

Projet de Fin d'Études présenté pour l'obtention du Diplôme
d'Ingénieur d'État en Génie Rural

Analyse des performances des systèmes
d'irrigation alimentés par le pompage solaire dans la
vallée de Todgha-Ferkla

Présenté et soutenu publiquement par :

AMRAOUI Hind & BOUKOUMASS Fatima Zahra

Devant le Jury composé de :

Dr. A. TAKY	Président	IAV Hassan II
Mme. E. ELMEKNASSI YOUSOUFI	Rapporteur	IAV Hassan II
Pr. A. HAMMANI	Co-Rapporteur	IAV Hassan II
Dr. G. LACOMBE	Examineur	Cirad/IAV Hassan II
Mr. M. SAADA	Examineur	ANDZOA

Septembre 2021

Avant-Propos

Le présent travail est réalisé dans le cadre et par appui financier du projet MASSIRE concentré sur l'Innovation rurale et Eau dans les territoires Sud du Maghreb. Un projet qui a commencé en 2019 et va mettre fin en 2023, vise à renforcer les capacités des acteurs des zones oasiennes et arides du Maghreb pour développer et mettre en œuvre des innovations permettant un développement durable de ces territoires confrontés à de grandes contraintes liées principalement au climat, l'accès aux ressources en eaux disponibles et le phénomène de décentralisation.

Dédicace

*Au nom du dieu le clément et le miséricordieux louange à ALLAH le tout
puissant*

Au meilleur des pères

*Dont le mérite, les sacrifices et les qualités humaines m'ont permis de
vivre ce jour. Qu'il trouve en moi la source de sa fierté, je suis tellement
reconnaissante à tous ce que tu as présenté pour moi, et sache que ces mots
restent insuffisants pour l'exprimer*

A ma mère

A mes sœurs Chaimae & Malak

A qui je souhaite un avenir radieux plein de réussite

A ma chère Binôme Fatima Zahra

Merci pour rendre ce travail très spécial

A mes cher(e)s Ami(e)s

A la famille GR

*Je vous dédie ce modeste travail en signe de respect, reconnaissance et
de remerciement*

Hind

Dédicace

Louange à Dieu pour sa miséricorde et sa bonté.

A mes chers parents

Secrets de ma force, pour toutes ces années d'accompagnement, de sacrifices et de privations qui ne peuvent jamais s'exprimer, aucun acte ou expression et aucune dédicace ne pourra exprimer mon profond amour filial et mes sentiments de reconnaissances, de gratitude et de dévouement envers vous ! J'espère que j'ai pu vous rendre fiers.

Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de votre part.

Que dieu vous garde vous procure santé et bonheur... !

Mon cher frère et sœurs : Amina, Khadija, Maryam et El Mokhtar.

Pour votre aide, et votre appui dans les moments difficiles, je vous remercie du fond de mon cœur, vous m'avez toujours soutenu, de prêt ou de loin.

Veillez trouver dans ce travail un modeste témoignage de mon admiration et toute ma gratitude, de mon affection la plus sincère et de mon attachement le plus profond.

A ma chère binôme AMRAOUI Hind

Je suis très fière et honorée d'avoir eu la chance de travailler avec toi, ce rapport n'est que le fruit de nos efforts consentis, je te remercie pour ta patience, ton optimisme, ta gentillesse et ton travail acharné.

A vous tous ma grande famille et mes amis

Que ce modeste travail vous honore et vous témoigne mes reconnaissances.

Fatima zahra BOUKOUMASS

Remerciement

En tout premier lieu, nous remercions le bon Dieu, tout puissant, de nous avoir donné la force pour survivre, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements et notre profonde reconnaissance à notre encadrante, **Mme. Ehssan ELMEKNASSI YOUSOUFI** pour nous avoir donné l'opportunité de travailler sur ce sujet, pour son encadrement, ses orientations et ses conseils précieux, ses encouragements inlassables, son amabilité, et sa gentillesse méritent toute admiration.

Nos remerciements s'étendent également à **Prof. Ali HAMMANI** pour la qualité de son encadrement, pour son soutien, ses orientations constructives, sa grande disponibilité et ses conseils avisés qui nous ont éclairé le chemin de la recherche.

Nous exprimons aussi toute notre reconnaissance à **Mr. KHARDI Yassine** pour son encadrement sur terrain, ses encouragements ainsi que le temps et les moyens qu'il a mis à notre disposition dès notre arrivée à Tinghir.

Aussi nous exprimons nos sincères remerciements **aux membres des institutions visitées** sur terrain, aux **agriculteurs et fournisseurs enquêtés** pour le temps qu'ils ont bien voulu nous consacrer afin de répondre à nos questions, nous tenons à les remercier pour leur collaboration, leur aide et leur gentillesse.

Notre profonde gratitude à **Dr. Abdelilah TAKY** qui nous a honoré en acceptant de présider le jury de notre soutenance, et aux membres de jury, **Dr. Guillaume LACOMBE** et **Mr. Mohamed SAADA** pour avoir accepté de juger ce travail et de l'enrichir de leurs remarques.

Nos sincères remerciements vont également à tout le corps professoral et le personnel du Département Génie Rural de l'IAV Hassan II pour les efforts considérables qu'ils dispensent pour améliorer la qualité de la formation Génie Rural.

Résumé

Au Maroc, l'utilisation de l'énergie solaire pour le pompage de l'eau d'irrigation est en phase de devenir une alternative au pompage thermique (gasoil et butane) qui présente des faibles rendements et émette des gaz à effet de serre. Cependant, la réduction des coûts de fonctionnement peut conduire à une surexploitation des ressources en eau.

Dans ce contexte, la présente étude porte sur la description et l'analyse des performances des systèmes de pompage solaire et des systèmes d'irrigation dans la Vallée de Todgha-Ferkla. La finalité est de caractériser les installations de pompage solaire dans la zone d'étude et de déterminer l'impact de déploiement de cette technique sur les pratiques d'irrigation et sur les ressources en eau souterraine.

Pour atteindre ces objectifs la démarche méthodologique a été basée sur des enquêtes et des mesures sur le terrain et des interviews avec différents acteurs. Les enquêtes ont concerné 38 exploitations de pompage individuel, 6 périmètres de pompage collectif. Les interviews ont concerné 6 fournisseurs de matériels d'installation du solaire, répartis au niveau de la zone d'étude. Nous avons procédé également à la réalisation des mesures in-situ du débit de pompage, des débits des goutteurs et des pressions pour évaluer les performances des systèmes d'irrigation localisée fonctionnant à énergie solaire en se basant sur des indicateurs techniques (taux de satisfaction des besoins en eau des cultures et le coefficient d'uniformité d'arrosage).

Le diagnostic du fonctionnement des installations photovoltaïques a permis de mettre en évidence plusieurs anomalies au niveau de l'installation, dans la gestion de ces installations, et dans l'entretien et la maintenance des systèmes solaires. Nous avons conclu qu'il faut accompagner les agriculteurs et leur assurer des formations pour qu'ils apprennent à bien gérer leurs installations photovoltaïques ainsi que de garantir un bon dimensionnement.

L'analyse des pratiques d'irrigation et ses performances a montré que l'utilisation du solaire impacte fortement les pratiques d'irrigation et le mode d'exploitation des ressources souterraines. Nous avons abouti également à partir de l'analyse des données qualitatives déclarées par les agriculteurs et par des données quantitatives, l'évaluation du taux de satisfaction des besoins en eau des cultures, que les exploitants ayant accès à la ressource en eau souterraine marquée par une disponibilité de l'eau, exploitent la nappe de façon incontrôlable et non raisonnée. Ceci est notamment dû à l'absence de l'application de la réglementation et des restrictions qui limitent le pompage excessif via l'énergie solaire.

Enfin, l'analyse du marché local des installations photovoltaïques dans la zone d'étude a indiqué qu'il s'est développé au cours de ces dernières décennies et qu'il connaît quelques faiblesses. De ce fait, nous recommandons qu'il est nécessaire de renforcer le contrôle et de mettre en place des restrictions pour protéger les droits et les obligations de l'agriculteur et du vendeur à la fois au niveau de la conception, de l'installation et la commercialisation des systèmes. Il faut également considérer les fournisseurs en tant que moyen pour la diffusion des informations aux agriculteurs, c'est-à-dire informer les fournisseurs d'abord de l'utilisation adéquate de la ressource énergétique dans la préservation de l'eau pour faire passer le message ensuite aux agriculteurs.

Mots clés : énergie solaire, pompage solaire/photovoltaïque, performance de l'irrigation, ressources en eau souterraine, Toudgha, Ferkla.

Abstract

In Morocco, the use of solar energy for pumping irrigation water is becoming an alternative to conventional fuel and gas pumping which has low yield and emits greenhouse gases. However, the reduced operating costs could lead to groundwater overexploitation.

In this context, the present study focuses on analysing the performance of solar pumping systems and irrigation systems in the Todgha-Ferkla Valley. Our aim is to characterize solar pumping installations in the study area and to determine the impact of solar pumping deployment on irrigation practices and groundwater resources.

These objectives were achieved through field surveys and interviews with some local actors. The survey concerned 38 individual pumping farms and 6 collective pumping perimeters. The interviews concerned 6 solar energy equipment suppliers. In-situ measurements of the pumping rate, drippers flow rate and pressure were also carried out to assess the performance of the solar-powered drip irrigation systems based on technical indicators (rate of satisfaction of crop water needs and the irrigation uniformity coefficient).

The diagnosis of the functioning of the photovoltaic installations allowed us to detect several problems at the level of the installation of the equipments, their management and the maintenance of the solar systems. We have concluded that it is necessary to accompany the farmers and provide them with training to allow them to learn how to properly manage their photovoltaic installations as well as to guarantee a best design.

The analysis of irrigation practices and performance has shown that the use of solar energy has a strong impact on it and the exploitation of groundwater. The analysis of qualitative data declared by the farmers and the evaluation of the rate of satisfaction of the water crop water requirements also led to the conclusion that the farmers who have access to the groundwater in the sites where the water is available, exploit the groundwater with in an uncontrollable and unreasonable manner. This is due in particular to the lack of regulations and restrictions that limit pumping via solar energy.

Finally, the analysis of the local market for photovoltaic system in the study area has shown that it has been developed over the last decades and it has some weaknesses. Therefore, it was found that it is necessary to strengthen the control and regulation and to apply restrictions to protect the rights and obligations of the farmers and the sellers in the design, installation and commercialization of the solar

pumping systems. It is also necessary to consider the role of the suppliers for the dissemination of information to farmers. It means that the suppliers have to be informed first about the best practices for solar pumping for water saving to pass the message then to farmers.

Keywords: Solar energy, solar/photovoltaic pumping, irrigation performances, groundwater, Toudgha, Ferkla..

ملخص

أصبح استخدام الطاقة الشمسية في الضخ لأغراض الري بديلاً عن الضخ التقليدي الذي يتميز بعائدات منخفضة وينبعث منه غازات الاحتباس الحراري. ومع ذلك، يمكن أن يؤدي تقليص تكاليف التشغيل إلى الاستغلال المفرط لموارد المياه الجوفية.

في هذا السياق، تركز الدراسة الحالية على وصف وتحليل أداء أنظمة الضخ بالطاقة الشمسية وأنظمة الري في وادي تودغا- فركلة ، من أجل توصيف تركيبات الضخ الشمسي في منطقة الدراسة، وتحديد تأثير الضخ الشمسي في ممارسات الزراعة وموارد المياه الجوفية.

تم تحقيق هذه الأهداف من خلال خرجات الميدانية، تضمنت هذه الاستطلاعات 38 فلاح يقومون بالضخ الفردي، و6 فلاحين يقومون بالضخ الجماعي، و6 مقابلات مع موردي معدات تركيب الطاقة الشمسية، منتشرة في جميع أنحاء المنطقة التي شملتها الدراسة. قمنا أيضاً بإجراء قياسات في الميدان لصبيب الضخ وصبيب تدفق القطارات وكذا ضغطها لتقييم أداء نظم الري المحلية التي تعمل بالطاقة الشمسية بناءً على المؤشرات الفنية (معدل تلبية الاحتياجات من المياه للمحاصيل ومعامل انتظام الري).

أتاح تشخيص تشغيل المنشآت الكهروضوئية الكشف عن العديد من المشاكل فيما يخص تركيب وتبديل وصيانة نظم الطاقة الشمسية. مما يستوجب مواكبة الفلاحين وتمكينهم من التدريب لتعلم كيفية إدارة منشآتهم الكهروضوئية بشكل صحيح بالإضافة إلى ضمان دراسة جيدة.

أظهرت دراسة ممارسات الري وأدائه أن استخدام الطاقة الشمسية له تأثير قوي عليها وعلى طريقة استغلال الموارد الجوفية. من تحليل البيانات النوعية التي أعلنها الفلاحون، ومن البيانات الكمية، تم أيضاً تقييم معدل تلبية الاحتياجات المائية للمحاصيل، والتي تمكن المزارعين من الوصول إلى المورد الجوفي في المواقع التي تتميز بتوافر المياه، واستغلال منسوب المياه الجوفية بطريقة غير معقولة. ويرجع ذلك جزئياً إلى عدم تطبيق القيود التي تحد من الضخ المفرط عبر الطاقة الشمسية

أخيراً، أظهرت دراسة السوق المحلي للمنشآت الكهروضوئية في المنطقة المعنية بالدراسة أن هذا السوق قد تطور خلال العقود الماضية وله بعض نقاط الضعف. ونتيجة لذلك، تبين أن هناك حاجة إلى تعزيز الرقابة والتنظيم ووضع قيود لحماية حقوق والتزامات الفلاح والبائع في تصميم وتركيب وتسويق النظم. من الضروري أيضاً اعتبار الموردين مصدرًا لنشر المعلومات للفلاحين ، أي توعية الموردين أولاً بالاستعمال الملائم لمورد الطاقة في الحفاظ على المياه.

الكلمات المفتاحية: الطاقة الشمسية، الضخ بالطاقة الشمسية/ الكهروضوئية، فعالية أداء الري، المياه الجوفية، تودغا- فركلة.

Sommaire

Avant-propos	2
Dédicace	3
Remerciement.....	5
Résumé	6
Abstract.....	8
ملخص	10
Sommaire	11
Liste des figures	16
Liste des tableaux	18
Listes des abreviations.....	19
Introduction générale	20
Première partie : Revue bibliographique.....	23
Chapitre 01 : Cadre institutionnel, réglementaire et organisationnel du pompage solaire au Maroc	24
1. Introduction.....	24
2. Réglementation du pompage solaire au maroc	24
2.1. La loi 13-09 sur les énergies renouvelables.....	24
2.2. La loi 58-15.....	25
2.3. La Loi 47-09 sur l'efficacité énergétique.....	25
2.4. La Loi 36-15 sur l'eau	26
2.5. La loi 11-03 relative à la protection et à la mise en valeur de l'environnement.....	26
3. Analyse du cadre institutionnel et organisationnel relatif au pompage solaire au maroc.....	26
3.1. Ministère de l'Energie, des Mines et de l'Environnement (MEME)	27
3.2. L'Agence Marocaine pour l'Efficacité Energétique (MEMEE)	27
3.3. Ministère de l'Agriculture, de la Pêche Maritime, du Développement Rural et des Eaux et Forêts (MAPMDREF)	28
3.4. Bailleurs de fonds	29
3.4.1. Groupe Crédit Agricole du Maroc (CAM)	29
3.4.2. Organismes internationaux : la Coopération allemande au développement durable (GIZ)	29
3.4.3. Autres Bailleurs de fonds	29
3.5. Acteurs du marché	29
3.6. Réseau public-privé d'intégration et de transfère de connaissance.....	30
3.6.1. Cluster solaire	30

3.6.2. L'Institut de Recherche en Energie Solaire et en Energies Nouvelles (IRESEN)	30
4. Stratégie de l'Etat en matiere de promotion des systèmes de pompage solaire	31
4.1. Programme national de subvention du pompage solaire	31
4.2. Le projet GEF-pompage solaire d'accompagnement du programme national de pompage solaire	32
5. Conclusion.....	33
Chapitre 02 : Le pompage solaire pour l'irrigation : Aperçu sur les aspects, performances et impacts.....	34
1. Introduction.....	34
2. Vue d'ensemble sur les systèmes d'irrigation solaires	34
3. Situation du pompage solaire en Afrique.....	35
4. Experience du pompage solaire au Maroc	36
5. Performances des systemes d'irrigation à énergie solaire.....	37
5.1. Uniformité d'arrosage.....	37
5.2. Taux de satisfaction des besoins en eau des cultures.....	37
6. Comparaison entre le coût du mètre cube pompé via le systeme solaire vis-a-vis celui des autres sources d'énergie.....	37
7. Conclusion.....	38
Deuxième partie : Matériels et Méthodes	39
Chapitre 03 : Présentation de la zone d'étude Vallée de Todgha-Ferkla.....	40
1. Introduction.....	40
2. Présentation de la zone d'étude	40
3. Caractérisation pluviothermique de la région	42
4. Contexte geologique, hydrogéologique du bassin	44
5. Réseau hydrographique	46
6. Evaluation des ressources en eau à la vallée de Toudgha-Ferkla	46
6.1. Apport en eau de surface	46
6.2. Ressources en eau souterraines	47
7. Systèmes de cultures et irrigation.....	48
8. Situation énergétique au bassin.....	49
9. Conclusion.....	50
Chapitre 04 : Démarche méthodologique	51
1. Introduction.....	51
2. Une sortie exploratoire	51
3. Entretiens avec les institutions au niveau local	51
4. Organisation des enquêtes	52
5. Collecte des données.....	53
5.1. Phase des enquêtes.....	53

