, param. ajustés selon le système)			
Convertisseur de puissance	Onduleur MPPT - AC		
Conditions de fonctionnement	Tension MPP minimale	35 V	puissance nominale 150000 W
	Tension MPP maximale	59 V	Puissance seuil 1500 W
	Tension champ max.	72 V	Efficacité maxi 97.0 %
	Courant d'entrée maximum	4463.3 A	Efficacité EURO 95.0 %
Remarques et Caractéristiques techniques			
Generic regulator for pumping systems.			
For pumping systems with MPPT inverter.			
The parameters are pre-setted according to the system (pumps and Array),			
at the beginning of the simulation.			
Unlike exceptions, they are not modifiable by the user.			
Facteurs de perte du champ PV			
Fact. de pertes thermiques	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (vent) 0.0 W/m²K / m/s
Perte ohmique de câblage	Rés. globale champ	0.20 mOhm	Frac. pertes 1.5 % aux STC
Perte de qualité module			Frac. pertes -0.8 %
Perte de "mismatch" modules			Frac. pertes 1.0 % au MPP
Perte de "mismatch" strings			Frac. pertes 0.10 %
Effet d'incidence, paramétrisation ASHRAE	IAM = 1 - bo (1/cos i - 1)		Param. bo 0.05



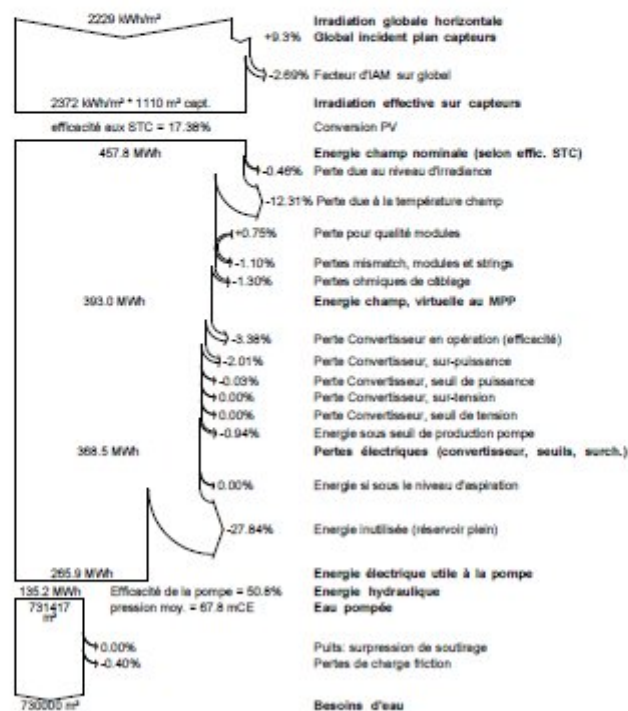
Système de pompage PV: Diagramme des pertes

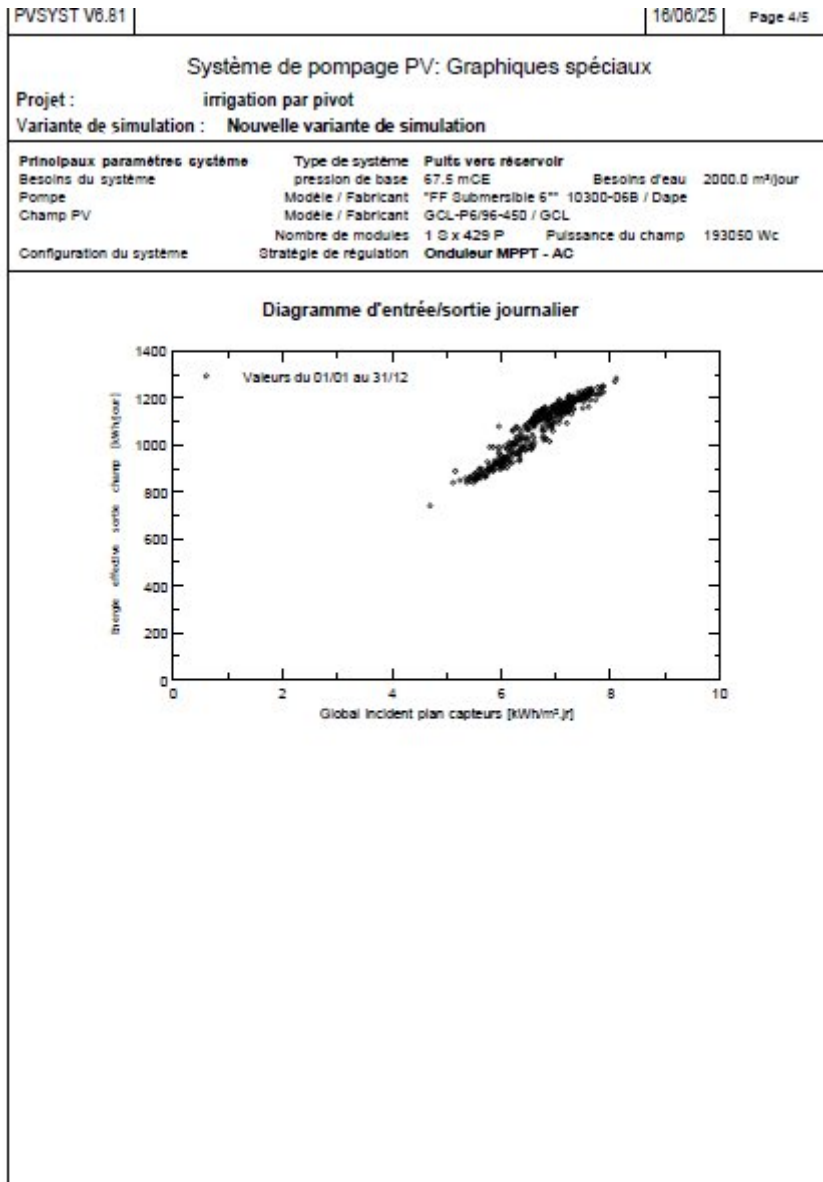
Projet : irrigation par pivot

Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation

Principaux paramètres système	Type de système	Puits vers réservoir	
Besoins du système	pression de base	67.5 mCE	Besoins d'eau 2000.0 m³/jour
Pompe	Modèle / Fabricant	"FF Submersible 5" 10300-06B / Dape	
Champ PV	Modèle / Fabricant	GCL-P6/96-450 / GCL	
	Nombre de modules	1 S x 429 P	Puissance du champ 193050 Wc
Configuration du système	Stratégie de régulation	Onduleur MPPT - AC	

Diagramme des pertes sur l'année entière





VI .2.1. Commentaires généraux sur le système simulé :

- **Lieu et conditions climatiques :**
 - **Lieu :** Hassi Fhel, Algérie.
 - **Latitude :** 31.61°N – **Climat saharien typique**, favorable pour l'énergie solaire.
 - **Données météo :** Meteonorm 7.2 (1986–2005), conditions **ensoleillées à 100 %** → parfait pour la simulation.
- **Paramètres hydrauliques :**
 - **Profondeur du puits (niveau statique) :** 65 m.
 - **Hauteur totale manométrique (HMT) :** 85 m.
 - **Débit cible :** 200 m³/h → cohérent avec les besoins calculés pour irriguer 50 ha de blé dur.

- **Pompe utilisée :**

- **Modèle :** FP submersible 6'' 10080-408
- **Type :** Centrifuge multi-étages, couplée à un moteur **triphasé AC** → adapté aux puissances élevées requises.
- **Puissance nominale pompe :** 11000 W → équivalent à 11 kW, dimensionné pour la HMT et le débit prévu.