5.1.1.	Enquête auprès des agriculteurs	53
5.1.2.	Entretien avec les responsables des sociétés d'installation du matériel pompage solaire	54
5.1.3.	Contraintes rencontrées sur terrain	54
5.2.	Phase de mesures	55
5.2.1.	Mesure des débits pompés.....	55
5.2.2.	Mesure des débits de goutteurs.....	55
5.2.3.	Mesure des longueurs d'aspiration et de refoulement de la pompe.....	56
5.2.4.	Mesure des pressions.....	57
6.	Traitement des données et calcul des indicateurs	58
6.1.	Evaluation du rendement global de l'installation de pompage solaire	58
6.2.	Détermination des indicateurs de performance de l'irrigation	61
6.2.1.	Le taux de satisfaction des besoins en eau des cultures	61
6.2.2.	Uniformité d'application de l'eau à la parcelle	63
	Troisième partie : Résultats et Discussions	64
	Chapitre 05 : Caractérisation des exploitations agricoles et des systèmes de pompage	65
1.	Introduction.....	65
2.	Caractérisation des exploitations étudiées	65
2.1.	Description des exploitations	65
2.1.1.	Situation géographique	65
2.1.2.	Genre et Age des exploitants	66
2.1.3.	Taille des exploitations	67
2.1.4.	Statuts fonciers.....	67
2.1.5.	Mode de faire valoir.....	67
2.1.6.	Ancienneté des exploitations.....	68
2.2.	Caractéristiques des ouvrages de captage	68
2.2.1.	Nombre et type des ouvrages de captage.....	68
2.2.2.	Date de creusement	68
2.2.3.	Diamètre des ouvrages	68
2.2.4.	Profondeur et Niveau d'eau.....	68
2.2.5.	Source d'énergie de pompage	68
2.3.	Caractéristiques des installations de pompage solaire	70
2.3.1.	Date d'installation.....	70
2.3.2.	Nombre des panneaux.....	70
2.4.	Innovations au niveau des exploitations visitées	70
3.	Description des périmètres de pompage collectif	72
3.1.	Situation géographique	72
3.2.	Superficie	72
3.3.	Source d'eau d'irrigation.....	73

3.4.	Energie de pompage	73
3.5.	Date d'installation PV et nombre de panneaux	73
4.	Conclusion.....	74
Chapitre 06 : Diagnostic de fonctionnement des installations photovoltaïque pour l'irrigation dans la vallee de toudgha-ferkla.....		75
1.	Introduction.....	75
2.	Description et état des systèmes de pompage solaire pour l'irrigation	75
2.1.	Description générale du système	75
2.1.1.	Composantes	75
2.1.2.	Principe de fonctionnement du système PPV.....	77
2.1.3.	Configuration.....	77
2.2.	Les pratiques de pompage :	78
2.3.	Montage des structures	80
2.3.1.	Lieu d'installation	80
2.3.2.	Type de montage	82
2.3.3.	État du montage des installations.....	82
2.3.4.	Les pratiques d'entretien et de maintenance.....	83
2.4.	Analyse des installations de pompage solaire au niveau des périmètres collectifs.....	85
2.5.	Comparaison entre l'utilisation de l'énergie solaire en irrigation et les autres types classiques	86
3.	Analyse des performances des installations photovoltaïques.....	88
3.1.	Surdimensionnement du générateur PV par rapport à la pompe	88
3.2.	Calcul de rendement : Cas d'exploitation E05	89
4.	Conclusion.....	91
Chapitre 07 : Analyse des pratiques et des performances d'irrigation		93
1.	Introduction	93
2.	Description et analyse des pratiques d'irrigation	93
2.1.	Systèmes de cultures	93
2.2.	Modes d'irrigation.....	94
2.3.	Calendrier d'irrigation.....	96
2.4.	Horaires d'irrigation	98
2.5.	Bassin de stockage.....	98
2.6.	Qualité de l'eau de l'irrigation.....	99
2.7.	Entretien, Maintenance et Pilotage de l'irrigation.....	100
2.8.	Mode d'exploitation des ressources en eaux souterraine.....	100
2.8.1.	Appréciation de la situation de l'eau au niveau des zones concernées.....	100
2.8.2.	Facteurs limitant le pompage	101
2.9.	Les durées de pompage.....	102

2.10.	Impact de l'énergie solaire sur l'utilisation des ressources en eau souterraines.....	102
3.	Analyse des indicateurs de performances d'irrigation.....	103
3.1.	Taux de satisfaction des besoins en eau des cultures (<i>Ts</i>)	103
3.2.	Uniformité d'arrosage.....	105
3.3.	Résultats de mesures des pressions.....	106
4.	Conclusion.....	107
	Chapitre 08 : Analyse du marché local des installations photovoltaïques..	108
1.	Introduction	108
2.	Description du Marché local Tinghir-Tinejdad	108
3.	Description de la procédure d'installation du pompage solaire.....	109
4.	Conclusion.....	111
	Conclusion & Recommandations.....	113
	Références bibliographiques	117
	Références webographiques	119
	Annexes	120

Liste des Figures

Figure 1 : Parties prenantes dans le domaine du pompage solaire	31
Figure 2 : Localisation de la vallée de Todgha-Ferkla	40
Figure 3 : Carte schématique de la zone d'étude	41
Figure 4 : Pluviométrie Moyenne Annuelles (1977/2011) de la station Merroutcha	42
Figure 5: Pluviométrie Moyenne Mensuelle (données de la station Merroutcha)	43
Figure 6 : Températures Moyennes Mensuelles (1982-2018) de la Station Aït Bouijane	43
Figure 7 : Température Moyenne Interannuelle (1982-2018).....	44
Figure 8 : Répartition des formations géologiques dans le bassin	45
Figure 9 : Variation du rayonnement solaire dans la zone d'étude (Source : RETSCREEN)	50
Figure 10 : Mesure du Débit.....	55
Figure 11 : Mesure des débits de goutteurs	56
Figure 12 : Mesure des longueurs.....	57
Figure 13 : Manomètre à huile utilisé pour la mesure de la pression.....	58
Figure 14 : Répartition Spatiale des exploitations enquêtées dans le bassin.....	66
Figure 15 : Répartition de nombre d'agriculteurs selon l'âge	67
Figure 16 : Répartition des exploitations par tranches de surface	67
Figure 17 : Type et nombre des ouvrages de captages	68
Figure 18 : Profondeurs minimales et maximales selon les types des ouvrages de captage	69
Figure 19 : Nombre des exploitations ayant pompage mixte	69
Figure 20 : Evolution des installations de PPV dans les exploitations enquêtées	70
Figure 21 : Aménagement des limites des parcelles pour collecter les eaux pluviales y traversées ..	71
Figure 22 : Paillage	71
Figure 23 : Lit de la plante.....	71
Figure 24 : Modules connectés de marques différentes	76
Figure 25 : Schéma d'une installation du pompage PV	77
Figure 26 : Répartition des exploitations selon l'utilisation de source d'énergie supplémentaire	78
Figure 27 : Utilisation du gaz butane, moteur diesel, boîte de commande de l'énergie électrique ...	79
Figure 28 : Installation PV alimentant la pompe du puits et du bassin	80
Figure 29 : Panneaux sur sol, sur toiture et sur bassin.....	80
Figure 30 : Répartition des installations PV selon le lieu d'installation.....	81
Figure 31 : Exemple d'installation PV avec problèmes d'ombrage	81
Figure 32 : Répartition des installations PV selon le type de montage	82
Figure 33 : Installation fixe, installation mobile sur roues et installation mobile à axe rotatif	82
Figure 34 : Actes de dépannage des structures PV	83
Figure 35 : Châssis en acier protégé et non protégé	83
Figure 36 : Répartition des installations visitées selon la nature des pannes	84

Figure 37 : panneaux non nettoyés	84
Figure 38 : Installation solaire du périmètre C1	86
Figure 39 : Suivi du débit chez l'exploitation E05	90
Figure 40 : Système de cultures monoculture, à deux et à trois étages	93
Figure 41 : Répartition des cultures dans les exploitations visitées	94
Figure 42 : Filtre à sable, Filtres à disques et filtre hydrocyclone	95
Figure 43 : Pompage de l'eau vers les seguias à partir des eaux souterraines	95
Figure 44 : Seguias à faible débit, Périmètre collectif « i'Adouane »	96
Figure 45 : Problème d'eutrophisation des eaux d'irrigation	98
Figure 46 : La pisciculture	99
Figure 47 : Effet de l'eau d'irrigation sur le sol : Traces du Calcaire (Ferkla El Oulia)	99
Figure 48 : Niveau de disponibilité des ressources souterraines dans la zone d'études	101
Figure 49 : Facteurs limitant le pompage	102
Figure 50 : Comportement des agriculteurs après l'installation du PS	103
Figure 51 : Variation du Taux de satisfaction des besoins en eau de cultures	104
Figure 52: Répartition des installations visitées par ville de l'installateur	111

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Coordonnées géographiques des stations hydrométriques du bassin de Todgha-Ferkla	42
Tableau 2 : Caractéristiques du sous bassin Todgha-Ferkla (Merroucha)	47
Tableau 3 : Bilan Global des Nappes (Entrées/Sorties) et Déficit Equivalent	48
Tableau 4 : Rayonnement Solaire Mensuel dans le bassin	49
Tableau 5 : Principaux volets d'enquêtes réalisées	53
Tableau 6 : Kc et Kr du Palmier Dattier, Olivier et Amandier (ORMVAT)	62
Tableau 7 : La durée d'éclairement en pourcentage de la durée totale annuelle (Source : FAO)	62
Tableau 8 : Classification et Interprétation du CU selon CEMAGREF (1992)	63
Tableau 9 : Exploitations enquêtées par commune	65
Tableau 10 : Date de creusement des ouvrages de captage	68
Tableau 11 : Nombre minimale et maximale des panneaux installés par tranche de surface	70
Tableau 12 : Catégorie des périmètres collectifs	72
Tableau 13 : Superficie des périmètres collectifs	72
Tableau 14 : Types d'énergie utilisée en pompage dans les périmètres collectifs	73
Tableau 15 : Date d'acquisition de l'énergie solaire dans les périmètres collectifs	73
Tableau 16 : Origine des subventions des installations PV dans les sites collectifs	85
Tableau 17 : Comparaison Système Solaire / Système Classique	87
Tableau 18 : Ratio « puissance du champ solaire/ puissance de la pompe » des systèmes PV	88
Tableau 19 : Résultats de calcul du rendement global de l'installation solaire	90
Tableau 20 : Calendrier d'irrigation dans la zone "El Bour"	97
Tableau 21 : Calendrier d'irrigation dans la zone "Ouaklim"	97
Tableau 22 : Calendrier d'irrigation dans la zone "Aghbalou N'Kerdous"	97
Tableau 23 : Calendrier d'irrigation dans la zone "Ghelil"	97
Tableau 24 : Résultats de calcul du Taux de satisfaction des besoins en eau de cultures	104
Tableau 25 : Résultats de calcul de l'Uniformité d'arrosage	105
Tableau 26 : Pressions mesurées au niveau des sites concernés	106
Tableau 27 : Tarification des composantes de l'installation solaire	109

Listes des abréviations

MEME	Ministère de l'Énergie, des Mines et de l'Environnement
AMEE	Agence Marocaine pour l'Efficacité Énergétique
MAPMDREF	Ministère de l'Agriculture, de la Pêche Maritime, du Développement Rural et des eaux et forêts
ANDZOA	l'Agence Nationale pour le Développement des Zones Oasiennes et de l'Arganier
ORMVA	Office Régional de Mise en Valeur Agricole
CAM	Crédit Agricole du Maroc
GIZ	Deutsche Gesellschaft Für Internationale Zusammenarbeit (Coopération Allemande)
AMISOLE	Association Marocaine des Industries Solaires et Eoliennes
IRESEN	L'Institut de Recherche en Energie Solaire et en Energies Nouvelles
GEF	Global Environment Facility (Fonds pour l'Environnement mondial)
PNUD	Programme des Nations Unies pour le Développement
FAO	Food and Agriculture Organisation (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation)
SPIS	Solar Powered Irrigation System (Système d'irrigation à énergie solaire)
ABHGZR	Agence du Bassin Hydraulique du Guir-Ziz-Rhéis
PDAIRE	Plan Directeur d'Aménagement Intégré des Ressources en Eau
AUEA	Association d'Usagers de l'Eau Agricole
PV	Photovoltaïque
PPV	Pompage Photovoltaïque

Introduction générale

Les oasis Marocaines existaient depuis plusieurs siècles et constituent un patrimoine bio divers qui se développe dans des conditions climatiques et hydriques contraignantes. Bien caractérisées par leurs richesses en terme architectural, social et agricole, elles sont menacées par les effets du changement climatique et nécessitent depuis toujours une gestion adéquate des ressources naturelles en eau et en terre afin de les préserver pour les générations futures. A l'échelle nationale, elles occupent une superficie de 226 583 km² et sont établies sur quatre grands bassins : Tata-Guelmim, Drâa, Guir- Ziz-Rheris-Maider et Figuig. Deux types se distinguent : des oasis de montagne, en amont dans le haut Atlas (Amellago, Imilchil, etc.) et les oasis de plaine (Tafilalt, Ferkla, Rhéris, Toudgha, Boumlane-Dades, Draa, Tata, Akka, Guelmim, Bouanane, Figuig, etc.), au niveau des piémonts (raddo.org).

Face à la nécessité de conduire un développement intégré au sein de ces du territoire oasien, et suite aux hautes directives de Sa majesté le Roi Mohamed VI, l'Agence Nationale pour le Développement des Zones Oasiennes et de l'Arganier, ANDZOA, a été créée en février 2010. L'ANDZOA a pour principale mission de dynamiser le développement territorial dans ses zones d'action en fédérant tous les acteurs locaux : collectivités locales, autorité, institutions et société civile. (Brahim HAFIDI Directeur Général ANDZOA, andzoa.ma)

La crise agricole actuelle que connaît ces espaces est non seulement liée aux pratiques agricoles, non adaptées à la raréfaction de la ressource mais également à la surexploitation des eaux souterraines qui engendre des conséquences de plus en plus observables telle la croissance du taux de salinisation des sols qui atteint des valeurs de 8 à 16g/l et peut même les dépasser dans certains cas (Direction de l'Aménagement du Territoire, 2006). Dans ce sens de surexploitation des nappes, la combinaison des deux facteurs « Eau » et « Énergie » semble fondamentale.

Ces dernières années, les oasiens recourent au pompage solaire pour irriguer leurs parcelles, l'adoption de cette technique a devenu une nécessité pour maintenir leurs activités agricoles face à des conditions sévères : la succession des années de sécheresse, la rareté de l'eau, la dégradation des sols et de la qualité des eaux... De plus, ce passage a présenté un moyen permettant un accès dite gratuite à la ressource hydrique grâce à la réduction des coûts de fonctionnement des stations de pompage par rapport aux autres énergies thermiques. Toutefois, avec l'utilisation non rationalisée et non raisonnée, la nouvelle technologie peut représenter une menace future pour la durabilité des aquifères.

Le maintien de l'espace oasien nécessite donc l'introduction des démarches et des techniques agro-écologiques qui rassure le renforcement du tissu oasien par l'optimisation de l'exploitation des ressources hydriques (utilisation raisonnée de l'eau et de l'énergie), le développement de produits agricoles à fortes valeur ajoutées et la valorisation de la biodiversité d'ordre naturel et agricole dont cette valorisation apporte une valeur ajoutée et rémunératrice aux exploitants (Direction de l'Aménagement du Territoire, 2006).

En partant de ces considérations, la présente étude s'est fixée comme objectif central d'analyser le processus d'utilisation du pompage solaire en irrigation dans la Vallée de Todgha-Ferkla. Nous allons tenter à répondre aux questions suivantes :

- Quelle est le cadre réglementaire, institutionnel et organisationnel qui règne le domaine du pompage solaire au Maroc, et quels sont ses points forts et points faibles ?
- Comment les agriculteurs se comportent-ils-avec l'introduction du pompage photovoltaïques dans leurs systèmes irrigués ?
- Quelles changements et adaptations, les agriculteurs, ont-ils adopté après la mise en œuvre de la nouvelle technologie photovoltaïque ?
- Quels sont les pratiques d'irrigation adoptées par ces agriculteurs ?
- Quelles sont les performances des systèmes d'irrigation localisée à l'échelle des exploitations concernées ?
- Quelle est la situation du marché local des équipements de pompage solaire ?

En vue de répondre à ces questions les objectifs spécifiques suivants ont été fixés :

- Analyse du Cadre institutionnel, réglementaire et organisationnel du pompage solaire au Maroc ;
- Diagnostic du fonctionnement des installations de pompage solaire pour l'irrigation ;
- Etude de l'impact de déploiement du pompage solaire sur les pratiques d'irrigation et sur les quantités d'eau prélevées dans les aquifères ;
- Détermination de certains indicateurs de performance des systèmes d'irrigation à énergie solaire ;
- Etudes des modalités d'accès aux installations de pompage solaire pour les exploitations agricoles : analyse du marché local des installations photovoltaïques.

Pour conduire ce travail, la démarche suivante a été suivie:

- Une revue bibliographique ;
- Une description de la méthodologie de travail adoptée notamment sur terrain ;
- Une présentation des résultats obtenus et discussion des différents paramètres calculés ;
- Une conclusion générale et des recommandations.



Première partie :
Revue bibliographique

Chapitre 01 : Cadre institutionnel, réglementaire et organisationnel du pompage solaire au Maroc

1. Introduction

Le présent chapitre a pour but de donner une description détaillée des différents aspects juridiques et réglementaires qui cadrent le domaine du pompage solaire au Maroc, d'établir une cartographie des institutions et des organisations professionnelles dans ce domaine, ainsi de donner une revue sur les principaux programmes actuels et futurs pour promouvoir l'utilisation de l'énergie solaire en irrigation.

2. Réglementation du pompage solaire au Maroc

L'analyse de la réglementation en lien avec le contexte du pompage solaire pour l'irrigation au Maroc nous permet de dégager deux catégories de lois. D'une part les lois qui cadrent l'exploitation des ressources en eau souterraine notamment les lois relatives à l'eau et à l'environnement et d'autre part, le cadre réglementaire régissant le développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique qui est basé principalement sur des lois élaborées dans le cadre de la stratégie énergétique nationale en 2009 :

- La loi 13-09 relative aux énergies renouvelables, complétée en décembre 2015 par la loi 58-15 ;
- La loi 47-09 relative à l'efficacité énergétique qui traite des performances des appareils et équipements énergétiques ;
- La loi 36-15 sur l'eau ;
- Loi 11-03 relative à la protection et à la mise en valeur de l'environnement.

2.1. La loi 13-09 sur les énergies renouvelables.

La loi 13-09 vise à instaurer un cadre juridique offrant des perspectives de réalisation et d'exploitation d'installations de production d'énergie électrique à partir de sources d'énergies renouvelables, entre autres la production d'énergie électrique à partir des panneaux solaires.

Lien avec le Pompage Solaire pour l'irrigation :

- Cette loi instaure, dans ses articles 3 et 4, un régime d'autorisation ou de déclaration pour la réalisation, l'exploitation, l'extension de la capacité ou la modification des installations de production d'électricité à partir de l'énergie renouvelable ;

- Pour les projets de pompage solaire, les installations pilotes dont la puissance excède 20 kW doivent faire l'objet d'une déclaration préalable conformément aux dispositions de cette loi.

2.2. La loi 58-15

Cette loi modifie et complète la Loi n°13-09 et se donne pour objectif de pallier les insuffisances de la loi 13-09 et de faciliter son application.

Les principaux ajouts et modifications apportés par la loi n°58-15 concernent les points suivants:

- L'ouverture du réseau basse tension aux producteurs d'électricité produite à partir de sources d'énergies renouvelables ;
- La prise en considération de l'avis de l'agence du bassin hydraulique dans les processus d'autorisation pour la réalisation des installations de production d'énergie électrique à partir de sources d'énergies renouvelables ;
- La possibilité de vente à l'ONEE de l'excédent d'énergie produit de sources renouvelables par les installations connectées au réseau national de haute tension (HT) et très haute tension (THT), dans la limite de 20% de son excédant ;

Les décrets d'application de cette loi ne sont pas encore publiés à ce jour, ce qui limite l'application de cette loi.

2.3. La Loi 47-09 sur l'efficacité énergétique

La loi 47-09 a pour objet d'augmenter l'efficacité énergétique, éviter le gaspillage d'énergie, atténuer le fardeau du coût de l'énergie sur l'économie nationale et contribuer au développement durable.

Lien avec le pompage solaire pour l'irrigation :

- Cette loi stipule dans son article 2 que les appareils et équipements fonctionnant aux énergies renouvelables, proposés à la vente sur le territoire national doivent respecter des performances énergétiques minimales fixées par voie réglementaire ;
- L'article 7 de cette loi précise que les entreprises de services énergétiques sont autorisées par l'administration lorsqu'elles répondent aux conditions précises.

En 29 avril 2020 sort l'arrêté 927-20 sur l'obligation de l'application de 19 nouvelles normes pour les produits photovoltaïques et thermiques, afin de réguler le

développement rapide du marché national du photovoltaïque compte tenu de leur maturité technologique et de la tendance baissière de leurs coûts.

2.4. La Loi 36-15 sur l'eau

La loi 36-15 se base sur plusieurs principes qui réglementent l'exploitation des eaux souterraines notamment :

- L'eau souterraine fait partie du domaine public hydraulique (article 4 et 5) ;
- Tout prélèvement des ressources en eaux superficielles ou souterraines est soumis à autorisation de l'agence de bassin hydraulique concernée (article 26 et 114) ;
- Intégration d'un régime d'infractions et sanctions (pour contrôler les prélèvements) (article 131 et 137) ;
- L'instauration du principe préleveur-payeur (article 27).

2.5. La loi 11-03 relative à la protection et à la mise en valeur de l'environnement

Cette loi publiée en juin 2003 fixe le cadre général de la protection de l'environnement au Maroc. Les dispositions générales de la loi 11-03 relative à la protection et la mise en valeur des eaux continentales (toutes les eaux douces, qu'elles soient superficielles ou souterraines,) sont :

- **Article 27** : L'administration prend les mesures nécessaires afin d'assurer l'inventaire régulier et périodique et la gestion rationnelle des eaux continentales, ainsi que la prévention et la lutte contre toute forme de pollution conformément à la législation et à la réglementation en vigueur.
- **Article 28** : Sous réserve des dispositions législatives et réglementaires en vigueur, l'administration prend les dispositions nécessaires pour soumettre toute exploitation des eaux continentales à une autorisation préalable. Des mesures plus contraignantes peuvent être prises en cas de pénurie d'eau ou de lutte contre les effets de la sécheresse.

3. Analyse du cadre institutionnel et organisationnel relatif au pompage solaire au Maroc

Il existe au Maroc un ensemble d'opérateurs public et privé responsables de la mise en place des plans et des stratégies pour promouvoir l'utilisation de l'énergie solaire en irrigation et de réaliser des études pour développer le recours à l'énergie solaire et l'accompagnement des agriculteurs. On site ci-dessous les principaux

acteurs qui interviennent dans la mise en œuvre de la stratégie marocaine pour la promotion de l'énergie solaire en irrigation.

3.1. Ministère de l'Énergie, des Mines et de l'Environnement (MEME)

Le Département de l'Énergie et des Mines au sein du MEME est chargé, entre autres, d'élaborer et de mettre en œuvre la politique gouvernementale dans le domaine de l'énergie ainsi que le contrôle des autres secteurs dépendant de son autorité. Il assure la tutelle des entreprises et établissements publics qui relèvent de sa compétence. Au sein de ce Département, la Direction des Énergies Renouvelables et de l'Efficacité Énergétique est chargée de l'élaboration et de la mise en œuvre de la stratégie nationale relative au développement des énergies renouvelables et au renforcement de l'efficacité énergétique. Elle participe, en collaboration avec les organismes concernés, à la préparation et à l'application de la législation et de la réglementation dans ce domaine.

Parmi ses missions on peut citer : (i) Assurer le suivi de la promotion de l'utilisation des énergies renouvelables dans les différents secteurs socio-économiques dont la promotion de l'utilisation du pompage solaire dans l'irrigation agricole et (ii) Elaborer et mettre en œuvre, en collaboration avec les organismes concernés, les projets et actions de coopération dans le domaine des énergies renouvelables.

3.2. L'Agence Marocaine pour l'Efficacité Énergétique (MEMEE)

L'AMEE, sous la tutelle du MEME, créée en vertu de la loi 39-16, soutient la mise en œuvre de la politique nationale des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique. L'AMEE est chargée de coordonner, exécuter et suivre les programmes d'énergies renouvelables (solaire, éolien, biomasse, etc.) et de l'efficacité énergétique (transport, bâtiment, industrie, agriculture, éclairage public), identifier les zones de développement et les potentiels des énergies renouvelables, élaborer des normes et labels et fournir une assistance en matière de recherche et développement.

Parmi ses missions :

- Proposer à l'administration un plan national et des plans sectoriels et régionaux du développement de l'efficacité énergétique ;
- Concevoir et réaliser des programmes d'efficacité énergétique ;
- Suivre, coordonner et superviser des actions de développement dans le domaine de l'efficacité énergétique ;
- Mobiliser les moyens et les instruments financiers nécessaires à la réalisation des programmes qui relèvent de ces missions ;

- Proposer et vulgariser les normes et les labels en matière de l'efficacité énergétique des équipements et des appareils.

En matière d'efficacité énergétique dans le domaine de l'agriculture, L'AMEE a développé plusieurs projets et vise une réduction dans ce secteur de l'ordre de 5,4% dans le bilan national global à l'horizon 2030 (AMEE.ma), de ce fait elle a lancé deux programmes principaux dans ce domaine :

- Programme pompage solaire pour l'irrigation agricole.
- Programme de promotion de solutions d'efficacité énergétique et d'économie du bois de feu au niveau des ménages ruraux et des hammams publics.

3.3. Ministère de l'Agriculture, de la Pêche Maritime, du Développement Rural et des Eaux et Forêts (MAPMDREF)

Le ministère de l'Agriculture, de la pêche maritime, du développement rural et des eaux et forêts est chargé de coordonner les actions du gouvernement en matière de développement agricole et rural. Le Département de l'Agriculture auprès du MAPMDREF est responsable de l'élaboration et de l'exécution de la politique publique agricole dont l'irrigation est un élément clé compte tenu de la pénurie croissante en eau. Parmi ses missions, ce département supervise l'utilisation des ressources en eau d'irrigation, mène des études pour le développement de l'agriculture et dispense des formations aux agriculteurs.

Le secteur de l'irrigation est sous la responsabilité par ce Ministère au niveau central et par neuf offices régionaux concernés par l'irrigation publique des zones étendues (Offices Régionaux de Mise en Valeur Agricole, ORMVA) et 12 Directions Régionales de l'Agriculture. Ces organismes sont chargés de l'application de l'ensemble de la politique agricole dans toutes ses composantes dans leurs périmètres d'intervention (MAZEN, 2011).

Dans l'espace oasien qui est la zone de notre étude, l'Agence Nationale pour le Développement des Zones Oasiennes et de l'Arganier (ANDZOA) a été créée sous la tutelle du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime, conformément au Dahir n°, 1-10-187 du 7 moharrem 1432 (13 décembre 2010), a pour missions d'élaborer, en coordination avec les autorités gouvernementales, les corps élus et les organismes concernés, un programme global de développement des zones de son intervention, d'assurer son exécution, le suivi de sa réalisation et son évaluation ; et ce, dans le cadre d'un développement durable aux niveaux économique, social, culturel,

environnemental et humain conformément aux orientations et stratégies décidées. (andzoa.ma)

En plus de ces trois acteurs principaux cités ci-dessus, il y a un ensemble de parties prenantes qui encourage la promotion de l'utilisation de l'énergie solaire dans l'irrigation.

3.4. Bailleurs de fonds

3.4.1. Groupe Crédit Agricole du Maroc (CAM)

Le Crédit agricole a établi une ligne de crédit pour le financement de petits projets d'investissement des agriculteurs qui ne peuvent pas bénéficier des prêts de banques commerciales (soit 90% des agriculteurs marocains). Ce groupe a été créé en partenariat avec l'Etat et la Société de financement pour le développement agricole «Tamwil El Fellah» et assure le financement des projets d'irrigation, y compris les projets de pompage solaire.

3.4.2. Organismes internationaux : la Coopération allemande au développement durable (GIZ)

La GIZ prête appui au Maroc par ordre et pour compte du gouvernement fédéral allemand en vue de l'introduction d'un modèle de développement garantissant une production et un approvisionnement énergétique durable, il fournit un appui au programme national du pompage solaire par la réalisation de plusieurs études et le financement de plusieurs projets.

3.4.3. Autres Bailleurs de fonds

Il y a d'autres bailleurs de fonds internationaux qui ont déjà financé des grands projets solaires au Maroc (comme la centrale solaire d'Ouarzazate) à savoir :

- L'Agence française de développement (AFD) ;
- La Banque européenne d'investissement (BEI) ;
- La banque allemande de développement (Kreditanstalt für Wiederaufbau - KFW) ;
- La Banque mondiale et la Banque africaine de développement (BAD).

En ce qui concerne les projets de pompage solaire pour l'irrigation il n'y a pas encore au Maroc des projets de grande en viguer.

3.5. Acteurs du marché

Il existe plusieurs dizaines d'acteurs/fournisseurs au Maroc qui opèrent dans le secteur photovoltaïque. Ils offrent une variété de services allant de la simple fourniture d'équipements au conseil technique pour la conception et l'installation.

Ces opérateurs offrent généralement des services et produits relatifs aux systèmes de pompage solaire.

La plupart de ces opérateurs sont regroupés au sein de l'Association Marocaine des Industries Solaires et Eoliennes (**AMISOLE**) qui a pour but de promouvoir les intérêts des industriels et des professionnels marocains du secteur des énergies renouvelables.

3.6. Réseau public-privé d'intégration et de transfère de connaissance

3.6.1. Cluster solaire

Le Cluster Solaire lancé en Avril 2014, est une association novatrice et ambitieuse regroupant les acteurs nationaux du secteur solaire financée par la Coopération Allemande au Développement Durable (GIZ) pour objectif d'assurer une vielle à la stratégie de développement de la filière industrielle solaire au Maroc, elle a réalisé plusieurs études sectorielles et plusieurs publications et rapports périodiques dans le domaine de pompage solaire pour l'irrigation.

3.6.2. L'Institut de Recherche en Energie Solaire et en Energies Nouvelles (IRESEN)

L'IRESEN est un institut de recherche créé en 2011 par le Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, et plusieurs acteurs clés du secteur énergétique au Maroc pour accompagner la stratégie énergétique nationale appliquée dans le domaine de l'énergie solaire et des énergies nouvelles.

L'Institut se positionne dans le domaine des énergies renouvelables à travers son agence de moyens et son centre de recherche, offrant ainsi plusieurs opportunités pour la création de synergie entre le monde socio-économique et le monde scientifique autour de projets collaboratif

En regroupant toutes les institutions et les organismes cités ci-dessus on a établi une cartographie des parties prenantes dans le domaine du pompage solaire pour l'irrigation qui est présenté dans la Figure 1.

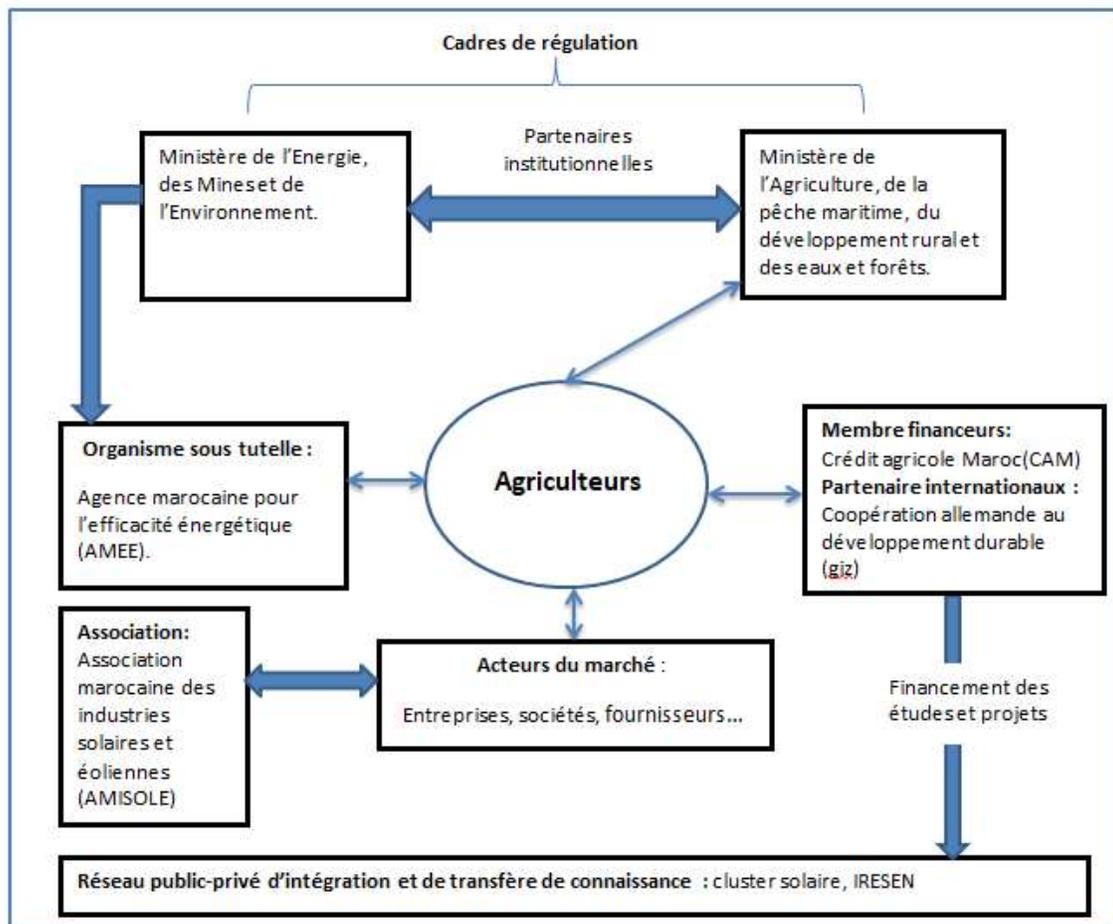


Figure 1 : Parties prenantes dans le domaine du pompage solaire

4. Stratégie de l'État en matière de promotion des systèmes de pompage solaire

4.1. Programme national de subvention du pompage solaire

Le Programme national de subvention du pompage solaire, signé en avril 2013 est le fruit de partenariat entre les ministères de l'Énergie et de l'Agriculture, l'AMEE, et le Groupe CAM, le programme ambitionne d'installer un parc de 3.000 systèmes photovoltaïques de pompage, pour une puissance cumulée installée de 15 MW-Crête. L'objectif est d'encourager les petits et moyens agriculteurs à s'équiper en pompes solaires pour les besoins de leur exploitation.

Selon les termes de cet accord, un budget global de 400 millions de dirhams est préconisé pour l'appui des projets de pompage solaire. En vertu de cet accord, les projets de pompage solaire pour l'irrigation par goutte-à goutte peuvent bénéficier d'une subvention de coût d'investissement de 50% avec un maximum de 15.000 Dh/ha, de 15.000 Dh/kWc et de 75.000 Dh par projet. Le programme doit être géré

par le Crédit Agricole comme extension à ses services fournis actuellement pour l'appui du programme d'irrigation par goutte-à-goutte.

Depuis la signature de l'accord, le budget initial a été identifié comme insuffisant par le ministère de l'Agriculture.

Des discussions ont été tenues entre les partenaires du programme pour augmenter considérablement le budget afin d'avoir un impact appréciable sur l'utilisation de l'eau pour l'irrigation.

L'accord de subvention est toujours en suspens dans l'attente de l'augmentation de son budget à plus d'un milliard de dirhams. Ceci fournira plus de ressources financières au développement du pompage solaire pour des projets d'irrigation (GIZ, 2016).

Selon une étude publiée par la GIZ en 2019 (GIZ. 2019), le budget de ce programme est augmenté à 2,5 milliards de dirhams, et il est en cours d'élaboration. Sur cette facture globale, 1 milliard de dirhams sera destiné à la subvention du système photovoltaïque, tandis que 1,5 milliards de dirhams seront consacrés aux subventions de l'irrigation par le Fonds de Développement Agricole (FDA).

4.2. Le projet GEF-pompage solaire d'accompagnement du programme national de pompage solaire

Ce projet vient en appui au programme national de pompage solaire lancé en 2013, notamment pour améliorer plusieurs de ses anomalies, et de créer un cadre propice à sa mise œuvre, il est financé à hauteur de 25 millions de dirhams par le Fonds pour l'environnement mondial (GEF),

Le projet GEF-pompage solaire, prévu pour la première phase du projet (2016-2019) est destiné à la promotion des systèmes de pompage photovoltaïque pour l'irrigation dans le secteur agricole. Il est le fruit d'un partenariat entre le PNUD et AMEE, et en étroite collaboration avec le Ministère de l'Énergie, des Mines et du Développement Durable, le ministère de l'Agriculture, de la Pêche Maritime, du Développement Rural et des Eaux et Forêts, le Ministère de l'Économie et des Finances, le Groupe Crédit Agricole du Maroc et d'autres partenaires.