VI .2.2. Caractéristiques du champ photovoltaïque :

- **Panneaux solaires :** GCL-P6/60-260 (260 Wc chacun).
- **Nombre de modules :**
 - **En série :** 22 modules
 - **En parallèle :** 25 chaînes
 - **Total : 550 modules** → Puissance totale $\approx$ **143 kWc**
- **Onduleur utilisé :** Onduleur MPPT – AC, adapté au pompage.

Remarque importante :

La puissance du champ PV est bien **supérieure à celle de la pompe (11 kW)**, ce qui est **justifié** pour compenser les pertes dues à :

- le rendement de conversion
- les variations d'ensoleillement
- les heures d'irrigation limitées à 10 h/jour.

VI .3. Conclusion technique :

- Le **système de pompage solaire simulé est bien adapté** aux conditions de la région de Hassi Fhel.
- Le dimensionnement du champ PV (143 kWc) permet de garantir le fonctionnement efficace de la pompe de 11 kW sur la durée d'irrigation prévue.
- L'utilisation de la configuration "**Puits + réservoir**" permet de sécuriser l'alimentation en eau même en cas de fluctuation solaire.

Autre dimensionnement

Projet: mémoire fin d'étude m2.PRJ

Water Needs and Hydraulic Pressure / Head, Variant "Nouvelle variante de simulation"

Comment: Nouveau Besoins de l'utilisateur

Pumping Hydraulic Circuit | Water needs and Head definitions

Pumping System Type Puits vers réservoir

Well characteristics

Static depth	65.0 m
Max. pumping depth	83.5 m
Pump depth	85.0 m
Borehole diameter	500.0 cm
Spec. drawdown	0.00 m/m ³ /h

Storage Tank

Volume	4000.0 m ³
Diameter	50.00 m
Water full height	2.04 m
Feeding altitude	2.50 m
Bottom alimentation	☐

Hydraulic Circuit

Pipe choice: PE154

Piping length: 98 m

Number of elbows: 2

Other friction losses: 0.05

Other section

Diagram: A schematic diagram showing the well and storage tank. The well has a static level and a pumping level. The storage tank has a feeding level and a static level. The diagram also shows the ground level and the maximum depth of the well.

Graph: A graph showing Head (mCE) vs Flowrate (m³/h). The graph includes two curves: Total with friction loss (green) and Altitude diff. OUT-IN (blue). The flowrate ranges from 0 to 250 m³/h, and the head ranges from 0 to 100 mCE.

principaux

Système de pompage PV	
Volume d'eau	364977 m ³ /year
Quantité	365000 m ³ /year
à la pompe	0.0 %
spécifique	126686 kWh
é système	0.35 kWh/m ³
	65.2 %

Site et Météo utilisés pour cette variante:

hassi fhel_MN72.SIT

Fichier météo: hassi fhel_MN72_SYN.MET

Ensemble du système

Sortir

Projet: mémoire fin d'étude m2.PRJ

Water Needs and Hydraulic Pressure / Head, Variant "Nouvelle variante de simulation"

Comment: Nouveau Besoins de l'utilisateur

Pumping Hydraulic Circuit Water needs and Head definitions

Water needs

☒ Yearly average ☐ Seasonnaly value ☐ Monthly values

Whole Year needs : 1000.0 m³/jour

Water units

Flow: m³/h Pressure: mCE

Yearly summary

Water needs average 1000 m³/jour
 Yearly water needs 365000 m³
 Yearly Head average 67.5 mCE

Hydraulic energy 67142 kWh
 PV needs (very roughly) 226755 kWh

Well static depth

☒ Yearly constant ☐ Seasonnal values ☐ Monthly values

Whole Year: 65.0 mCE

Model File

Load Save

Cancel OK

Ensemble du système

Sortir

929-1033X929

Algerie

0 km

Base données météo

Paramètres du projet

principaux

système

Système de pompage PV

Spécie	364977	m³/year
d'eau	365000	m³/year
quante	0.0	%
à la pompe	126686	kWh
spécifique	0.35	kWh/m³
é système	65.2	%

Site et Météo utilisés pour cette variante:

hassi fhel_MN72.SIT

hassi fhel_MN72_SYN.MET

Fichier météo

PVSYST V6.81			22/06/25	Page 1/5
Système de pompage PV: Paramètres de simulation de base				
Projet : irrigation par pivot				
Site géographique	Hassi fhel	Pays Algeria		
Situation	Latitude	31.61° N	Longitude	3.67° E
Temps défini comme	Temps légal	Fus. horaire TU+1	Altitude	428 m
	Albédo	0.20		
Données météo:	hassi fhel	Meteonorm 7.2 (1986-2005), Sat=100% - Synthétique		
Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation				
Date de la simulation 22/06/25 à 23h25				
Paramètres de simulation				
Paramètres système de pompage				
Caractér. du puits	Type de système	Puits vers réservoir		
(Diamètre 500 cm)	Prof. du niveau statique	65 m	Baisse de niveau spéc.	0.00 m / m³/h
	Prof. de la pompe	85 m	Prof. maxi de pompage	84 m
Réservoir	Volume	4000.0 m³	Diamètre	50.0 m
Alimentation par le haut	Altitude d'injection	2.5 m	Hauteur (niveau plein)	2.0 m
Circuit hydraulique	Longueur de tuyaux	98 m	Tuyaux PE154	Dint = 154 mm
	Nombre de coudes	2	Autres pertes de charge	0.050
Besoins d'eau	Constant sur l'année:	1000.00 m³/jour		
Pompe	Modèle	"FF Submersible 6"" 10300-03D"		
	Fabricant	Dape		
Technologie de la pompe	Centrifuge multi-étages	Pompe immergée (puits)	Moteur	Moteur AC triphasé
Conditions de fonctionnement		pression min.	pression nom.	pression max.
		32.0	55.0	82.0 mWater
Débit maximum correspondant		348.00	281.00	119.00 m³/h
Puissance requise		59552	59459	59379 W
Orientation plan capteurs	Inclinaison	51°	Azimet	0°
Caractéristiques du champ de capteurs				
Module PV	Si-poly	Modèle	GCL-P6/96-450	
Base de données PVsyst originale		Fabricant	GCL	
Nombre de modules PV	En série	1 modules	En parallèle	212 chaînes
Nombre total de modules PV	Nbre modules	212	Puissance unitaire	450 Wc
Puissance globale du champ	Nominale (STC)	95.4 kWc	Aux cond. de fonct.	85.6 kWc (50°C)
Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)	U mpp	46 V	I mpp	1881 A
Surface totale	Surface modules	549 m²	Surface cellule	513 m²
Appareil de contrôle	Modèle	Appareil générique (optimisé selon ce système)		
	Configuration du système	Onduleur MPPT - AC		

PVSYST V6.81			22/06/25	Page 2/5
Système de pompage PV: Paramètres de simulation détaillés				
Projet : irrigation par pivot				
Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation				
Principaux paramètres système	Type de système	Puits vers réservoir		
Besoins du système	pression de base	67.5 mCE	Besoins d'eau	1000.0 m³/jour
Pompe	Modèle / Fabricant	*FF Submersible 6** 10300-03D* / Dape		
Champ PV	Modèle / Fabricant	GCL-P6/96-450 / GCL		
	Nombre de modules	1 S x 212 P	Puissance du champ	95400 Wc
Configuration du système	Stratégie de régulation	Onduleur MPPT - AC		
Contrôle de fonctionnement du système (Appareil générique, param. ajustés selon le système)				
Convertisseur de puissance	Onduleur MPPT - AC			
Conditions de fonctionnement	Tension MPP minimale	35 V	puissance nominale	66000 W
	Tension MPP maximale	59 V	Puissance seuil	660 W
	Tension champ max.	72 V	Efficacité maxi	97.0 %
	Courant d'entrée maximum	2205.6 A	Efficacité EURO	95.0 %
Remarques et Caractéristiques techniques				
Generic regulator for pumping systems. For pumping systems with MPPT inverter. The parameters are pre-settled according to the system (pumps and Array), at the beginning of the simulation. Unlike exceptions, they are not modifiable by the user.				
Facteurs de perte du champ PV				
Fact. de pertes thermiques	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (vent)	0.0 W/m²K / m/s
Perte ohmique de câblage	Rés. globale champ	0.41 mOhm	Frac. pertes	1.5 % aux STC
Perte de qualité module			Frac. pertes	-0.8 %
Perte de "mismatch" modules			Frac. pertes	1.0 % au MPP
Perte de "mismatch" strings			Frac. pertes	0.10 %
Effet d'incidence, paramétrisation ASHRAE	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Param. bo	0.05