Le projet porte sur les six principaux axes suivants (amee.ma) :

- Le renforcement des capacités institutionnelles nécessaires au développement, à la mise en œuvre et à la gestion des programmes de pompage solaire ;

- La mise à niveau du secteur privé à travers les standards de qualité, la normalisation des équipements, la certification des opérateurs et de formation des installateurs ;
- Le développement du marché du pompage solaire à travers des mécanismes financiers et d'incitation adaptés ;
- Soutien au développement d'industrie nationale de production d'équipements de pompage solaire ;
- Le renforcement des réseaux commerciaux de proximité et la création d'emploi ;
- Le développement d'un cadre de suivi des impacts en matière de performances d'atténuation des émissions des gazes à effet de serre.

5. Conclusion

Le cadre réglementaire qui régit le domaine de pompage solaire en irrigation est très développé, il comporte les normes depuis l'importation des systèmes jusqu' à l'exploitation par l'agriculteur, mais plusieurs décrets d'application ne sont pas encore sortis ce qui créent plusieurs ambiguïtés.

Concernant les institutions dans ce domaine, il y a plusieurs organismes qui s'occupent de la gestion et de l'application des stratégies ce qui reste c'est d'augmenter les synergies entre eux, pour bien gérer et organiser les programmes futurs.

Le programme de subvention des systèmes de pompage solaire en irrigation été déjà lancé en 2013, mais n'est pas mis en œuvre à ce jour.

Chapitre 02 : Le Pompage Solaire Pour l'Irrigation, Aperçu sur les aspects, performances et impacts

1. Introduction

Le présent chapitre fait l'objet d'une synthèse des résultats de certaines études dans le domaine du pompage solaire dont le but est de donner un aperçu général sur l'utilisation de cette technique en irrigation, les avantages et les limites des systèmes solaires, la situation du pompage solaire en Afrique et au Maroc, les performances des systèmes d'irrigation à énergie solaire et la comparaison entre coûts du m³ d'eau pompé pour les différentes types d'énergie.

2. Vue d'ensemble sur les systèmes d'irrigation solaires

Les systèmes d'irrigation à énergie solaire (SPIS) ont devenu une solution nécessaire en raison de leurs avantages multiples notamment face aux impacts du changement climatique. SPIS est un modèle important du lien entre l'eau, l'énergie et la nourriture en utilisant tous les ressources. Toutefois, l'énergie solaire connaît également plusieurs défaillances (Commission internationale d'irrigation et de drainage, 2019).

❖ Principe de fonctionnement :

Le pompage solaire pour l'irrigation permet d'exploiter l'énergie solaire photovoltaïque pour produire de l'électricité, utilisée directement en vue de pomper de l'eau pour un système d'irrigation par goutte-à-goutte. Les panneaux solaires photovoltaïques convertissent l'énergie solaire en courant continu (CC) qui alimente une pompe, soit directement, pour les pompes d'alimentation CC, soit par un onduleur pour transformer le courant continu en courant alternatif. L'eau souterraine pompée peut être utilisée directement pour alimenter le réseau de tuyauterie d'irrigation par goutte-à-goutte, ou être stockée dans un réservoir d'irrigation pour une planification plus flexible de l'irrigation. L'irrigation peut être ainsi faite au fil du soleil ou programmée sur 24h. (GIZ, 2018)

❖ Les avantages du pompage solaire pour l'irrigation

Plusieurs études d'agences internationales indiquent que le pompage solaire est avantageux par rapport aux pompes diesel en impliquant un coût total de 64,2% soit le coût du cycle de vie de 10 ans du diesel, et ceci même en éliminant les avantages des subventions (GIZ, 2013). L'utilisation du solaire améliore les rendements agricoles des agriculteurs sur une période de 4,1 ans et 7 ans après l'installation (KPMG, 2014). Les avantages sont plus nombreux encore pour l'environnement. Remplacer une unité de générateur diesel classique par un système à énergie solaire permettra de réduire les émissions de CO₂ de 1 kg par

kilowattheure, ce qui prend déjà en compte les émissions au cours du cycle de vie du système photovoltaïque. En outre, les systèmes de pompage d'eau photovoltaïques permettent d'éviter tout risque de contamination du sol et des eaux souterraines par des combustibles et des lubrifiants. Un moteur diesel produit quelque 300 kg huiles usées au cours de son cycle de vie. L'élimination de ces déchets dans le respect de l'environnement n'est pas assurée partout (GIZ et FAO, 2018).

❖ Les limites du pompage solaire pour l'irrigation

L'utilisation de l'énergie solaire en irrigation connaît également plusieurs défaillances. Elle n'est pas disponible pendant la nuit ou par temps nuageux (avec peu ou pas de rayonnement), ce qui rend les panneaux d'énergie solaire dans ces situations moins utiles. La viabilité économique de l'utilisation du système d'irrigation solaire photovoltaïque dépend de la taille et configuration du système (sélection de la pompe, les profondeurs des ouvrages de captage, nature de terrain, le type de culture) et toute autre utilisation de l'eau comme en élevage par exemple. De plus, avec les SPIS mis en place, les agriculteurs disposent d'une source d'électricité fiable pour l'irrigation et si elle est couplée à une source durable d'approvisionnement en eau, elle peut causer une utilisation inefficace de l'eau (Commission internationale d'irrigation et de drainage, 2019).

D'autre part, le soleil constituant une source d'énergie illimitée pour le pompage, il existe un risque de pompage excessif des ressources en eau souterraine et de surface si les systèmes ne sont pas correctement dimensionnés et planifiés (GIZ et FAO, 2018).

3. Situation du pompage solaire en Afrique

L'utilisation de l'eau à des fins agricoles augmente la gravité de la pénurie d'eau dans de nombreuses régions et causant la rareté de l'eau même dans les zones qui sont relativement bien doté de ressources en eau (FAO, 2008). En raison des coûts élevés de fonctionnement des pompes à moteur diesel, de nombreux agriculteurs, en particulier en Afrique, n'étaient pas en mesure de payer les coûts d'exploitation et d'entretien pompes diesel pour l'irrigation de leurs exploitations. Il existe un grand potentiel d'irrigation en Afrique qui peut être exploité par l'utilisation de solutions intelligentes comme l'utilisation de l'énergie solaires. La région de l'Afrique du Nord et du Moyen-Orient a un fort potentiel solaire, où l'irradiation horizontale¹ globale moyenne est d'environ 2100 kWh/m² par an. Ces zones ont la capacité de profiter de la capacité importante d'énergie solaire à l'avenir. Sur la base de la littérature, le

¹ La quantité totale d'ondes courtes rayonnement reçu sur une surface horizontale

système PV le plus efficace est présenté pour l'irrigation d'une petite ferme rurale éloignée en ce qui concerne le coût, la capacité de pompage et l'efficacité du système. Pour ces raisons, les principaux organismes de développement ont mis à l'essai et ont évalué des systèmes d'irrigation à énergie solaire dans de nombreux pays africains comme l'Égypte, le Maroc, le Bénin, l'Éthiopie, le Kenya, le Malawi, la Zambie et l'Afrique du Sud. Parmi les principaux enseignements tirés de différentes régions d'Afrique (Commission internationale d'irrigation et de drainage, 2019).

4. Expérience du pompage solaire au Maroc

Durant la dernière décennie, le Maroc a engagé un important chantier de réformes destinées à asseoir les fondements d'un véritable développement économique socialement inclusif et durable. La transition énergétique du Maroc vers un mix d'énergie propre et renouvelable et la stratégie de modernisation et de professionnalisation de l'agriculture, portée par le Plan Maroc vert, constituent, parmi d'autres, les piliers majeurs de l'édifice de développement durable du Maroc. Le déploiement des technologies des énergies renouvelables et des pratiques d'efficacité énergétique dans le secteur de l'agriculture offre une opportunité idoine pour dresser entre ces deux piliers un pont vertueux de création d'emplois et de richesses en milieu rural.

Par ailleurs, le parc des systèmes solaires installés au Maroc est estimé actuellement entre 6.000 et 8.000 pompes équipant surtout des petites et des moyennes exploitations. Une centaine d'opérateurs sont actifs dans l'installation et la maintenance des systèmes de pompage pour l'irrigation (GIZ, 2016)

Environ 30 000 exploitations agricoles au Maroc sont actuellement équipées en PPV ; cela représente 8,8% des exploitations irriguées au Maroc. Le marché du PPV au Maroc évolue à des vitesses différentes. D'un côté les grandes et moyennes exploitations qui sont de plus en plus nombreuses à adopter la technologie PPV, et d'un autre côté, les petites exploitations inférieures à 5 ha qui sont en retard en matière d'acquisition de systèmes solaires, alors que le potentiel le plus important est dans le segment des petits agriculteurs (GEF, 2018).

Une étude a été menée par la FAO dans une ferme d'agrumes située entre Marrakech et Casablanca qui a connu une conversion de pompage à énergie classique (moteur à gaz) en pompage solaire. L'installation de ce système a permis de minimiser les charges de la main œuvre (par élimination des charges dûs au changement réguliers des réservoirs d'essence), également une économie en termes du temps et de l'argent. L'expérience du système photovoltaïque a aidé l'agriculteur à arroser ses agrumes de manière rentable et a démontré que le système était fiable et permet une récolte accrue et des économies de coûts. Le nouveau système nécessite

moins et apporte également de nombreux autres avantages tels que l'amélioration de la sécurité, l'absence de risques d'explosion de gaz et le respect de l'environnement. (Commission internationale d'irrigation et de drainage, 2019)

5. Performances des systèmes d'irrigation à énergie solaire

Une étude sur l'évaluation des performances des systèmes d'irrigation localisée fonctionnant au pompage solaire dans la plaine de Tafilalet a été menée par Bendraou en 2014, elle porte sur un ensemble d'exploitations, soit un échantillon d'études composé de 62 exploitations réparties au niveau de la plaine Tafilalet qui utilisent le pompage photovoltaïque, elle permet d'évaluer deux indicateurs de performance d'irrigation : le taux de satisfaction des besoins en eau des cultures et l'uniformité d'arrosage.

5.1. L'uniformité d'arrosage

Les résultats des mesures réalisées ont révélé que la majorité des exploitations ont des performances techniques satisfaisantes en ce qui concerne le coefficient d'uniformité, qui varie entre 80% et 92%. Ceci revient au degré de technicité des agriculteurs et leurs actions d'entretien des réseaux d'irrigation.

5.2. Taux de satisfaction des besoins en eau des cultures

La confrontation entre besoins et consommations en eau des cultures au niveau des exploitations a indiqué une surconsommation énorme de l'eau. En effet, le taux de satisfaction des besoins en eau annuels a dépassé 722% pour presque toutes les cultures. Ceci dit un gaspillage énorme de la ressource hydrique même si le mode d'irrigation est celui localisé, connu comme système économe en eau, et il est conséquence de la mauvaise gestion de l'eau d'irrigation.

6. Comparaison entre le coût du mètre cube pompé via le système solaire vis-à-vis celui des autres sources d'énergie

Le coût de pompage chez les agriculteurs dépend de l'énergie de pompage utilisée et du rendement global de système.

Pour le gaz butane, le coût de pompage varie entre 0,76 et 1,23 Dhs/m³ avec une moyenne de 1,01 Dhs/m³ tandis que pour le gasoil, il varie entre 1,17 et 1,47 Dh/m³ avec une moyenne de 1,28 Dhs/m³. Quant à l'énergie électrique, le coût varie entre 0,35 et 0,41 Dhs/m³ avec une moyenne de 0,39 Dh/m³, enfin pour l'énergie photovoltaïque, il varie entre 0,2 et 0,4 Dhs/m³ avec une moyenne de 0,30 Dhs/m³(NAJJARI, 2015).

Une autre étude faite par 'Africa Climate Solutions' en 2018 porte sur comparaison entre le coût du mètre cube pompé les coûts des systèmes solaires vis-à-vis les autres sources classiques montre que :

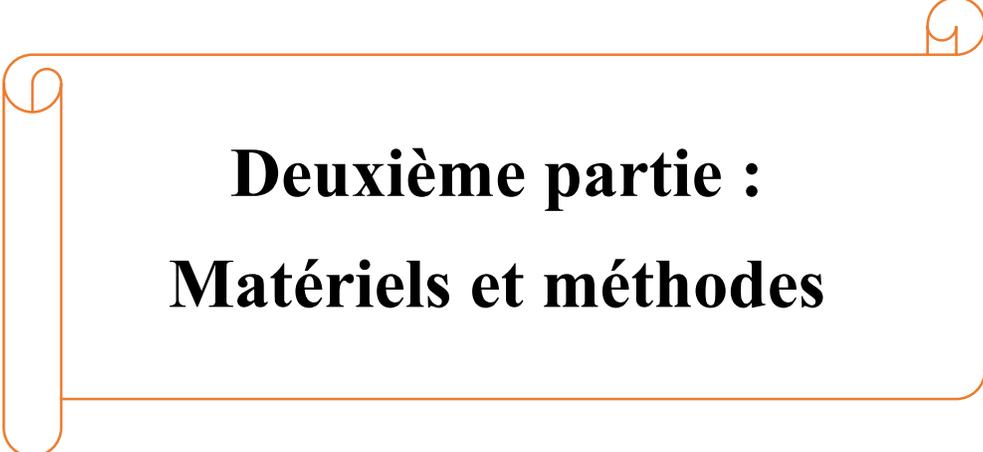
Le résultat des prix du mètre-cube moyen montre que le gasoil est la source d'énergie la plus chère avec 1,67 DH/m³ suivi par l'électricité en basse tension (0,98 DH/m³) puis le butane (0,76 DH/m³) et l'électricité en moyenne tension (0,78 DH/m³). Le PPV reste la source d'énergie la moins chère avec 0,44 DH/m³ (GEF, 2018).

7. Conclusion

La technologie du photovoltaïque est en voie de progression au Maroc dans la période récente vu qu'elle présente un bon nombre d'intérêts. C'est une technologie propre et silencieuse, présente un système robuste d'une durée de vie estimée à 20 ans et à faible coût de maintenance.

Les performances des systèmes d'irrigation à énergie solaire relèvent que l'utilisation de l'énergie solaire en irrigation engendre un gaspillage énorme de l'eau d'irrigation.

Le pompage solaire, certes, est une alternative compétitive par rapport aux énergies conventionnelles (gasoil, gaz butane et électricité), cependant elle présente des limites en terme des frais d'installation qui sont lourds pour l'agriculteur et le risque de surexploitation des aquifères.



Deuxième partie :
Matériels et méthodes

Chapitre 03 : Présentation de la zone d'étude Vallée de Todgha-Ferkla

1. Introduction

Il sera question dans ce chapitre de traiter la localisation de notre zone d'étude, présenter ses différents caractéristiques physiques, ses aspects agricoles et énergétiques.

2. Présentation de la zone d'étude

Le bassin Todgha-Ferkla, situé au Sud-Est du Maroc dans la région de Drâa Tafilalet, fait partie du bassin hydraulique Guir-Ziz-Rhéis et s'inscrit géographiquement dans le sous-bassin versant de Rhéis. Il est limité au Nord par les chaînes du Haut d'Atlas et au Sud par les massifs de l'Ougnate et du Saghro.

La carte de la Figure 2 montre la localisation de la zone d'étude :



Figure 2 : Localisation de la vallée de Todgha-Ferkla

Il s'étend sur une superficie de plus de 4500 km² et présente une forme assez régulière caractérisée par de fortes altitudes allant de 900 et arrive jusqu'à 3300 m.

La topographie est raide notamment dans les zones accentuées du sud et du nord, qui sont prédominées par la présence des dénivelés et des thalwegs. Les pentes moyennes varient entre 0,3° et 13,8°.

La carte suivante schématise la topographie de la zone d'étude :

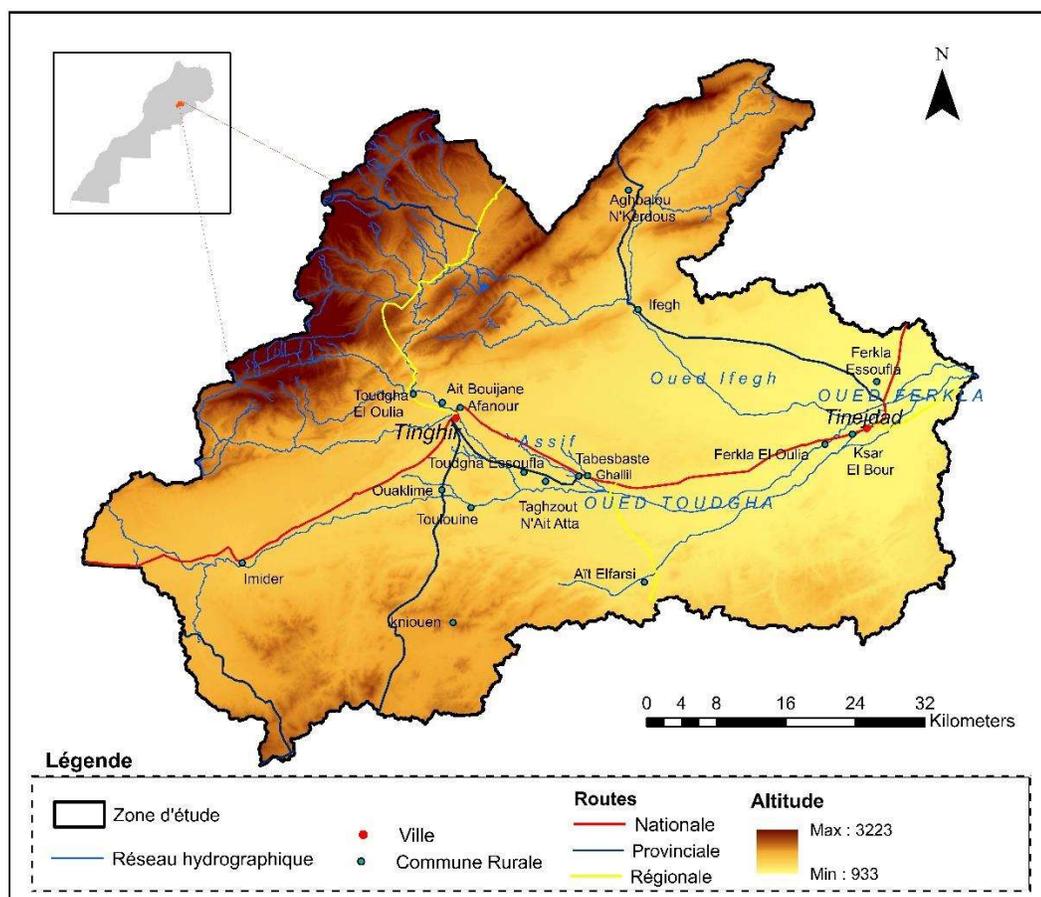


Figure 3 : Carte schématisée de la zone d'étude

Pour la situation administrative du bassin hydrologique, la zone d'étude compte principalement deux communes municipales : Tinghir et Tinejdad et s'étend sur plus que 14 communes rurales à savoir : Todgha El Oulia, Todgha Essoufla, Taghzout N'ait Atta, Ferkla Eloulia, Ferkla Essoufla, Aghbalou N'kerdous, Ait Hani, Ouaklime...

Enfin, la région d'étude comprend 2 stations hydrométriques :

- Station Ait Bouijane sur l'Oued Todgha.

– Station Merroutcha sur l’Oued Ferkla.

Les coordonnées de ces dernières sont mentionnées dans le tableau ci-après :

Tableau 1 : Coordonnées géographiques des stations hydrométriques du bassin de Todgha-Ferkla

Station Hydrométrique	Coordonnées Exutoire	
	X(m)	Y(m)
Aït Bouijane	485 464	104 332
Merroutcha	549 030	107 111

3. Caractérisation pluviothermique de la région

Le climat de la zone est un climat aride selon l’indice de Marton². Le potentiel pluviométrique du bassin du Todgha-Ferkla est estimé à 599 Mm³ avec une pluie moyenne de 104,76 mm/an. La région est marquée par une pluviométrie faible et fluctuante (Figure 4).

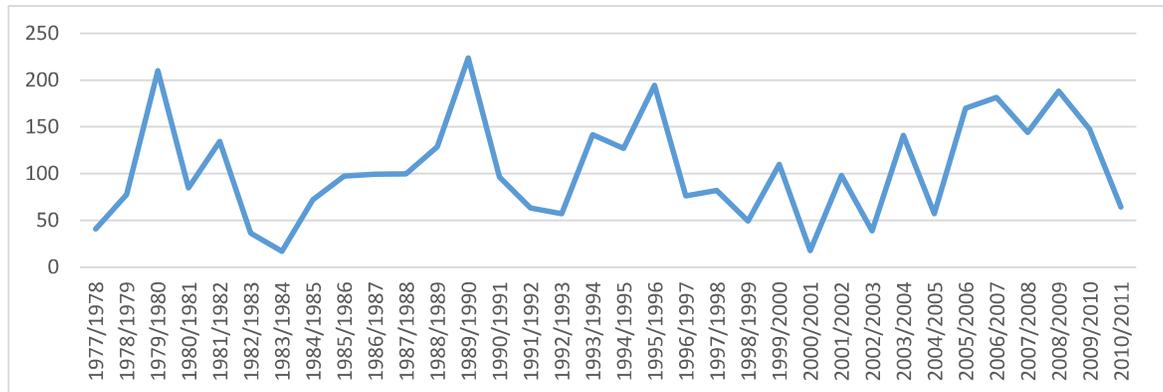


Figure 4 : Pluviométrie Moyenne Annuelles (1977/2011) de la station Merroutcha

La Figure suivante montre la variation de la pluviométrie au cours de l’année.

² I=Précipitations annuelles / (Températures moyennes annuelles +10).

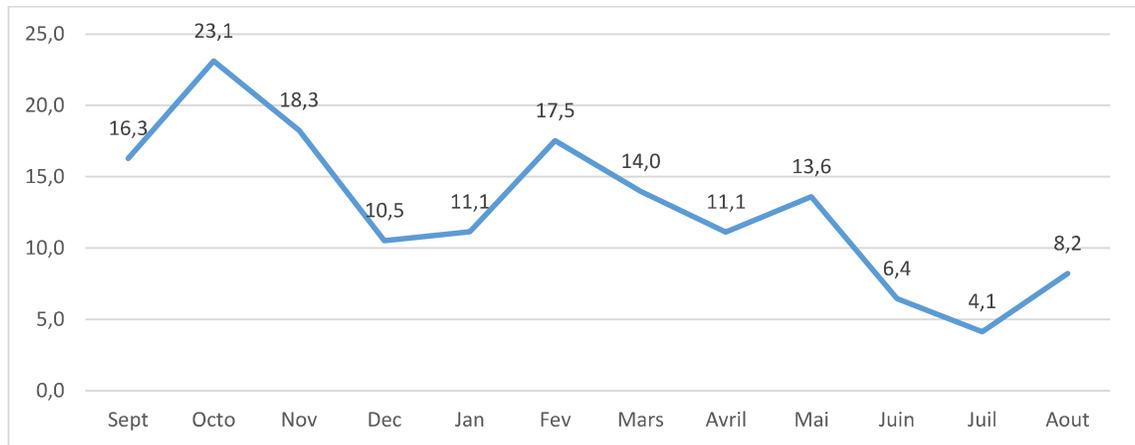


Figure 5: Pluviométrie Moyenne Mensuelle (données de la station Merrouthcha)

Les températures moyennes mensuelles au niveau de la zone varient entre 27,9° (Aout) et 8,87° (Janvier). Les moyennes minimales sur le bassin s’observent en général pendant le mois de Janvier, qui augmentent progressivement chaque mois afin d’atteindre le maximum en mois d’Aout. Les valeurs moyennes de la température de l’air de la période 1982-2018 sont consignées dans le graphe suivant :

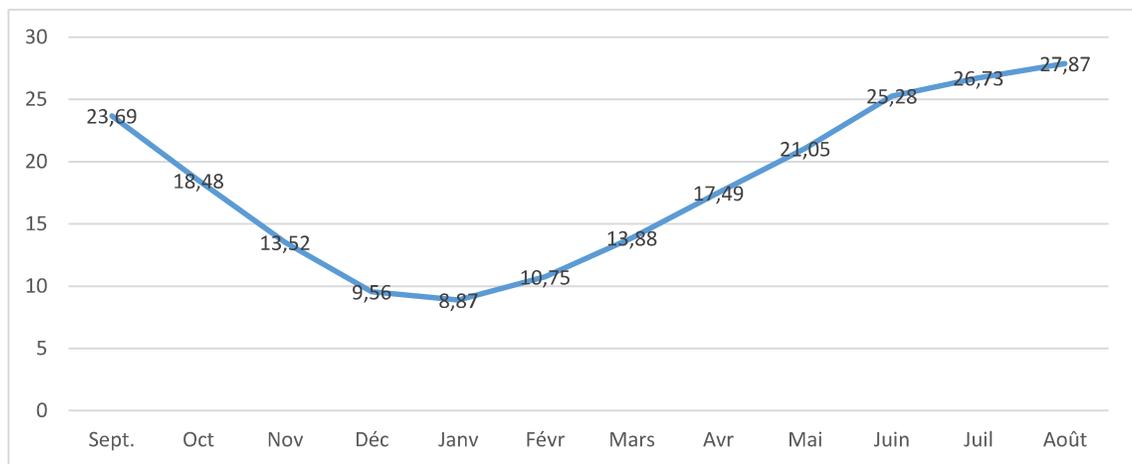


Figure 6 : Températures Moyennes Mensuelles (1982-2018) de la Station Aït Bouijane

Les variations interannuelles de la température montrent que la température de l’air connaît une variation sur toute la période 1982-2018. Elle est restée inférieure à 17,7 °C avant 1997 et supérieure à 17,7°C en général, après elle a pu atteindre de fortes valeurs à partir de 2008 (Figure 7).

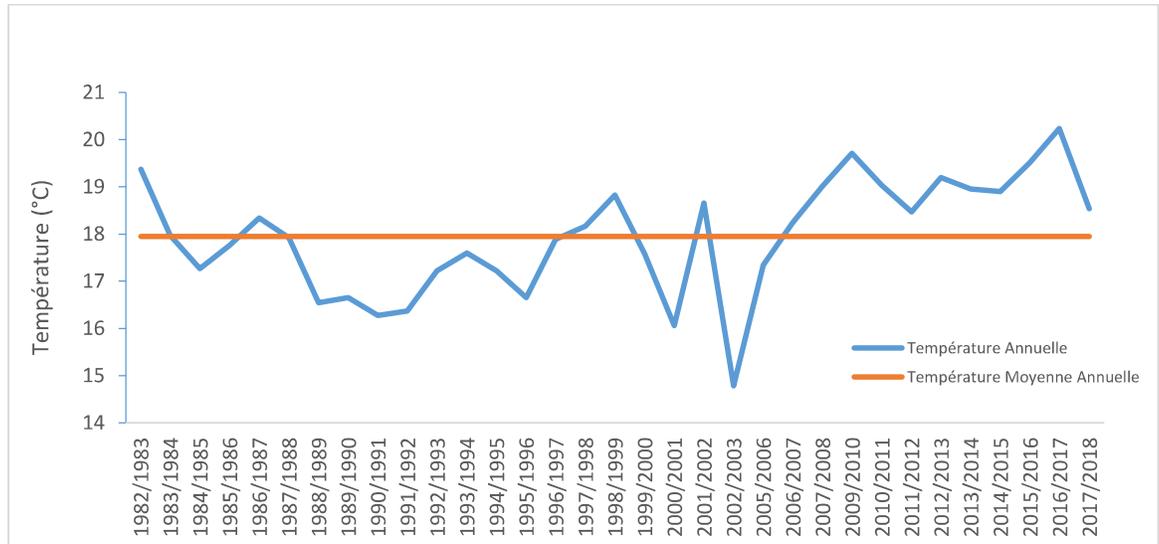


Figure 7 : Température Moyenne Interannuelle (1982-2018)

4. Contexte géologique, hydrogéologique du bassin

Le contexte géologique du bassin met en évidence l'existence des formations d'âge: Paléozoïque, Triasique, Jurassique, Crétacé, Tertiaire et Quaternaire (Word Bank Document, Africa Groundwater Atlas).

La répartition spatiale de la lithologie dans le bassin est illustrée dans la figure suivante :

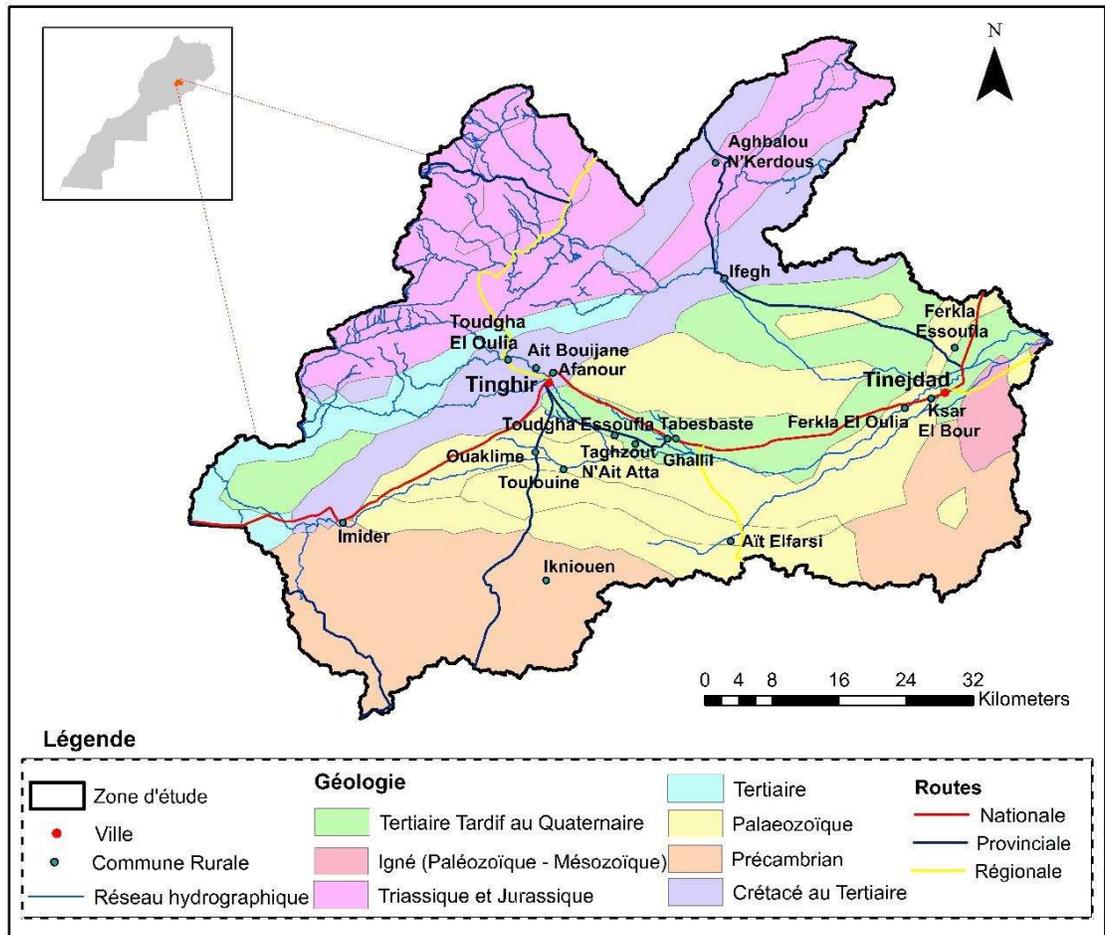


Figure 8 : Répartition des formations géologiques dans le bassin

(Source Données: Word Bank Document, Africa Groundwater Atlas)

Les unités hydrogéologiques qui y existent (ABHGZR,2014), sont les unités aquifères du Quaternaire des vallées et des plaines, les unités aquifères du Jurassique du Haut Atlas et les unités aquifères du Primaire de l'Anti-Atlas. Auxquelles se superpose un ensemble de nappes phréatiques à savoir notamment :

- La nappe de Toudgha-Tinghir : située au pied du Haut-Atlas, elle s'alimente des eaux superficielles qui sont pérennes et proviennent des sources. L'écoulement y s'effectue généralement du Nord-Ouest (Chaines du Haut Atlas) au Sud-Est (Ghllil). La nappe a enregistré une baisse du niveau piézométrique de 20 m environ, en particulier dans sa partie amont entre 1980 et 1993 (ABHGZR,2014) ;
- La nappe de Tinejdad-Touroug : située dans la plaine de Ferkla, on en distingue deux zones. Une première zone caractérisée par une épaisseur comprise entre 0 et 15 m située au-delà de la terrasse alluviale au niveau des affleurements primaires, et une deuxième zone qui présente une

épaisseur supérieure à 15 m, elle est localisée essentiellement entre les deux oueds Toudgha et Ichem. L'alimentation et l'existence de cette nappe sont en étroite relation avec les formations Sud du Haut Atlas central (Jurassique) et les formations nord de l'Anti Atlas oriental (Ougnat-Saghro).

5. Réseau Hydrographique

Le réseau hydrographique du bassin est caractérisé par un régime d'écoulement irrégulier qui se traduit par des averses, des crues importantes durant de courtes durées, et aucun écoulement ne se manifeste hors de ces périodes. Le bassin du Todgha-Ferkla contient le versant Sud du Haut Atlas et les massifs de Saghro et l'Ougnat. Il est drainé principalement par l'Oued Todgha et l'Oued Ferkla. L'Oued Todgha fait naissance entre les chaînes du Haut Atlas, s'alimente à partir de la source souterraine de Tizgui et prend son chemin jusqu'à Tinghir. Quant au Oued Ferkla, il constitue le prolongement de l'oued Toudgha au niveau de la palmeraie de Tinejdad. Il est à noter que l'eau de Toudgha n'arrive jusqu'à Ferkla que lors des crues, pour que ce dernier rejoint par la suite l'Oued Rhéris.

6. Evaluation des ressources en eau à la Vallée de Toudgha-Ferkla

6.1. Apport en eau de surface

Au niveau du bassin Rhéris, Les apports naturels de surface atteignent 150 Mm³. Ces apports correspondent à environ 31% de l'apport global à l'échelle du grand bassin Guir-Ziz-Rhéris. La consommation en eau est de 119 Mm³, le volume restant à mobiliser est de 31 Mm³, le taux d'utilisation des eaux de surface est de 79% ainsi que l'indice d'exploitation globale ou de mobilisation des eaux de surface est de 79%(ABHGZG)..

Concernant La consommation en eau d'irrigation, elle s'élève à 119 Mm³ et elle est satisfaite notamment par l'épandage des crues et les eaux pérennes soutenues par les sources (Todgha, Ma Haggga Ali, Tahemdount, Tifounassine, Aghbalou N'kerdous).

Au niveau du bassin Todgha-Ferkla (Merroucha), en particulier, les apports naturels et les caractéristiques sont consignés et récapitulés dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Caractéristiques du sous bassin Todgha-Ferkla (Merroucha)

Nom du Sous Bassin	Todgha-Ferkla
Superficie (Km ²)	4650
Altitude Moyenne (m)	1534,69
Pente Moyenne (%)	14,38
Pluie Moyenne (mm)	129
Apport Naturel (Mm ³)	64
Potentiel Pluviométrique (Mm ³)	599
Lame d'eau écoulée (mm)	13,8
Coefficient d'écoulement d'eau de surface (%)	10,7

(Source : ABHGZG, 2014)

Les barrages en cours de réalisation dans la zone de Todgha-Ferkla ont une capacité de stockage de 47,2 Mm³ à savoir le barrage Todgha dont la capacité est 33,2 Mm³ et le barrage Timkit ayant 14 Mm³ (ABHGZG).

6.2. Ressources en eau souterraines

Selon l'étude d'actualisation du PDAIRE (version provisoire), les ressources renouvelables en eau souterraine totalisent, pour tous les aquifères de la zone d'action de l'ABHGZR, environ 549.4 Mm³. Les prélèvements par pompage totalisent 228 Mm³. Les aquifères du Haut Atlas représentent les ressources souterraines renouvelables les plus importantes dans tout le bassin Guir Ziz Rhéris soit un potentiel de 211.3 Mm³, suivies de celles du Plio-Quaternaire (près de 165 Mm³), puis le bassin Crétacé d'Errachidia-Boudenib (154.5 Mm³), et enfin le Paléozoïque de l'Anti-Atlas (18.9 Mm³).