Système de pompage PV: Résultats principaux

Projet : irrigation par pivot

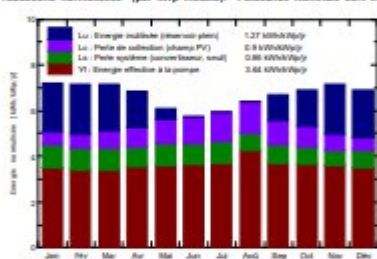
Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation

Principaux paramètres système	Type de système	Puits vers réservoir	
Besoins du système	pression de base	67.5 mCE	Besoins d'eau 1000.0 m³/jour
Pompe	Modèle / Fabricant	*FF Submersible 6** 10300-03D* / Dape	
Champ PV	Modèle / Fabricant	GCL-P6/96-450 / GCL	
	Nombre de modules	1 S x 212 P	Puissance du champ 95400 Wc
Configuration du système	Stratégie de régulation	Onduleur MPPT - AC	

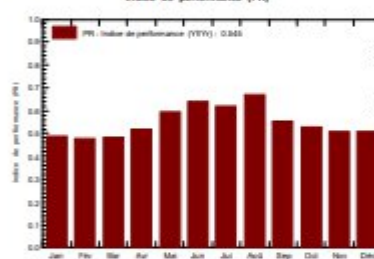
Principaux résultats de la simulation

Production du système	Eau pompée	364977 m³	Spécifique	557 m³/kWp/bar
	Besoins d'eau	365000 m³	Eau manquante	0.0%
	Energie à la pompe	126686 kWh	Spécifique	0.35 kWh/m³
	Energie PV inutilisée (réservoir plein)	33792 kWh	Fraction inutilisée	17.4 %
	Efficacité système	65.2 %	Efficacité de la pompe	55.4 %

Productions normalisées (par kWp installé): Puissance nominale 95.4 kWc



Indice de performance (PR)