Les ressources renouvelables sont estimées en tenant compte des secteurs où les aquifères sont captifs (superficie de près de 18 480 km²) et ceux où les aquifères sont libres (superficie d'environ 9 096 km²). En considérant un coefficient d'emménagement de 2 % à 5 % pour les parties de nappes libres et une porosité efficace de 2 % pour les parties saturées captives, le volume des réserves ainsi calculé est de l'ordre de 114 milliards de m³ à 170 milliards de m³(ABHGZG).

Le déficit global à l'échelle de tous les bassins de la zone d'action de l'ABHZGR est de 23.4 Mm³.

Le Tableau 3 montre le bilan au niveau de chaque unité hydrogéologique.

Tableau 3 : Bilan Global des Nappes (Entrées/Sorties) et Déficit Equivalent

Unité hydrogéologique	Entrées en Mm ³	Sorties en Mm ³	Bilan (Mm ³)
Jurassique du Haut Atlas	211.3	211.3	0
Bassin Crétacé	154.52	154.52	0
Plio-Quaternaire	164.67	188.09	-23.42
Paléozoïque du Maider	18.9	18.9	0
Total (Mm³)	549.39	572.81	-23.42

(Source : PDAIRE ABHGZG 2019 en cours d'actualisation)

7. Systèmes de cultures et Irrigation

Les systèmes de cultures dans le Todgha-Ferkla sont diverses et basés sur l'association de plusieurs cultures. Ils combinent des végétaux ligneux avec des cultures herbacées sur la même parcelle (Mémento de l'agronome, 1993). Ils sont de plusieurs natures :

- Systèmes de Cultures à une seule Strate : ce sont des systèmes de monoculture de palmier dattier, ils sont irrigués en goutte-à-goutte ou irrigués par gravité ;
- Systèmes de cultures à deux strates : La première strate est le palmier dattier (ou peut être un arbre fruitier), la deuxième strate comprend des cultures basses de type luzerne, céréale, cultures maraîchères, ... ;
- Systèmes de cultures à trois strates : Le premier étage est toujours le palmier dattier. Pour le deuxième étage, intermédiaire, il est constitué par une large gamme d'arbres fruitiers (olivier, grenadier, figuier, abricotier, prunier, etc.). Enfin, le troisième étage, inférieur, il est constitué des cultures sous-jacentes (céréales, luzernes et maraichages) (Acherkouk et al., 2003).

Ces systèmes de culture sont liés aux trois zones agro-écologiques (raddo.org):

- Les montagnes à deux étages (Amont) : arbres fruitiers (pommier, olivier) et cultures basses (céréale, fève et parfois la luzerne) ;
- Les zones intermédiaires avec la présence de trois strates : palmier dattier, autres arbres fruitiers (olivier, amandier) et cultures sous-jacentes (céréales, maraîchage, luzerne) ;
- Et les plaines en aval de la zone dominées par deux étages de végétation : palmier dattier, céréales et maraîchages.

Les modes d'irrigation et les modalités d'accès à l'eau diffèrent de l'amont vers l'aval du bassin. Dans la partie nord de la vallée, l'accès à l'eau de l'irrigation se

fait à partir des sources de rivières et oueds avec présence des droits d'eau³ qui sont en fonction du travail fourni par l'exploitant dans son champ. Elle est marquée également par la présence d'ouvrages hydrauliques traditionnels telles les séguias⁴ et les khetarras. Dans la basse vallée, où la raréfaction d'eau est plus observée, le débit de la rivière ne suffit pas pour alimenter les exploitations, ce qui exige un recours systématique aux ouvrages de captage des eaux souterraines (puits, forages et/ou puits-forage). L'irrigation localisée est plus marquée dans ces zones.

8. Situation énergétique au bassin

Le rayonnement solaire dans la zone d'études varie de 3,59 kWh/m²/j en Janvier à 3,25 kWh/m²/j en Décembre, il atteint 7,31 kWh/m²/j en Juin (maximum). La valeur moyenne annuelle est 5,45 kWh/m²/j. Le Tableau 4 contient les valeurs moyennes mensuelles

Tableau 4 : Rayonnement Solaire Mensuel dans le bassin

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Rayonnement Solaire (kWh/m ² /j)	3,59	4,43	5,39	6,62	7,26	7,31	7,21	6,19	5,67	4,59	3,79	3,25

(Source : Logiciel RETScreen, NASA)

La Figure 9 présentée en dessous, montre la variation annuelle du rayonnement solaire :

³ Les capacités de mobilisation de l'eau de chacune des oasis traduisent des droits d'eau historiques. Le droit d'eau représente le droit d'usage de la ressource par l'exploitant et il varie selon les oasis et les ressources disponibles.

⁴ Les séguias sont de petits canaux en béton et ouverts acheminant l'eau depuis les seuils vers les oasis.

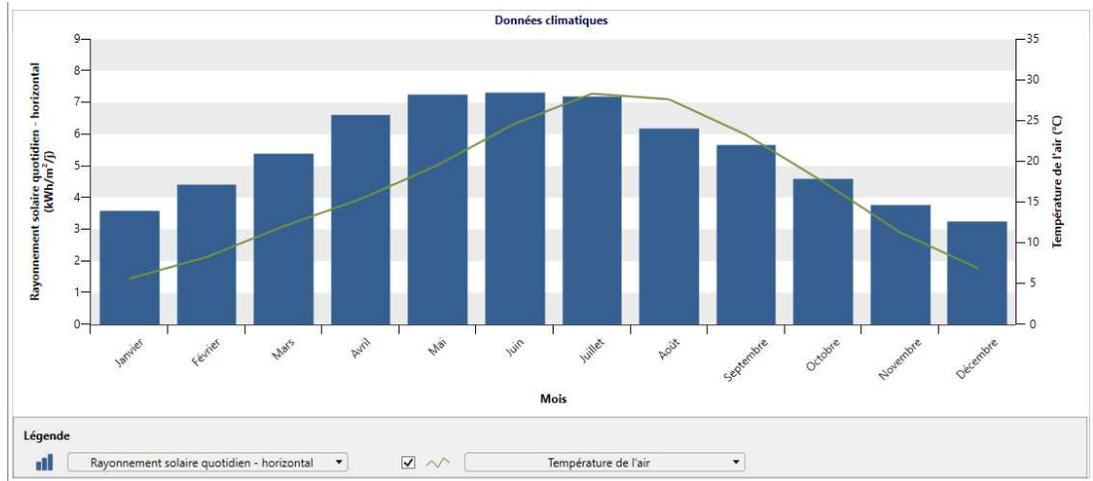


Figure 9 : Variation du rayonnement solaire dans la zone d'étude (Source : RETSCREEN)

9. Conclusion

Le bassin hydrologique de la vallée de Todgha-Ferkla, connu également par Merroutcha, s'étend sur une superficie de plus de 4500 km². Le climat y est aride, marqué par une faible pluviométrie et des températures très élevées en mois d'été et très faibles en hiver.

La topologie présente une forme assez régulière et très accentuée au Nord aussi qu'au Sud du bassin. Le réseau hydrographique ainsi est marqué par un régime d'écoulement irrégulier et non pérenne qui se traduit par des crues de forts débits et de courtes durées. Deux oueds principaux traversent le bassin: l'Oued Todgha et l'Oued Ferkla. Les pratiques agricoles et les modalités d'accès à l'eau diffèrent de l'amont vers l'aval de La zone d'étude.

Au nord de la vallée, les agriculteurs irriguent à partir des sources de rivières et les systèmes de cultures qui y figurent sont à 3 étages. Dans la basse vallée, où la raréfaction d'eau est plus observée, les agriculteurs procèdent au pompage à partir des eaux souterraines et généralement les systèmes de cultures à 3 étages sont adoptés.

Bref, la zone d'étude est face à des conditions climatiques et hydriques sévères, cependant, elle présente plusieurs richesses définies par un espace agro-écologique bio divers et résistant ainsi qu'un potentiel solaire très élevé (5.45 kWh/m²/j).

Chapitre 04 : Démarche méthodologique

1. Introduction

Le présent chapitre a pour but de présenter la démarche suivie pour la réalisation de ce travail.

La collecte de données était fondée sur des enquêtes de terrain et des mesures in-situ qui constituent l'élément de base de notre travail, puisqu'elles permettent d'avoir des données de premier ordre pour répondre à la problématique et apporter des éléments de réponse aux objectifs assignés à ce travail.

Le travail sur terrain, et l'analyse des données a été passé par un ensemble d'étapes qu'on va détailler dans le présent chapitre :

1. Une sortie exploratoire ;
2. Entretien avec les institutions ;
3. Organisation des enquêtes ;
4. Collecte des données ;
5. Phase des enquêtes ;
6. Phase des mesures ;
7. Traitement des données et procédures de calcul.

2. Une sortie exploratoire

Une sortie exploratoire de quatre jours dans la vallée de Toudgha-Ferkla pour découvrir la région, s'entretenir avec les exploitants, prendre les contacts, faire un diagnostic général, analyser la structure et la typologie des exploitations afin d'adapter les fiches d'enquêtes, ...

3. Entretiens avec les institutions au niveau local

Ces entretiens se sont déroulés sous forme d'un échange direct et discussions avec les responsables des institutions suivantes :

- L'Office Régional de la Mise en Valeur Agricole d'Ouarzazate à Ouarzazate ;
- L'Office Régional de la Mise en Valeur Agricole de Tafilalet à Er-Rachidia ;
- L'Agence Nationale pour le Développement des Zones Oasiennes et de l'Arganier à Er-Rachidia ;
- L'Agence de Bassin Hydraulique de Guir-Ziz-Rheris à Er-Rachidia.

Le but de ces entretiens est de recueillir des renseignements sur la zone d'étude à travers des entretiens directs avec les responsables, prendre les contacts de quelques agriculteurs et avoir accès à la documentation nécessaire pour accomplir ce travail (monographie de la région, cartes, situation de la nappe, données climatiques, rapports et études en relation avec notre thème, ...).

4. Organisation des enquêtes

Sur la base des éléments issus des différentes sources d'information (les entretiens avec les institutions, les visites de terrain, l'expérience des gestionnaires des offices) nous avons établi la liste des critères à considérer pour le choix des exploitations agricoles à enquêtées. Ces critères sont comme suit :

- **Catégorie du périmètre** : oasis traditionnel ou zone d'extension ;
- **Type de pompage** : individuel ou collectif ;
- **Source d'énergie de pompage** : solaire, mixte, autre ;
- **Mode d'irrigation** : localisé, gravitaire ;
- **Taille de l'exploitation** : grandes, petites et moyennes.

Donc on essayer dans la durée consacré au travail terrain de choisir l'échantillon de notre étude de la manière suivante :

- échantillon répartie dans le bassin, donc pour chaque zone de la zone de notre étude on a fait au moins une enquête.
- l'échantillon doit être diversifié c'est à dire prendre des exploitations de différentes tailles, différents systèmes d'irrigation, différents périmètres, différentes sources de pompage.

Pour les périmètres collectifs on a visité les périmètres qu'on a eu le contact des membres de leurs associations.

D'après ces critères, Le déroulement de nos enquêtes a été fait comme suit :

- Enquête avec 38 exploitations agricoles réparties dans la zone d'étude qui recourent au pompage individuel via l'énergie solaire ;
- Enquête avec les gérants de 3 périmètres de pompage collectif via l'énergie solaire dans les zones d'extensions ;
- Enquête avec les membres de 3 AUEAs dans les oasis traditionnelles ayant recours au pompage collectif via le solaire ;
- Enquête avec 6 fournisseurs des équipements de pompage solaire dans la ville de Tinghir.

5. Collecte des données

5.1. Phase des enquêtes

5.1.1. Enquête auprès des agriculteurs

L'enquête auprès des agriculteurs a été fondée sur un questionnaire permettant de collecter les données nécessaires.

Les fiches d'enquête (annexe 01), traitent les aspects suivants :

Tableau 5 : Principaux volets d'enquêtes réalisées

Volet	Axe	Donnée à collecter
Identification de l'exploitation.	<ul style="list-style-type: none"> - Identification de l'agriculteur ; - Identification de l'exploitation. 	<ul style="list-style-type: none"> - Localisation (GPS) ; - Information sur l'exploitant : le nom, téléphone... - Caractéristiques de l'exploitation : superficie, Ancienneté, Statut foncier, ...
Caractérisation des ouvrages de captages d'eau.	<ul style="list-style-type: none"> - Identification des sources de captages de l'eau ; - Identification des équipements de pompage ; - Equipement de pompage en butane/diesel/électrique s'il existe. 	<ul style="list-style-type: none"> - Données sur les sources de captages d'eau : nombre, débit, profondeur, type emplacement, autorisation de pompage? - Information sur les équipements de pompage : la pompe, le moteur, ...
Caractérisation des installations de pompage solaire (objectif et diagnostic).	<ul style="list-style-type: none"> - Identification des composantes de l'installation ; - Schéma de l'installation ; - Mode de fonctionnement du système de pompage solaire; - Pratiques d'entretiens et de maintenances. 	<ul style="list-style-type: none"> - Données sur les composantes de l'installation solaire : panneaux, Convertisseur, ... - Données sur les systèmes de pompage solaire : date d'installation, motivations, configuration, procédure d'installation ; choix de fournisseur, nom de la société, spécifications du matériel ... - Comparaison entre usage pompage solaire et le cas échéant ; - Données sur pratiques d'entretiens et de maintenances.
Description du système d'irrigation.	<ul style="list-style-type: none"> - Mode d'irrigation ; - Equipements d'irrigation : de la source à la culture ; - Schéma de fonctionnement. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mode d'irrigation ; - Caractéristiques du système d'irrigation.
Production Agricole et pratiques d'irrigation.	<ul style="list-style-type: none"> - Cultures pratiquées ; - Calendrier d'irrigation. 	<ul style="list-style-type: none"> - Caractéristiques de la production agricole : assolement ; - Calendrier d'irrigation : durée et fréquences d'irrigations ; - Données permettant de déterminer : - Niveau de consommation d'eau ; - Analyse des pratiques d'irrigation.
Mode d'exploitation des ressources en eau souterraines.	<ul style="list-style-type: none"> - La situation de la nappe ; - Mode d'exploitation de la nappe ; - Niveau de consommation d'eau. 	<ul style="list-style-type: none"> - Données permettant de déterminer : - Situation de la nappe ; - Mode d'exploitation de la nappe : durée de pompage, facteurs limitant le pompage ; - Comparaison entre le niveau de consommation d'eau avant et après la conversion en pompage solaire.
Aspects financiers	<ul style="list-style-type: none"> - Mode de financement ; 	<ul style="list-style-type: none"> - Mode de financement : Individuel,

	- Coûts d'investissement, d'exploitation et de maintenance.	Subvention, Crédit ; - Coûts d'investissement, d'exploitation et de maintenance avant/après pompage solaire ; - Coût d'achat des composantes de l'installation solaire.
--	---	---

5.1.2. Entretien avec les responsables des sociétés d'installation du matériel pompage solaire

L'entretien avec les fournisseurs des équipements de pompage solaire dans la zone d'étude était fait à l'aide d'un questionnaire (annexe 03) qui comporte les rubriques suivantes :

- **Coordonnées du Fournisseur** : pour l'identification de l'entreprise (Nom, coordonnées, année de création, existence des annexes de l'entreprise, ...) ;
- **Activités** : pour la détermination des différentes activités de l'entreprise, les motivations qui l'ont poussé à exercer la distribution/installation du matériel de pompage solaire, la nature de projets réalisés (collectif ou individuel) et les perspectives de l'agriculteur,
- **Produits et Services** : pour on de la caractérisation des produits et les services proposés, leurs gammes de prix, ...
- **Les Partenaires** : pour la détermination des critères de choix exigés lors de l'achat des équipements ainsi les modalités exercées pour trouver les clients et les problèmes rencontrés avec les agriculteurs ;
- **Expérience au sein du marché de PPV** : pour la détermination des enjeux et les contraintes du marché.

5.1.3. Contraintes rencontrées sur terrain

Certaines difficultés ont été rencontrées sur le terrain, notamment :

- La difficulté de convaincre quelques agriculteurs à participer dans l'enquête ;
- La faible fiabilité des déclarations des agriculteurs concernant leurs comportements après l'installation de pompage solaire : l'augmentation de la consommation d'eau, la réduction des couts d'entretiens, ... ;
- La difficulté de trouver les agriculteurs dans leurs exploitations dans les jours de souk (le dimanche la journée du souk à Tinjdad, le lundi la journée du souk à Tinghir, le jeudi la journée du souk à Taghzout).

5.2. Phase de mesures

Cette phase concerne la mesure des débits pompés, la mesure des débits des goutteurs, la mesure des pressions et les longueurs d'aspirations et de refoulements des pompes la fiche de mesure utilisé se trouve en annexe 04 :

5.2.1. Mesure des débits pompés

a. Objectifs de mesure

La mesure des débits pompés va nous permettre de :

- Evaluer le taux de satisfaction des besoins en eau ;
- Evaluer le rendement de pompage.

b. Méthode

On a mesuré les débits pompés par deux méthodes :

- La méthode volumétrique pour les exploitations qui ne disposent pas d'un compteur de débit. Pour cela on a utilisé un récipient et un chronomètre. On a mesuré 3 valeurs de volume et de temps à la fois pour chaque exploitation pour en déduire par la suite la moyenne sur la base de laquelle on obtient le débit concerné.
- Le calcul du débit via la lecture sur le compteur et l'utilisation du chronomètre dans le cas de l'existence du compteur.



Figure 10 : Mesure du Débit

5.2.2. Mesure des débits de goutteurs

a. Objectifs de mesure

La mesure des débits de goutteurs va permettre de calculer le coefficient d'uniformité d'arrosage.

b. Méthode

On a utilisé la méthode de Keller et Karmeli (1975) qui consiste à mesurer le débit de 16 distributeurs répartis sur le champ. Ces mesures portent sur 4 distributeurs par rampe sur 4 rampes. Le choix des rampes et des goutteurs se présente comme suit :

- Localisation de la première et la dernière rampe, celles qui se trouvent au tiers et aux deux tiers de la longueur du porte-rampes ;
- Sur chacune de ces rampes, le premier et le dernier distributeur, ceux qui se trouvent au tiers et aux deux tiers de la longueur de la rampe.

On détermine par la suite :

- La moyenne q_{moy} des 16 valeurs mesurées ;
- La moyenne q_{min} des 4 valeurs les plus faibles.

c. Critères de choix

- Les exploitations ayant le système d'irrigation localisée ;
- Systèmes de cultures pratiquées par l'exploitation est le Palmier Dattier, l'Olivier, l'Amandier et la Luzerne puisque ces cultures sont les plus dominantes dans la zone d'études.



Figure 11 : Mesure des débits de goutteurs

5.2.3. Mesure des longueurs d'aspiration et de refoulement de la pompe

a. Objectifs

L'objectif de mesure les longueurs d'aspiration et de refoulement c'est d'utiliser ces paramètres dans le calcul du rendement d'une installation PV qui est un indicateur qui renseigne sur la performance du système photovoltaïque. La formule de calcul du rendement global est :

$$R = \frac{2.725 \times Q \times H}{E \times W_c}$$

Avec :

- **R** : le Rendement global (%) ;
- **W_c** : puissance du générateur en Wattcrête ;
- **Q** : débit en (m³/jour) ;
- **H** : hauteur manométrique (m) ;
- **E** : ensoleillement journalier en (kWh/m².jour).

b. Méthode

On mesure les longueurs de refoulement à l'aide d'une roue métrique (Figure 12), et pour connaître les longueurs d'aspiration, nous nous sommes basées sur les déclarations des agriculteurs puisque on avait pas autre moyen pour déterminer cette longueur.



Figure 12 : Mesure des longueurs

5.2.4. Mesure des pressions

a. Objectifs

La détermination de la pression au niveau du réseau montre l'état de fonctionnement des systèmes d'irrigation localisée.

b. Méthode

Pour la mesure in-situ, on utilise un manomètre à huile pour un échantillon d'exploitations agricoles. Ces mesures portent au niveau de l'entrée et la sortie des

rampes : la plus favorable et celle la plus défavorable. Une valeur qui ne fait pas partie de l'intervalle [0,5 ; 1,7] indique un dysfonctionnement et des problèmes de l'installation qui sont à déterminer et à régler.



Figure 13 : Manomètre à huile utilisé pour la mesure de la pression

6. Traitement des données et Calcul des indicateurs

Cette étape a concerné l'organisation et le tri des données collectées afin de les présenter sous forme d'une base de données (MS Access®) et des représentations graphiques pour mieux analyser les résultats et les calculs des indicateurs faits à l'aide du logiciel MS Excel®.

6.1. Evaluation du rendement global de l'installation de pompage solaire

Le processus de calcul du rendement d'une installation de pompage solaire est complexe. Puisque la puissance des panneaux solaires varie au cours de la journée et au cours de l'année. A ces variations de puissance, s'ajoutent des variations de la vitesse de la pompe et donc du rendement et de l'efficacité de la pompe et du moteur. Tout cela a une influence sur le débit de la pompe, ce qui pourrait donner un rendement variable d'une journée à une autre et qui dépend directement de l'ensoleillement pendant la journée.

La détermination du rendement global de l'installation solaire permet d'évaluer ses performances, pour être en mesure de commander correctement un système solaire et de vérifier son bon fonctionnement conformément aux prévisions établies.

Le rendement des panneaux solaires est le rapport entre la quantité d'énergie électrique entrante et sortante d'un système. Il s'agit de la quantité d'énergie solaire

transformée en énergie électrique (hellowatt.fr). Pour le calculer, il faut donc effectuer le calcul suivant :

$$\text{Rendement} = \frac{\text{Quantité d'énergie produite}}{\text{Quantité d'énergie solaire reçue}} \times 100$$

Donc la formule de calcul de rendement est :

$$\text{Rendement Global (\%)} = \frac{\text{Energie Hydraulique (Wh/j)}}{\text{Energie Electique(Wh/j)}}$$

L'énergie hydraulique requise par jour est :

$$E_{hydr} = \frac{\rho \times g \times Q \times HMT}{3600}$$

Avec :

- g : constante de la gravité (9,81 m/s²).
- ρ : Densité de l'eau (1000 kg/m³).

Soit :

$$E_{hydr} = 2,725 \times Q \times HMT$$

Où :

- E_{hydr} : Énergie hydraulique (Wh/jour) ;
- HMT : hauteur manométrique totale (m) ;
- Q : débit d'eau (m³/jour).

L'énergie électrique produit par le réseau solaire est calculée par la formule :

$$E_{elec} = W_c \times I_o\beta$$

Avec :

- W_c : Puissance crête du champ photovoltaïque à installer en W_c ;
- E_{elec} : Énergie électrique de pompage exprimée en (Wh) ;
- $I_o\beta$: Ensoleillement ou irradiation journalière moyenne incidente sur le module photovoltaïque de l'inclinaison β , exprimé en (kWh/m²/j) ;

Puisqu'on n'a pas eu accès aux mesures horaires de l'irradiation solaire, on la calcule avec la méthode approximative suivante :

$I_o\beta$ est calculée par la procédure suivante :

$$I_{o\beta} = I_{on} \times \cos(i) \quad (\text{Wh/m}^2)$$

Avec :

- I_{on} : flux de rayonnement solaire hors atmosphère reçu par une surface normale aux rayons solaires $I_{on} = I_o (1 + 0.033 \cos((360/365) * j))$, j est le numéro du jour à partir du 1er Janvier ;

La constante solaire I_o , C' est la densité de l'énergie solaire, $I_o = 1367 \text{ w/m}^2$.

- $\cos(i) = \sin(\delta) \sin(\phi - \beta) + \cos(\delta) \cos(\phi - \beta) \cos(w)$
- w : L'angle horaire, w ($^\circ$) = 15 (TSV-12), Temps Solaire Vrai (TSV) : il est défini par l'angle horaire w du centre du soleil ;
- δ : La déclinaison solaire calculée par :

$$\delta (\text{deg.}) = 23,45 \sin((360/365) * (j + 284))$$

j est le numéro du jour à partir du 1^{er} Janvier.

- ϕ : la latitude de lieu (en « $^\circ$ ») ;
- β : l'inclinaison des panneaux (en « $^\circ$ »).

D'où, le rendement global est calculé par la formule suivante :

$$R = \frac{2,725 \times Q \times H}{360 \times I_{o\beta} \times W_c}$$

Avec :

- R : rendement global (%) ;
- Q : débit en m^3/jour ;
- H : hauteur manométrique en mètre ;
- $I_{o\beta}$: ensoleillement journalier en $\text{kWh/m}^2/\text{j}$;
- W_c : puissance du générateur en Wattcrête.

Puisque la procédure de calcul du rendement est complexe en raison de la nécessité de suivi horaire de débit et du fait que les exploitations agricoles de l'échantillon de l'étude sont dispersées au niveau de la zone. Il s'est avéré qu'il est difficile d'utiliser cette procédure pour un grand nombre d'exploitations. En conséquence, nous avons fait le choix d'une exploitation pilote en utilisant les étapes suivantes :

- Suivre la variation du débit de pompage le long de la journée ;
- Mesurer les longueurs d'aspirations et de refoulement et on détecte les accessoires causant la perte de charge ;
- Déterminer l'ensoleillement du jour de mesure qui dépend de la localisation géographique de l'exploitation (la latitude et la longitude du

lieu) et de degré d'inclinaison des panneaux, la date du jour de mesure et l'heure de mesure.

6.2. Détermination des indicateurs de performance de l'irrigation

Il s'agit de la détermination des indicateurs qui évaluent les performances des réseaux d'irrigation :

6.2.1. Le taux de satisfaction des besoins en eau des cultures

Le taux de satisfaction des besoins en eau des cultures est calculé sur la base du volume apporté et du besoin théorique pour les 3 cultures : Palmier Dattier, l'Olivier et l'Amandier.

La formule de calcul de cet indicateur est présentée ci-dessous :

$$T_s = \frac{V_a}{B_b} * 100$$

Avec :

- T_s : Taux de satisfaction des besoins exprimé en (%).
- B_b : Besoin bruts sur la période considérée en (m³/ha).
- V_a : Volume apporté sur la période considérée en (m³/ha).

a. Détermination des besoins en eau des cultures

Les données climatiques (Température et Pluviométrie) des stations météorologiques Aït Bouijane et Merroutcha sont utilisées pour le calcul des différents paramètres.

i. Calcul des besoins nets en eau d'irrigation

La méthode d'évaluation des besoins en eau des cultures est celle préconisée par la FAO (Doorenbos et Pruitt, 1975).

Le besoin net en eau d'irrigation (B_n) est calculé via la formule suivante :

$$B_n = K_c * K_r * ET_0 - P_{eff}$$

Où :

- K_c et K_r sont respectivement le coefficient cultural et le coefficient de réduction. Selon l'ORMVA de Tafilalet, leurs valeurs pour les cultures Palmier Dattier, Olivier et l'Amandier sont données dans le Tableau 6.

Tableau 6 : Kc et Kr du Palmier Dattier, Olivier et Amandier (ORMVAT)

Culture	Mois	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08
Palmier	Kc	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9
	Kr	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Olivier	Kc	0,7	0,7	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,7	0,7	0,7
	Kr	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Amandier	Kc	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,65	0,7	0,7
	Kr	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

- ET_0 : L'évapotranspiration de référence, calculée, dans notre cas, par la méthode de Blaney-Criddle (USDA, 1962).

$$ET_0 = [(0,457 * t) + 8,128] * p * K_t$$

Avec :

- p : La durée d'éclairement en pourcentage de la durée totale annuelle, il est extrait du bulletin de FAO (FAO,1977)

Tableau 7 : La durée d'éclairement en pourcentage de la durée totale annuelle (Source : FAO)

	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août
p (%)	0,28	0,26	0,24	0,23	0,24	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,31	0,3

- K_t : le coefficient climatique calculé par la formule : $K_t = 0,031 * t + 0,24$ où t : la température moyenne en C°.
- P_{eff} : La pluie efficace. Elle est calculée de la manière suivante :

$$P_{eff} = 0,8 * P \text{ si } P > 75 \text{ mm/mois}$$

$$P_{eff} = 0,6 * P \text{ si } P < 75 \text{ mm/mois}$$

Où P : est la pluviométrie moyenne en (mm/mois).

ii. Calcul des besoins bruts en eau d'irrigation

Ils correspondent la quantité d'eau nécessaire à apporter à la plante en tenant compte de l'efficacité à la parcelle et aux pertes dans le réseau. Ces besoins se calculent comme suit :

$$B_b = \frac{B_n}{E_g}$$

Avec :

- E_g : Efficience à la parcelle.

b. Détermination des volumes apportés

Les étapes de détermination des volumes apportés sont :

- Déterminer les nombres d'heures d'irrigation ($N_{h,i}$) de chaque culture par campagne agricole à partir des calendriers d'irrigation.
- Détermination des débits d'irrigations(Q_i) en et des surfaces (S) irriguées simultanément par ce débit.

Le volume annuel apporté est donc :

$$V_{\text{apporté}} = \frac{Q_i}{S} * N_{h,i}$$

Avec, $V_{\text{apporté}}$ en (m^3 /Ha/an), Q_i en (m^3 /h) et S en (Ha).

6.2.2. Uniformité d'application de l'eau à la parcelle

Le coefficient d'uniformité à la parcelle renseigne sur l'homogénéité de la distribution de l'eau d'irrigation à la parcelle. En utilisant la méthode de Keller et Karmeli (1975), le coefficient d'uniformité appelé aussi Uniformité de Distribution (UD) est calculé par la relation suivante :

$$CU(\%) = 100 * \frac{q_{\min}}{q_{\text{moy}}}$$

Le Tableau 8 résume la classification des valeurs de l'indicateur aussi que leurs observations.

Tableau 8 : Classification et Interprétation du CU selon CEMAGREF (1992)

Classe	Résultat d'Uniformité	Suggestion
CU>90	Excellente	Aucune intervention n'est nécessaire
80<CU<90	Satisfaisante	Nettoyage du réseau
70<CU<80	Médiocre	
CU<70	Mauvaise	Déterminer les causes du colmatage et les traiter



Troisième Partie :
Résultats et Discussions

Chapitre 05 : Caractérisation des exploitations agricoles et les systèmes de pompage

1. Introduction

Le présent chapitre a pour but de présenter une description des exploitations agricoles qui ont fait l'objet des enquêtes, et les périmètres de pompage collectif visités.

2. Caractérisation des exploitations étudiées

2.1. Description des exploitations

2.1.1. Situation géographique

Les exploitations étudiées sont réparties au niveau de la zone d'étude, elles sont de nombre de 38 exploitations dispersées entre 10 communes.

Le Tableau 9 montre le nombre d'exploitation enquêtée par commune :

Tableau 9 : Exploitations enquêtées par commune

Commune (Rurale/Municipale)	Nombre d'exploitation enquêtée
Tinghir	1
Toudgha Essouffla	2
Taghzout N'ait Atta	13
Ait el farsi	1
Ouaklim	3
Iknioun	4
Tinjdad	5
Ferkla Essouffla	1
Ferkla El Oulia	2
Aghbalou N'kerdous	6

La Figure 14 donne la répartition des exploitations enquêtées dans la zone d'étude :

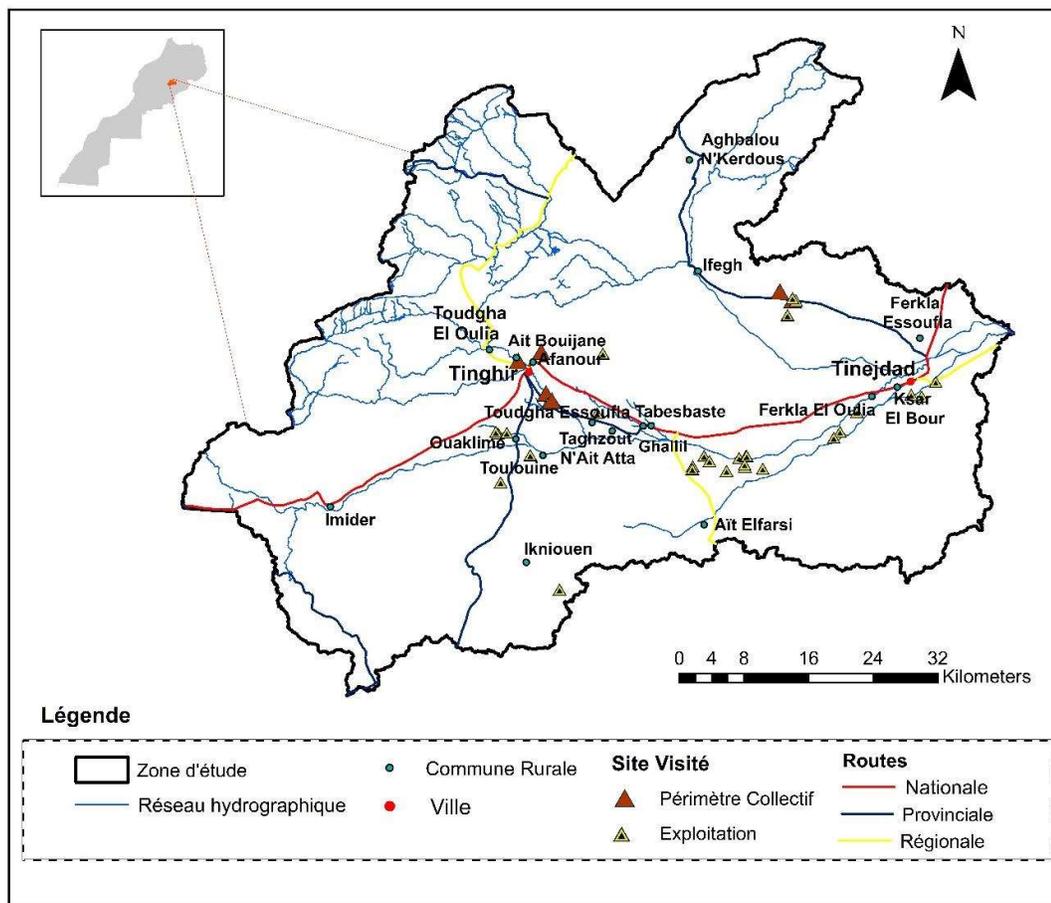


Figure 14 : Répartition Spatiale des exploitations enquêtées dans le bassin

2.1.2. Genre et Age des exploitants

Les exploitants enquêtés sont tous des Hommes, leurs âges sont compris entre 24 ans et 76 ans, la tranche d'âge dominante de l'échantillon étudié est entre 40 ans et 60 ans.

La figure 15 montre la répartition de nombre d'agriculteurs selon l'âge :

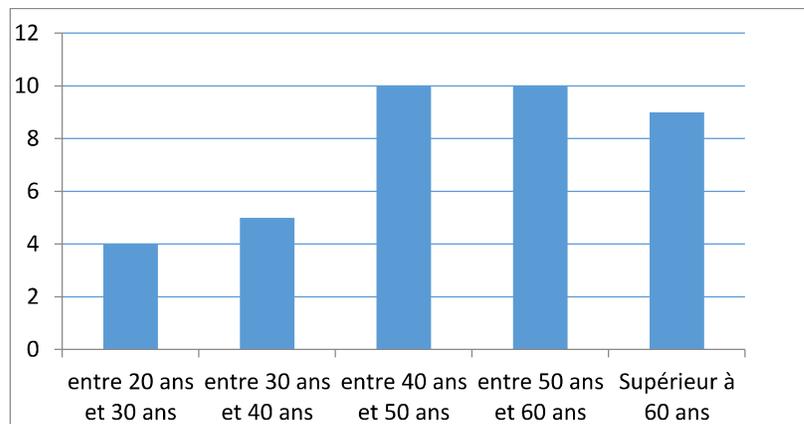


Figure 15 : Répartition de nombre d'agriculteurs selon l'âge

2.1.3. Taille des exploitations

Les exploitations étudiées peuvent être classées selon leur taille en trois catégories : une première tranche dont la superficie est inférieure à 5 ha, une deuxième avec une superficie comprise entre 5 et 10 ha et une dernière ayant une superficie supérieure à 10 ha.

La répartition de l'échantillon global par taille d'exploitation est présentée dans la Figure 16.