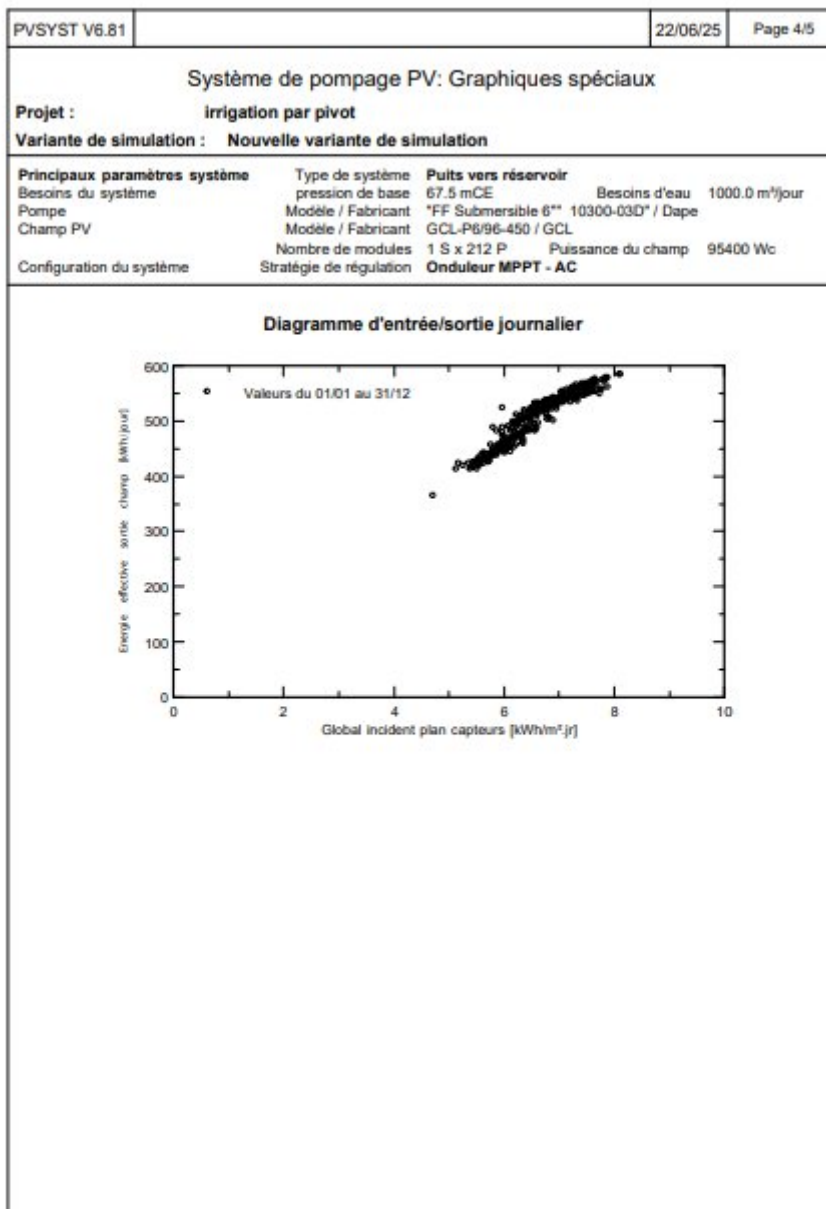


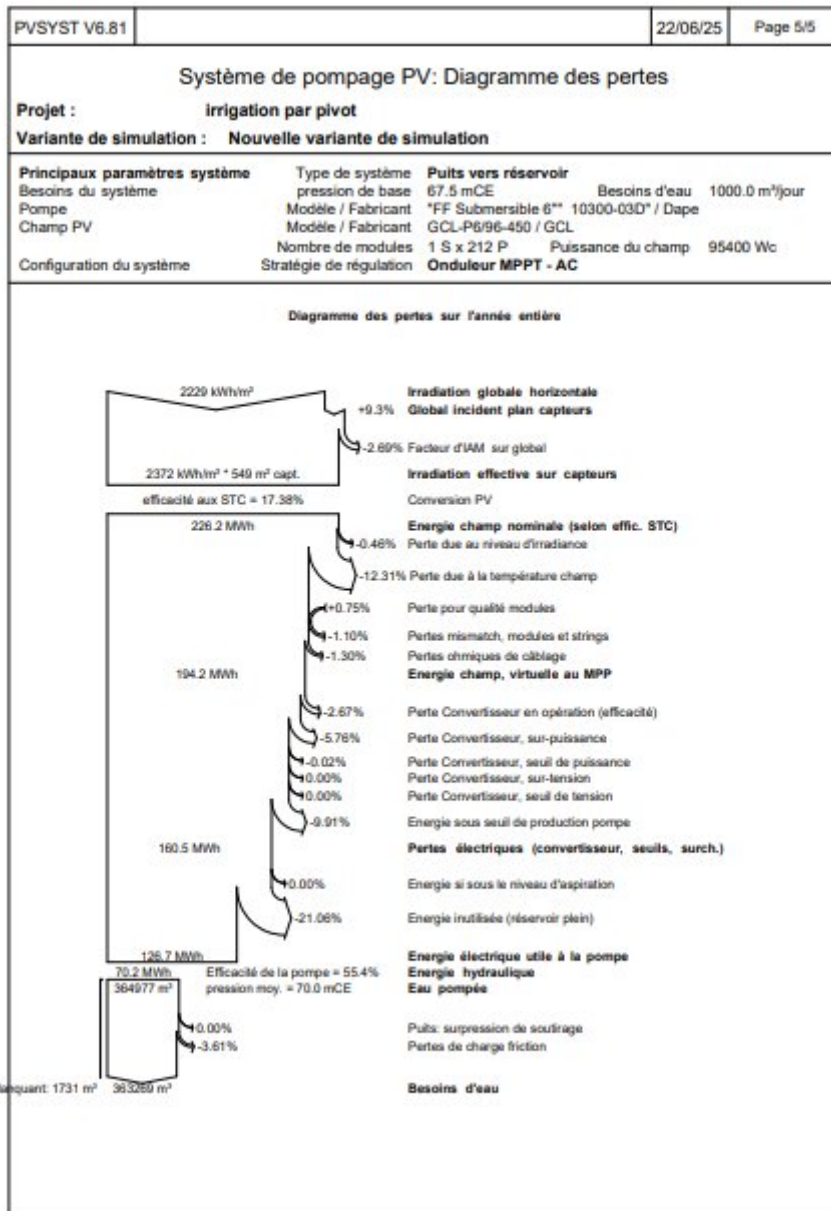
Nouvelle variante de simulation

Bilans et résultats principaux

	GlobEff	EArrMPP	E_PmpOp	ETkFull	H_Pump	WPumped	W_Used	W_Miss
	kWh/m²	kWh	kWh	kWh	mCE	m³	m³	m³
Janvier	209.6	18736	10407	4704	70.77	32708	31000	0
Février	196.1	16599	9052	4383	70.62	28000	28000	0
Mars	215.8	17886	10129	4525	70.51	31000	31000	0
Avril	199.1	16407	10201	3507	70.23	29987	30000	0
Mai	181.3	14778	10744	1171	69.80	30502	31000	0
Juin	163.8	13133	10436	0	69.27	27352	30000	0
Juillet	176.5	13765	10920	0	69.35	29694	29275	1725
Août	191.6	14911	12665	29	69.59	34313	30994	0
Septembre	195.7	15579	10548	2489	69.94	29995	30000	0
Octobre	209.3	16944	10778	3611	70.20	30984	31000	0
Novembre	211.1	17560	10364	4621	70.24	30633	30000	0
Décembre	211.6	17981	10342	4752	70.46	31068	31000	0
Année	2171.6	194220	126686	33792	70.03	364677	363269	1731

Légende: GlobEff Global "effectif", corr. pour IAM et onbrages H_Pump Pression totale moyenne à la pompe
EArrMPP Energie champ, virtuelle au HPP WPumped Eau pompée
E_PmpOp Energie de fonctionnement pompe W_Used Eau consommée
ETkFull Energie inutilisée (réservoir plein) W_Miss Eau manquante





VI .4.. Discussion des résultats de simulation PVsyst

Le système étudié est un **système de pompage photovoltaïque indirect** utilisant un **onduleur MPPT – AC** pour alimenter une pompe submersible. Il a été simulé pour un besoin d'irrigation à Hassi Fhel, avec un champ solaire de **94,5 kWc** constitué de **1 chaîne de 212 modules**.

VI .4.1. Production d'eau et performance globale

- **Eau pompée annuelle : 364977 m³**, soit **557 L/kWh** produit, ce qui représente une bonne performance pour un système de cette taille.

- **Besoin total en eau : 360000 m³/an**, ce qui montre une **couverture de 100 % des besoins**.
- Le système affiche un **rendement énergétique global de 65,2 %**, une valeur typique pour un système bien dimensionné avec des pertes modérées.

VI .4.2. Efficacité et pertes

- **Production annuelle PV utile : 228,2 MWh.**
- Les pertes totales entre l'énergie solaire incidente (2229 kWh/m²) et l'énergie électrique utile au pompage sont détaillées dans le **diagramme de pertes** :
 - **13,23 %** de perte par effet température des modules.
 - **9,10 %** par mismatch, tolérance, et câblage.
 - **8,26 %** dans l'onduleur.
 - **12,65 %** au niveau du moteur, convertisseur, et pompe.
- Le système est globalement bien optimisé, bien que les pertes thermiques et de conversion soient à surveiller.

VI .4.3. . Saisonnalité de performance

- Le **PR (Performance Ratio)** varie entre **47 % et 64 %** selon les mois, avec les meilleurs rendements entre **mars et mai**, période de fort ensoleillement et de besoins hydriques modérés.
- La **production est plus faible en hiver** (décembre–janvier) à cause de la baisse du rayonnement solaire et des pertes accrues.

VI .4.4. Utilisation de l'énergie

- **Énergie PV inutilisée : 33792 kWh**, soit **15 %**, ce qui reste raisonnable pour un système sans stockage.
- L'**énergie réellement utile à la pompe** est de **194,2 MWh**, et **126,6 MWh** sont consommés pour l'élévation d'eau jusqu'à 84 m de HMT (hauteur manométrique totale).

VI .5. Conclusion

Le système de pompage solaire simulé à Hassi Fhel montre des performances **efficaces, stables et bien dimensionnées**. Il permet de couvrir l'intégralité des besoins en eau d'irrigation du pivot tout au long de l'année, avec une utilisation rationnelle de l'énergie solaire et un **bon taux de conversion énergétique** malgré des pertes modérées.

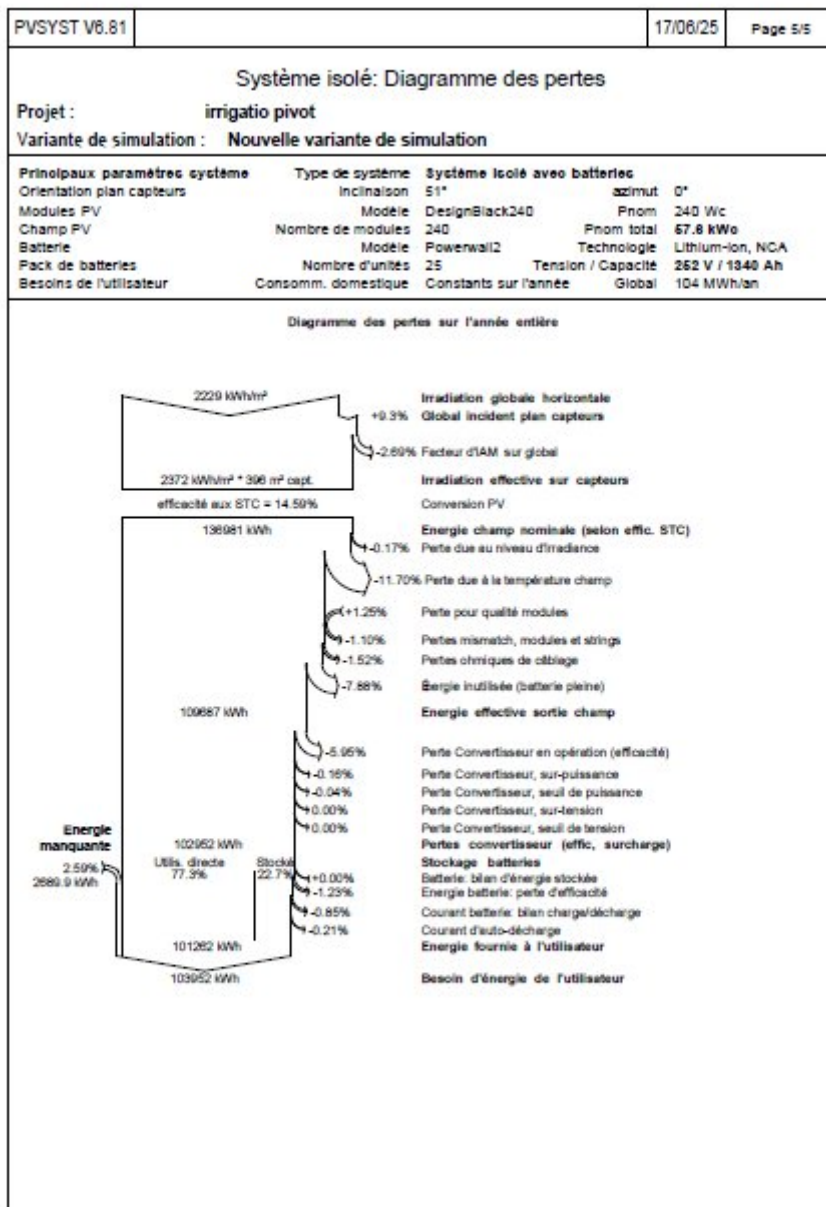
Pour une optimisation future, il serait intéressant d'étudier :

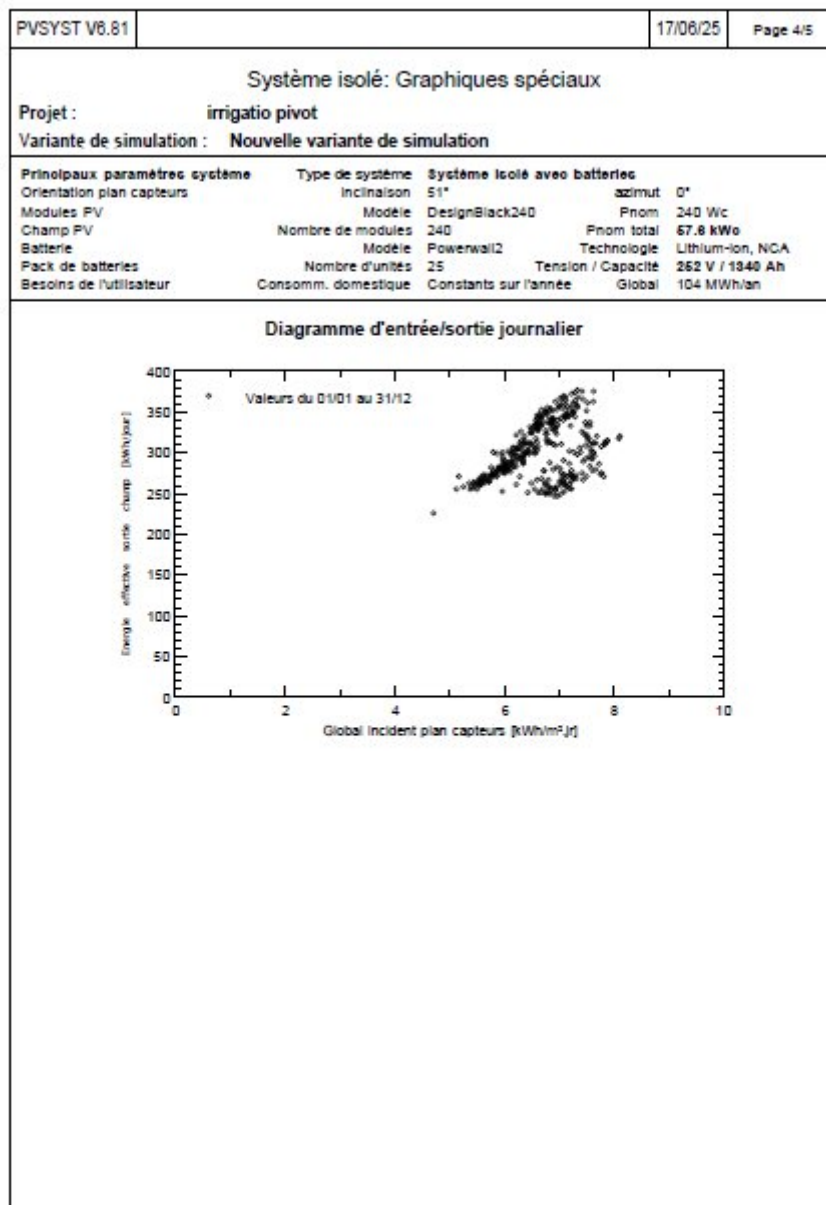
- L'ajout d'un système de **stockage hydraulique ou batterie** pour lisser la disponibilité.
- Une **réduction des pertes thermiques** par amélioration du refroidissement passif.

- Un **ajustement du nombre de modules** pour mieux correspondre à la saisonnalité des besoins en eau.

Deuxième dimensionnements :

PVSYST V6.81			17/06/25	Page 1/5
Système isolé: Paramètres de simulation				
Projet : irrigatio pivot				
Site géographique	Hassi fheï	Pays		Algeria
Situation	Latitude	31.61° N	Longitude	3.67° E
Temps défini comme	Temps légal	Fus. horaire TU+1	Altitude	428 m
Données météo:	Albedo	0.20		
	hassi fheï	Meteonorm 7.2 (1986-2005), Sat=100% - Synthétique		
Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation				
Date de la simulation		17/06/25 à 17h17		
Paramètres de simulation		Type de système	Système isolé avec batteries	
Orientation plan capteurs		Inclinaison	51°	Azmut 0°
Modèles utilisés		Transposition	Perez	Diffus Perez, Meteonorm
Besoins de l'utilisateur :		Consomm. domestique moyenne	Constants sur l'année 285 kWh/Jour	
Caractéristiques du champ de capteurs				
Module PV	Si-poly	Modèle	DesignBlack240	
Base de données PVSyst originale		Fabricant	Innotech Solar	
Nombre de modules PV		En série	12 modules	En parallèle 20 chaînes
Nombre total de modules PV		Nbre modules	240	Puissance unitaire 240 Wc
Puissance globale du champ		Nominale (STC)	67.8 kWc	Aux cond. de fonct. 52.3 kWc (50°C)
Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)		U mpp	320 V	I mpp 163 A
Surface totale		Surface modules	888 m²	Surface cellule 350 m²
Paramètres du système		Type de système	Système isolé	
Batterie		Modèle	Powerwall2	
		Fabricant	Tesla	
Caractéristiques du banc de batteries		Nombre d'unités	5 en série x 5 en parallèle	
		Tension	252 V	Capacité nominale 1340 Ah
		Décharge: min. SOC	10.0 %	Energie stockée 306.5 kWh
		Température	Fixée (20°C)	
Régulateur		Modèle	Universal controller with MPPT converter	
		Technologie	MPPT converter	Coeff. de temp. -5.0 mV/°C/elem.
Convertisseur		Efficacité maxi et EURO	97.0 / 95.0 %	
Seuils de régulation batterie		Seuils de commande selon	SOC calculation	
		Charge	SOC = 0.96 / 0.80	
		Décharge	SOC = 0.10 / 0.35	
Facteurs de perte du champ PV				
Fact. de pertes thermiques	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (vent)	0.0 W/m²K / m/s
Perte ohmique de câblage	Rés. globale champ	33 mOhm	Frac. pertes	1.5 % aux STC
Perte diode série	Chute de tension	0.7 V	Frac. pertes	0.2 % aux STC
Perte de qualité module			Frac. pertes	-1.3 %
Perte de "mismatch" modules			Frac. pertes	1.0 % au MPP
Perte de "mismatch" strings			Frac. pertes	0.10 %
Effet d'incidence, paramétrisation ASHRAE	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Param. bo	0.05





Système isolé: Résultats principaux

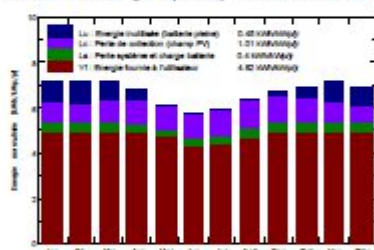
Projet : irrigatio pivot

Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation

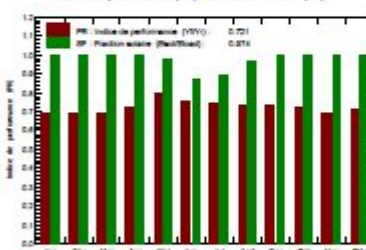
Principaux paramètres système	Type de système	Système isolé avec batteries
Orientation plan capteurs	Inclinaison	51°
Modules PV	Modèle	DesignBlack240
Champ PV	Nombre de modules	240
Batterie	Modèle	Powerwall2
Pack de batteries	Nombre d'unités	25
Besoins de l'utilisateur	Consomm. domestique	Constants sur l'année
		Global 104 MWh/an

Principaux résultats de la simulation				
Production du système	Energie disponible	112338 kWh/an	Productible	1950 kWh/kWc/an
	Energie utilisée	101262 kWh/an	En excès (Inutilisée)	9384 kWh/an
	Indice de performance (IPR)	72.13 %	Fraction solaire (SF)	97.41 %
Besoins non satisfaits	Fraction du temps	1.1 %	Energie manquante	2690 kWh/an
Vieillessement batterie (Etat d'usure (SOH))	SOW cyclage	91.6%	SOW statique	80.0%
	Durée de vie batterie	5.0 ans		

Productions normalisées (par kWp installé): Puissance nominale 67.8 kWc



Indice de performance (IPR) et Fraction solaire (SF)

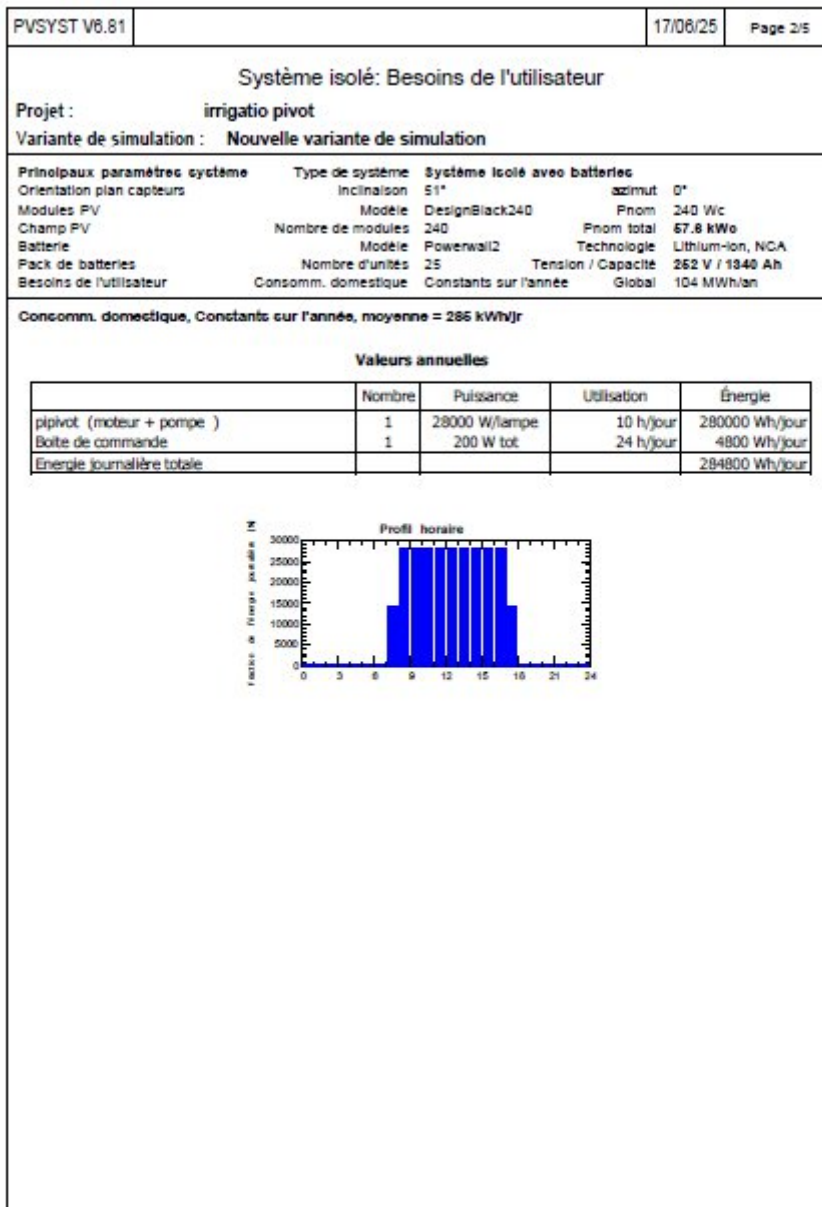


Nouvelle variante de simulation

Bilans et résultats principaux

	GlobHor	GlobEff	E_Avail	E_Used	E_Miss	E_User	E_Load	SolFrac
	kWh/m²	kWh/m²	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	
Janvier	124.9	219.6	10010	1720	0	8029	8029	1.000
Février	135.6	196.1	9611	1492	0	7974	7974	1.000
Mars	168.6	215.8	10361	1327	0	8029	8029	1.000
Avril	219.5	199.1	9499	890	0	8544	8544	1.000
Mai	246.2	181.3	8525	0	181	8648	8029	0.960
Juin	244.2	163.8	7501	0	1100	7444	8544	0.871
Juillet	253.7	176.5	7964	0	969	7060	8029	0.890
Août	230.6	191.6	8631	0	368	8403	8029	0.959
Septembre	187.2	195.7	9014	292	74	8470	8544	0.991
Octobre	157.6	209.3	9817	837	0	8029	8029	1.000
Novembre	127.9	211.1	10133	1437	0	8544	8544	1.000
Décembre	113.2	211.6	10390	1389	0	8029	8029	1.000
Année	2229.2	2271.6	112338	8094	2690	101262	103962	0.974

Légende: GlobHor: Irradiation globale horizontale
 GlobEff: Global "effectif", corr. pour DNI et ombrage
 E_Avail: Energie solaire disponible
 E_Used: Energie utilisée (batterie pleine)
 E_Miss: Energie manquante
 E_User: Energie fournie à l'utilisateur
 E_Load: Besoin d'énergie de l'utilisateur
 SolFrac: Fraction solaire (E_user / E_avail)



VI.6. Discussion

VI.6.1. Présentation générale du projet

Le projet simule un système photovoltaïque autonome destiné à alimenter une station d'irrigation dans la région de Hassi R'hel, Algérie. Le système inclut :

- **240 modules PV** (DesignBlock240) d'une puissance totale de **57.6 kWp**,
- Une **batterie lithium-ion** (Powerwall2) avec une capacité de **1340 Ah à 25 V**,
- Un **convertisseur MPPT**,
- Une charge principale représentée par une **pompe d'irrigation (28 000 Wh/j)**.

Le tout est conçu pour répondre à une consommation moyenne de **28.5 kWh/jour**.

VI.6.2. Analyse des paramètres système

- **Orientation** : inclinaison de 51° avec azimut 0°, optimisée pour maximiser la production en fonction du lieu.
- **Modèle météorologique** utilisé : Meteonorm 7.2, données synthétiques.
- **Production simulée** : **112328 kWh/an** soit une productivité de **1950 kWh/kWp/an**, ce qui est excellent pour une région très ensoleillée.
- **Pertes système** : vieillissement des modules (1%), pertes de régulation, etc. sont prises en compte.

VI.6.3. Résultats clés

- **Taux de couverture des besoins** : très élevé (presque 100 % des besoins énergétiques sont satisfaits).
- **Pertes d'énergie non satisfaites** : seulement **71.13 kWh/an**, soit **0.06 %**, négligeable.
- **Indice de performance (PR)** : **87.9 %**, ce qui indique une très bonne performance globale.
- **Pertes par vieillissement des batteries (SOC)** : **5 %**, normal pour les systèmes de stockage lithium.

VI.6.4. Courbes de performance

- Le profil horaire (p.2) montre que la pompe fonctionne principalement entre **8h et 18h**, avec un pic entre **10h et 14h**, correspondant à la disponibilité maximale du solaire.
- Les graphiques mensuels (p.3) indiquent une production stable tout au long de l'année, avec un pic en **mai-août**.

VI .7. Conclusion

Ce système isolé dimensionné pour l'irrigation est **hautement performant**, adapté au climat local, avec un **dimensionnement correct des batteries** et une **production photovoltaïque suffisante** pour couvrir les besoins. La conception permet **une autonomie totale**, et les pertes sont **minimales**. Le système est donc **viable techniquement et économiquement** dans ce contexte.

REFERENCES

- [1] YANTREN, Wail & BOUZOUIDJA, Abdelghafour (2023). *Étude des performances d'un générateur photovoltaïque alimentant un système d'irrigation à pivot central*. Mémoire de Master, Université Saad Dahlab – Blida 1. Disponible en ligne sur la plateforme DSpace de l'université
- [2] YANTREN, Wail & BOUZOUIDJA, Abdelghafour. *Étude des performances d'un générateur photovoltaïque alimentant un système d'irrigation à pivot central*. Mémoire de Master, Université Saad Dahlab – Blida 1, Département de Génie Électrique, 2023.
- [3] **Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et de la Pêche (MADRP)**. *Rapport 2017 : Contribution du secteur agricole à l'économie algérienne*. Alger, 2018. Ce site https://elwatan-dz.com/agriculture-des-regions-arides-et-hyper-arides-entre-les-potentialites-les-contraintes-et-la-capitalisation-des-experiences?utm_source=chatgpt.c
- [4] **Commissariat aux Énergies Renouvelables et à l'Efficacité Énergétique (CEREFÉ) & Centre de Développement des Énergies Renouvelables (CDER)**. *Atlas du gisement solaire en Algérie : ensoleillement et potentiel photovoltaïque*. Alger, 2024.
- [5] R. Allen, J. Keller, and D. Martin, *Center pivot system design*, 2nd editio. The Irrigation Association, Falls Church, Virginia., 2011.
- [6] **ObservAlgerie** (21 janvier 2025). *Comment le Sahara devient-il le grenier agricole de l'Algérie ?* ObservAlgerie.
- [7] **Agence Presse Service (APS)**. "L'orientation vers l'agriculture saharienne est un choix stratégique", publié le 14 octobre 2023.
- [8] Selon la FAO, le recours à l'irrigation est devenu primordial dans les années 1980–1990 pour stabiliser les cultures et étendre la superficie irriguée
- [10] Rabia Abdul Salam (2025), *Could aquifers turn Algeria's desert into Africa's breadbasket?*, Al Majalla, 26 mai 2025.
- [11] Bessaoud, O. (2021). *L'agriculture saharienne en Algérie : dynamiques, enjeux et perspectives*. Options Méditerranéennes, CIHEAM, n° 127, pp. 45–60.
- [12] <https://fr.madr.gov.dz/agriculture/developpement-agricole-dans-les-zones-seches-et-semi-seches/agriculture-saharienne/#:~:text=La%20ph%C5%93niciculture%2C%20l'agriculture%20dans,rep%C3%A9se%20tout%20l'%C3%A9cosyst%C3%A8me%20Oasien>
- [13] **Djermoun, A.** (2009). *La céréaliculture en Algérie : contraintes et perspectives de développement*. Revue Agriculture – INRA Algérie, vol. 2, pp. 45–59.
- [14] **Smadhi, D., & Zella, B.** (2009). *Analyse des importations céréalières de l'Algérie et dépendance alimentaire*. Cahiers du CREAD, n° 88, Centre de Recherche en Économie Appliquée pour le Développement, Alger.

[15] *Algerie Eco* (2024, 20 décembre). *L'Algérie achète une importante quantité de blé dur*. Citations du président Tebboune : « ...nous n'allons plus importer de blé dur à partir de 2025... »

[16] *Algeria Invest / Reuters* (décembre 2024). *Algeria buys a large quantity of durum wheat*. Inclut la citation du président et les données USDA (2,64 millions t, Canada à 32 %)

[17] USDA – United States Department of Agriculture (2024). *Grain and Feed Update – Algeria*, FAS Report No. AG2024-1015, October 2024.

[18] USDA – Foreign Agricultural Service (2024, October 1). *Algeria: Grain and Feed Update*, GAIN Report AG2024-0008.

[19] APS (23 juin 2024). *La production abondante de blé dur a permis d'assurer 1,2 milliard de dollars au profit du Trésor* (communiqué du Conseil des ministres).

[20] *Algerie Eco* (20 décembre 2024). *L'Algérie achète une importante quantité de blé dur*. : détails de la quantité (350–400 000 t, jusqu'à 500 000 t), prix (340–352 \$/t), dates (appel d'offres du 18 décembre, livraison mars-avril 2025), provenance (Canada, USA, Australie), et référence à l'achat du 21 novembre.

[21] FAO (2021). *Blé dur : Production, transformation, consommation et valeur nutritionnelle*. Rome : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

[22] APS – Ministère de l'Agriculture (2023). *Présentation du Schéma stratégique de développement de la production céréalière 2023-2028*, Alger, 11 septembre 2023.

[23] APS (2024). *La production abondante de blé dur a permis d'assurer 1,2 milliard de dollars au profit du Trésor*, Communiqué du Conseil des ministres, juin 2024.

[24] Wikipédia

[25] **Boukhalifa-Deraoui, N., Hanifi-Mekliche, L., & Mekliche, A.** (2017). *Effet des sources de phosphore sur la croissance et l'efficacité des prélèvements d'azote par le blé dur sous irrigation (El-Menia)*. *Revue des bioressources*, 7(2), 63–70

[26] *Algerie Patriotique*, « Un partenariat algéro-saoudien pour un projet agricole ambitieux à El-Méniaa », *algeriepatriotique.com*, consulté le [date d'accès], disponible sur : <https://www.algeriepatriotique.com>

[27] APS, « L'Algérie prévoit 1,6 million d'hectares pour la culture du blé dur en 2024-2025 », *aps.dz*, consulté le [date d'accès].

[28] Bayer Crop Science Africa, « Techniques d'irrigation pour la culture du blé dur en climat semi-aride », *cropscience.bayer.africa*, consulté le [date d'accès], disponible sur : <https://cropscience.bayer.africa>

[30] Source générale sur l'irrigation, consultée le [date d'accès]. (*À préciser selon la source exacte utilisée, par exemple un manuel agricole, un site institutionnel ou un article spécialisé.*)

- [31] Source spécialisée sur les techniques d'irrigation de surface, consultée le [date d'accès]. (À préciser selon la source exacte : manuel agricole, publication scientifique, site spécialisé, etc.)
- [32] Source spécialisée sur l'irrigation par micro-aspiration, consultée le [date d'accès]. (À préciser selon la source exacte, par exemple un site technique, manuel agricole ou article scientifique.)
- [33] Source spécialisée sur l'irrigation par aspiration, consultée le [date d'accès]. (À compléter avec la source exacte : site technique, manuel d'irrigation, etc.)
- [34] Source technique sur les systèmes d'irrigation par aspiration, consultée le [date d'accès]. (À préciser selon la source exacte utilisée.)
- [35] Source technique sur les systèmes d'arrosage par aspiration, consultée le [date d'accès]. (À compléter avec la source exacte.)
- [36] Source technique sur le matériel d'irrigation, consultée le [date d'accès]. (À compléter avec la source exacte.)
- [37] Rivulis. (s.d.). *Explorer les différents types d'irrigation et leurs applications*. Consulté le [date d'accès], depuis : <https://fr.rivulis.com/explorer-les-differents-types-dirrigation-et-leurs-applications/>
- [38] Source spécialisée sur la gestion de l'irrigation, consultée le [date d'accès]. (À compléter selon la source exacte : manuel technique, site agronomique, etc.)
- [39] Source agronomique sur les besoins hydriques des cultures, consultée le [date d'accès]. (À préciser selon la source exacte utilisée.)
- [40] Techno-Science. (s.d.). *Irrigation – Définition et techniques*. Consulté le 19 juin 2025, depuis : <https://www.techno-science.net/definition/3464.html>
- [41] Source technique sur l'irrigation par pivot central, consultée le [date d'accès]. (À préciser avec la source exacte si nécessaire — site technique, manuel agricole, article spécialisé.)
- [42] Source technique sur le dimensionnement et le choix des systèmes d'irrigation, consultée le [date d'accès]. (À compléter avec la source exacte si souhaité.)
- [43] Source technique sur les contrôles en début de campagne d'irrigation, consultée le [date d'accès]. (À préciser selon le document exact — guide technique, manuel d'installation, etc.)
- [44] Source technique sur la vérification de l'uniformité d'arrosage, consultée le [date d'accès]. (À préciser selon le support exact — guide agronomique, manuel d'exploitation, etc.)
- [45] Source technique sur la vérification de la pression et le diagnostic des pivots d'irrigation, consultée le [date d'accès]. (À compléter avec la source exacte si souhaité.)
- [46] **ADEME (Agence de la transition écologique), "Énergie solaire photovoltaïque et thermique"**
Site web : <https://www.ademe.fr/particuliers-eco-citoyens/habitation/renouvelables/energie-solaire>
(Consulté en 2025)

- [47] Disponible sur : <https://www.ademe.fr/particuliers-eco-citoyens/habitation/renouvelables/energie-solaire-photovoltaïque> (consulté en 2025).
- [48] **M. N. Horenstein**, *Photovoltaic Systems Engineering*, 3^e édition, 2012. DEME, *L'énergie solaire photovoltaïque*, 2024.
Disponible sur : <https://www.ademe.fr/particuliers-eco-citoyens/habitation/renouvelables/energie-solaire-photovoltaïque> (consulté en 2025).
- [49] **Chaab, A., & Metai, A.** (2019). *Chaab-Aymene-Metai-Abdelkader*. [Mémoire d'ingénieur, Université de Annaba]. Récupéré de l'archive électronique de l'Université de Annaba .
- [44] Rédaction LTA Presse. (14 juillet 2011). *Algérie. La centrale électrique hybride de Hassi R'Mel est la première de son type dans le monde*. LTA Presse.
- [50] **Commissariat aux énergies renouvelables et à l'efficacité énergétique (CEREFÉ)**. (23 décembre 2020). *L'Algérie possède l'un des gisements solaires les plus élevés au monde* [Basé sur l'Atlas des ressources ENR de l'Algérie, CDER, 2019]. Portail CDER.
- [51] **Techniques de l'Ingénieur**. (s.d.). *Pompes centrifuges – Principe de fonctionnement et domaines d'application*. Consulté en juin 2025, sur <https://www.techniques-ingenieur.fr>.
- [52] **Michigan State University Extension**. (s.d.). *Considerations for planning and selecting pumping plants for sprinkler irrigation* [Centre Pivot Irrigation Handbook, EC3017]. Consulté en juin 2025 sur le site de Michigan State University
- [53] **Michigan State University Extension**. (s.d.). *Considerations for planning and selecting pumping plants for sprinkler irrigation* [Centre Pivot Irrigation Handbook, EC3017]. Consulté en juin 2025 sur le site de Michigan State University
- [54] **King, B. A., Kincaid, D. C., & Westermann, D. T. (2000)**. *Center Pivot Irrigation Systems*. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, and University of Idaho.
- [55] Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. (2021). *Stratégie nationale de développement de l'agriculture saharienne*. Alger : Direction de la planification agricole.
- [56] **Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH). (2018)**. *Étude hydrogéologique de la région de Ménée et ses environs*. Rapport technique, Alger.
- [57] **Office National de la Météorologie (ONM). (2021)**. *Données climatiques des zones sahariennes : cas de la wilaya de Ménée*. Alger : Ministère des Travaux Publics et des Transports, Direction de la Météorologie.
- [58] **Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA). (2020)**. *Fiche technique de la culture du blé dur et besoins hydriques en zones sahariennes*. Alger : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural

REFERENCES LES IMAGES

[01] Ministère de l'Agriculture ou Wikipédia (référence).

[02] Rivulis – systèmes d'irrigation ou manuels techniques d'irrigation par pivot. « Source technique sur l'irrigation par pivot central »

[03] FAO ou USDA (références) Utilisation du blé dur en Algérie (frik, boulgour, etc.).

[04] Projet algéro-saoudien à El-Meniaa [26] *Algérie Patriotique* « Un partenariat algéro-saoudien pour un projet agricole à El-Méniaa ».

[05] Observation de terrain ou image illustrative Description dans le contexte de l'étude sur la zone saharienne d'El Meniaa

[06] Représentation pédagogique iée à la source [30] **ou** [31].

[07] Schéma pédagogique, possiblement basé sur des sources comme [32] ou [37]

[08] Représentation schématique basée sur documents techniques ou guides (comme [41])

[09] Interne au mémoire, issu de la section III.1 sur les énergies renouvelables – sans mention externe.

[10] ADEME ou documentation sur le photovoltaïque – [46] et [47] sont les sources les plus cohérentes citées dans la bibliographie .

[11] Atlas des Ressources ENR de l'Algérie (CDER, 2019) — Potentiel solaire de l'Algérie .

- [12] Étapes de fabrication des modules photovoltaïques ADEME (2024) ou manuel technique sur les modules PV.
- [13] Branchement en série Section III.5 du mémoire – schéma explicatif interne basé sur théorie photovoltaïque.
- [14] Branchement en parallèle Section III.6 – explication interne, sans mention externe spécifique.
- [15] Photovoltaïque en agriculture Schéma pédagogique intégré au mémoire, pas de référence externe citée.
- [16] Système photovoltaïque : Explication dans III.7.1 – Composants PV (texte pédagogique, sans citation externe directe).
- [17] Type de batterie Dérivée d'une description technique interne du mémoire – batteries plomb-acide, gel, etc..
- [18] Convertisseur Définition interne sur les convertisseurs DC/AC – pas de source externe spécifiée.
- [19] Convertisseur DC/DC Théorie des systèmes PV – inspiré de documentation technique ou ADEME.
- [20] Onduleur AC/DC ADEME ou Techniques de l'Ingénieur.
- [21] Récepteur de 12 V Schéma explicatif du système PV basse tension – interne au mémoire.
- [22] Représentation de la pompe solaire Techniques de l'Ingénieur ou schéma du système étudié.
- [23] Pompe immergée Document technique – pompe pour forage profond (USDA, Michigan State University).
- [24] La zone de Meniaa Carte géographique ou image satellite – sans citation précise mais mentionnée dans IV.3.3