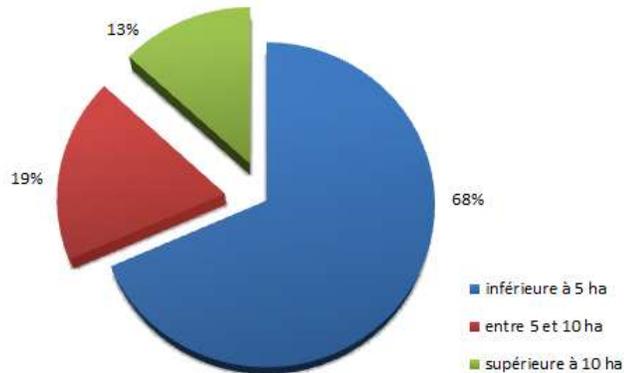


Figure 16 : Répartition des exploitations par tranches de surface

2.1.4. Statuts fonciers

Il y a une dominance du statut foncier Melk pour les exploitations étudiées, seulement 2 exploitations se situent au niveau des terres collectives et les agriculteurs l'exploitent individuellement depuis longtemps.

2.1.5. Mode de faire valoir

Le mode de faire valoir dominant dans les exploitations enquêtées est direct, c'est à dire les activités de la ferme s'effectuent par son propriétaire.

2.1.6. Ancienneté de l'exploitation

Les dates du commencement des activités agricoles pour les exploitations étudiées varient d'une exploitation à une autre, il y a des exploitations qui ont commencé depuis longtemps et d'autres qui ont commencé leurs activités agricoles récemment. Ces dates sont comprises entre 1974 et 2021.

2.2. Caractéristiques des ouvrages de captage

2.2.1. Nombre et type des ouvrages de captage

Les eaux souterraines constituent la source d'eau d'irrigation pour toutes les exploitations enquêtées, chacune d'elles possède au moins une source de captage souterraine, on trouve trois types : des puits, des forages, et des puits-forage.

La Figure 17 montre la répartition des ouvrages de captage selon leur type et nombre.

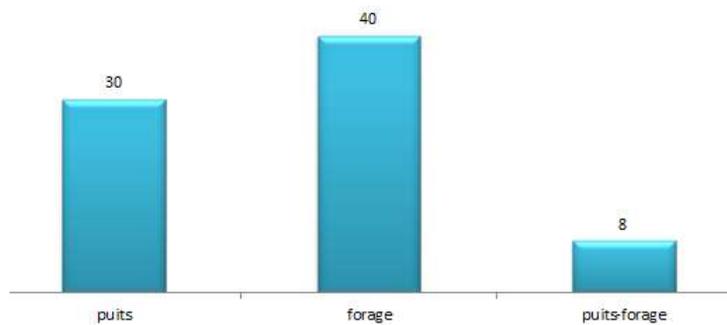


Figure 17 : Type et nombre des ouvrages de captages

2.2.2. Date de creusement

Plusieurs ouvrages de captage ont été creusés dans les années quatre-vingt, ce qui montre que l'exploitation de la nappe dans la région est très ancienne, la dernière décennie connaît aussi un creusement énorme des dispositifs de captage.

Le Tableau 10 montre le nombre d'ouvrage creusés par période.

Tableau 10 : Date de creusement des ouvrages de captage

Date	avant 2000	entre 2000 et 2010	entre 2010 et 2021
Nombre	24	18	36

2.2.3. Diamètre des ouvrages

Le diamètre des puits est variable d'une exploitation à une autre, 3 diamètres sont souvent constatés : 2 m, 2.5 m, 3m.

2.2.4. Profondeur et Niveau d'eau

Les profondeurs des puits des exploitations étudiées varient entre 20 et 140 mètres. Concernant les niveaux d'eau, selon les déclarations des agriculteurs le niveau de l'eau dans les ouvrages de captage est variable d'une exploitation à une autre entre 6 m et 80 m.

La profondeur minimale et maximale par type d'ouvrage de captage dans l'échantillon global est présentée dans la figure suivante :

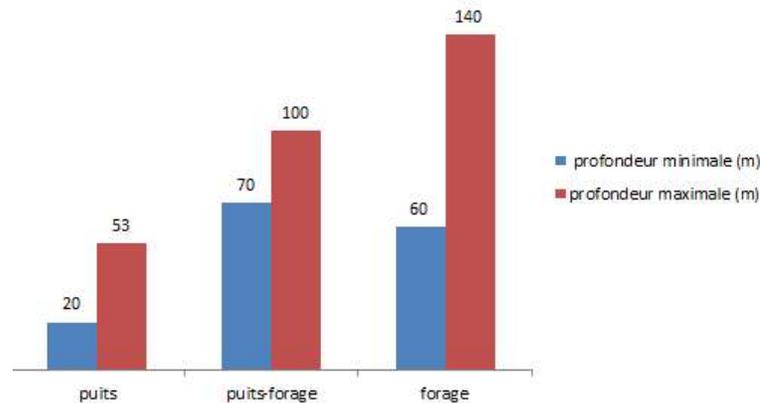


Figure 18 : Profondeurs minimales et maximales selon les types des ouvrages de captage

La source d'énergie de pompage principale des exploitations enquêtées est l'énergie solaire, mais en plus de solaire les exploitations disposent d'une autre source d'énergie classique (le gasoil, le gaz butane et l'électricité).

La Figure 19 montre le nombre des exploitations par type d'énergie supplémentaire de pompage.

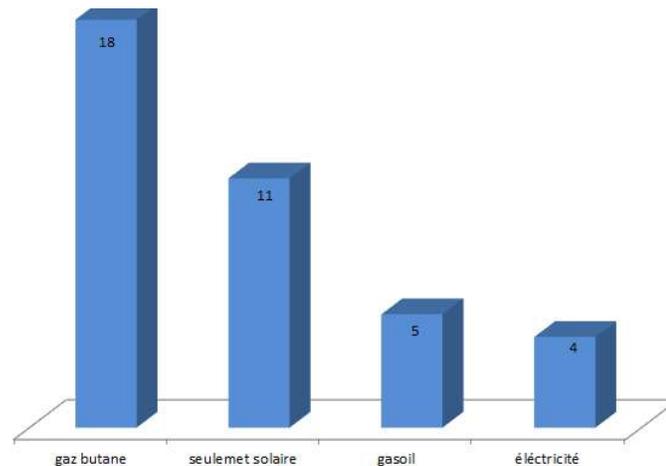


Figure 19 : Nombre des exploitations ayant pompage mixte

2.3. Caractéristiques des installations de pompage solaire

2.3.1. Date d'installation

L'acquisition des installations solaire été fait pour les exploitations étudiées entre 2009 et 2021, Le graphique ci-dessous présente la répartition des installations de PPV enquêtées par date d'acquisition du système de pompage photovoltaïque :

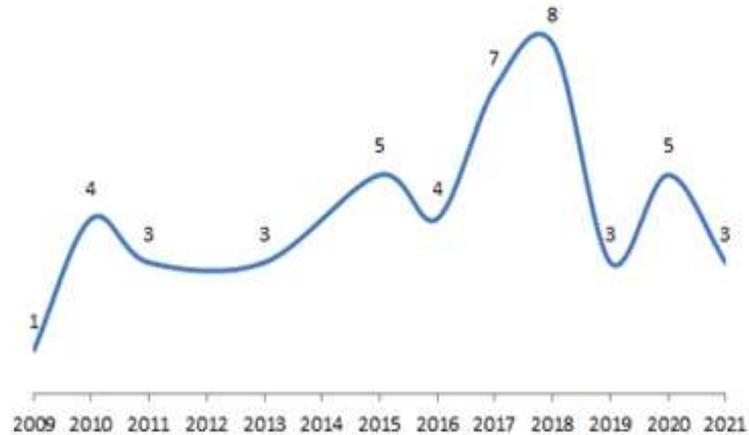


Figure 20 : Evolution des installations de PPV dans les exploitations enquêtées

2.3.2. Nombre des panneaux

Le nombre des panneaux installés pour chaque exploitation diffère selon la superficie, le Tableau 11 montre le nombre minimale et maximal des panneaux installés des exploitations étudiées par tranche de surface.

Tableau 11 : Nombre minimale et maximal des panneaux installés par tranche de surface

Superficie	inférieur à 5 ha	entre 5 ha et 10 ha	supérieur à 10 ha
le nombre minimal des panneaux	10	21	66
le nombre maximal des panneaux	57	80	295

2.4. Innovations au niveau des exploitations visitées

Nous avons rencontré des agriculteurs qui aiment essayer de nouvelles idées afin de faciliter le développement de leurs exploitations face à la dureté des conditions. Parmi les techniques innovatrices qu'on a rencontrées lors de nos visites :

- Dérivation des eaux de pluies par des digues.



Figure 21 : Aménagement des limites des parcelles pour collecter les eaux pluviales y traversées

- Paillage : Il s'agit de couvrir les pieds du palmier dattier par la paille après chaque irrigation, afin de minimiser les pertes par évaporation et garder une humidité au voisinage de la plante durant les périodes tempérées de l'été.



Figure 22 : Paillage

- Si le sol ne favorise pas le développement racinaire des cultures, la préparation de lit de la plantation se fait de telle manière à creuser pour faire poser du fumier suivi d'une couche de gravier, puis de la terre dans lequel la plante est posée. Selon les agriculteurs, cette méthode aide les racines à mieux se développer et par conséquent la plante résiste au vent.

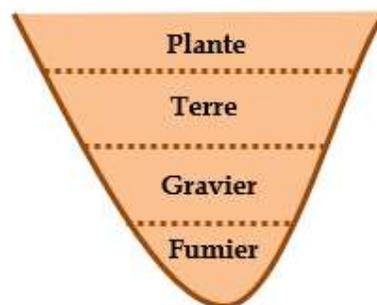


Figure 23 : Lit de la plante

3. Description des périmètres de pompage collectifs

3.1. Situation géographique

Les 6 périmètres enquêtés se trouvent dans deux communes : Tinghir et Aghbalou N'kerdous.

Le Tableau 12 montre le nom, le lieu et la catégorie des périmètres visités:

Tableau 12 : Catégorie des périmètres collectifs

Code	Commune rurale	Nom l'AUEA	Catégorie de périmètre
1	Tinghir	Association Afanour pour le développement	Extension
2	Aghbalou N'kerdous	Association Afza	Extension
3	Aghbalou N'kerdous	Association Tiza	Extension
4	Tinghir	AUEA Ait Lahcen Ou'ali	oasis
4	Tinghir	Association de développement i'Adouane	oasis
6	Tinghir	AUEA Tikoutar	oasis

3.2. Superficie

La superficie varie entre 5 ha et 120 ha comme indiqué dans le Tableau 13.

Tableau 13 : Superficie des périmètres collectifs

Code	Superficie dominée (ha)
C1	100
C2	120
C3	5
C4	40
C5	60
C6	80

La superficie par agriculteur est variable d'un périmètre à un autre. Pour les oasis, les agriculteurs possèdent de petits morceaux de terrains dont la surface est de l'ordre de 200 m², 300 m² etc. Pour le périmètre **C2** les agriculteurs possèdent des terrains ayant une superficie entre 1 ha et 5 ha.

3.3. Source d'eau d'irrigation

Pour les oasis traditionnelles, le recours aux eaux souterraines se fait pour compenser la faiblesse des débits des eaux de surface lors des périodes sèches de l'année.

Quant aux périmètres d'extensions, ils ont accès uniquement aux eaux souterraines pour l'irrigation.

3.4. Energie de pompage

Les types d'énergie utilisés en pompage sont présentés dans le Tableau 14.

Tableau 14 : Types d'énergie utilisée en pompage dans les périmètres collectifs

Code	Energie utilisé pour pompage
C1	Solaire
C2	Solaire
C3	Solaire
C4	gaz butane
C5	Electricité
C6	Solaire

Pour les périmètres **C4** et **C5**, ils utilisent actuellement le gaz butane et l'électricité même si l'installation solaire est déjà complète. En fait, il reste quelques problèmes techniques à régler avant de lancer son démarrage.

3.5. Date d'installation PV et nombre de panneaux

Les installations collectives de l'énergie solaire pour l'irrigation sont très récentes pour la plupart des périmètres : 2020 et 2021.

Le Tableau 15 montre la date d'installation du ppv et le nombre de panneaux dans ces périmètres.

Tableau 15 : Date d'acquisition de l'énergie solaire dans les périmètres collectifs

Code	Date d'installation PV	Nombre de panneaux
1	Entre 2009 et 2018	144
2	2020	167
3	2020	61
4	2021	30
5	2021	60
6	2021	30

4. Conclusion

Nous rappelons que l'échantillon de l'étude compte 38 exploitations agricoles et 6 périmètres collectifs réparties au niveau du bassin. Les exploitations sont localisées dans un ensemble de communes municipales et rurales : Tinghir, Toudgha Essouffla, Taghzout N'ait Atta, Ait el farsi, Ouaklim, Iknioun, Tinjdad, Ferkla Essouffla, Ferkla El Oulia et Aghbalou N'kerdous. Les périmètres collectifs se distinguent en oasis appartenant à la commune de Tinghir et des extensions situées à Aghbalou N'Kerdous.

A l'échelle des exploitations, les agriculteurs sont tous des hommes dont l'âge dominant est entre 40 ans et 60 ans. Aucun cas de femme exploitante n'a été constaté. Les surfaces irriguées sont variables et 68% des exploitations ont des superficies totales inférieures à 5 ha. Concernant les ouvrages de captage, ils sont de différents types : puits, puits-forage et forage. Leurs profondeurs varient entre 20 m et 140 m selon le type d'ouvrage. Les installations solaires qui y figurent, ont été installées entre 2009 et 2021 avec un nombre des panneaux allant de 10 à 295 panneaux. Ces nombres dépendent notamment de la surface à irriguer et des besoins en eau et en énergie de pompage. Certains agriculteurs démontrent un bon effort dans la gestion de leurs parcelles en essayent toute technique favorisant mieux le développement de leurs cultures dans les conditions sévères auxquelles elles sont confrontées, comme le paillage et la dérivation des eaux de pluie.

Pour les périmètres de pompage collectif, leurs superficies varient entre 5 ha et 120 ha. 4 périmètres sur 6 optent pour l'énergie solaire tant que moyen principal de pompage en gardant en réserve une autre source (Electricité, Gaz et/ou Diesel) pour les périodes non ensoleillées ou en cas de besoin. Les autres périmètres ont certes des installations solaires mais elles ne feront objet d'usage que lorsque les problèmes techniques seraient résolus et le planning de gestion serait programmé.

Chapitre 06 : diagnostic de fonctionnement des installations photovoltaïque pour l'irrigation dans la vallée de Toudgha-Ferkla

1. Introduction

Le présent chapitre a pour objectif de faire un diagnostic de fonctionnement des installations de pompage solaire de l'échantillon d'exploitations agricoles qui ont fait l'objet de notre étude. L'objectif est d'explorer les logiques d'installation, de gestion, d'entretien et de maintenance de ces installations et d'en déduire les voies d'amélioration. Il vise également de calculer leurs performances soit en matière de dimensionnement ou de rendement.

2. Description et état des systèmes de pompage solaire pour l'irrigation

2.1. Description générale du système

2.1.1. Composantes

Les composantes principales d'un système de pompage solaire sont les suivantes :

- Générateur solaire

C'est l'ensemble des panneaux photovoltaïques qui transforment l'énergie solaire captée en courant électrique continu. on a constaté l'existence de différentes marques des panneaux chez les agriculteurs enquêtés : Suntellite, Astronergy, Solar-Tech, Sunergy usa works llc, La puissance nominale de ces panneaux varie entre 220 Wc et 320 Wc.

Il a été constaté chez certaines exploitations que les modules connectés ne sont pas de même marques et ont des puissances différentes. Cependant, parmi les exigences techniques des installations photovoltaïques, les modules photovoltaïques doivent être de même puissance, du même fabricant, certifiés en accord avec la norme internationale IEC-61215 (AMEE).

La photo de la figure suivante montre un exemple d'installation PV dont les modules ne sont pas de la même marque :



Figure 24 : Modules connectés de marques différentes

- **Contrôleur**

C'est un convertisseur électrique qui transforme le courant continu généré par les panneaux en courant alternatif adapté à la pompe. Les marques des convertisseurs utilisés dans les exploitations agricoles visitées sont très différentes comme : Mitsubichi Electric, Bizzi and Tedeschi, Veichi La fréquence maximale, étant égale pour toutes les installations constatées, est de l'ordre de 50 Hz.

Le convertisseur doit être protégé face à des surtensions induites à l'entrée, à l'aide d'un parafoudre de classe C, tel que défini par la norme IEC 61024, placé entre chacun des pôles (+ et -) isolé de la terre, et la terre propre du système. L'installation de ce dispositif doit répondre aux règles de l'art définis aussi par la norme IEC 61024. Le convertisseur doit incorporer des fonctions de protection face à des conditions anormales : baisse du niveau d'eau de la source, débordement du réservoir, absence d'isolation dans le générateur (AMEE). Dans ce sens, plusieurs cas de changement de convertisseur après l'installation étaient causés du non-respect de cette exigence lors de l'installation.

- **Pompe électrique immergée**

Elle permet de pomper l'eau depuis un puits ou d'un forage et alimenter le bassin de stockage ou le réseau d'irrigation.

En plus des composantes principales citées ci-dessus, l'installation de pompage solaire se compose de l'infrastructure suivante :

- Une structure support pour la fixation des modules du générateur.
- Le réseau hydraulique.
- Le câblage de connexion électrique.
- Les accessoires et les pièces de rechange (pièces de jonction...).
- Coffret de protection (coffret, disjoncteur, parafoudre, fusible...).

Il faut aussi signaler que les agriculteurs ne reçoivent pas de notes techniques indiquant le mode de fonctionnement, le mode d'installation et les données techniques spécifiques de l'installation. De même, pour les certificats de conformité aux standards internationaux des différents composants du système, attestant le respect des spécifications techniques proposées et les schémas de câblage électrique. Ceci démontre également le non-respect des exigences d'installation des systèmes (AMEE), qui touchent les droits des agriculteurs envers les installateurs.

2.1.2. Principe de fonctionnement du système PPV

Le principe de fonctionnement d'un système PPV est le suivant : un générateur solaire convertit le rayonnement solaire capté en énergie électrique qui est exploitée par un groupe motopompe électrique afin d'acheminer l'eau directement dans un système d'irrigation ou dans un réservoir.

La figure suivante établie par le logiciel AutoCAD schématise le fonctionnement du système PPV :

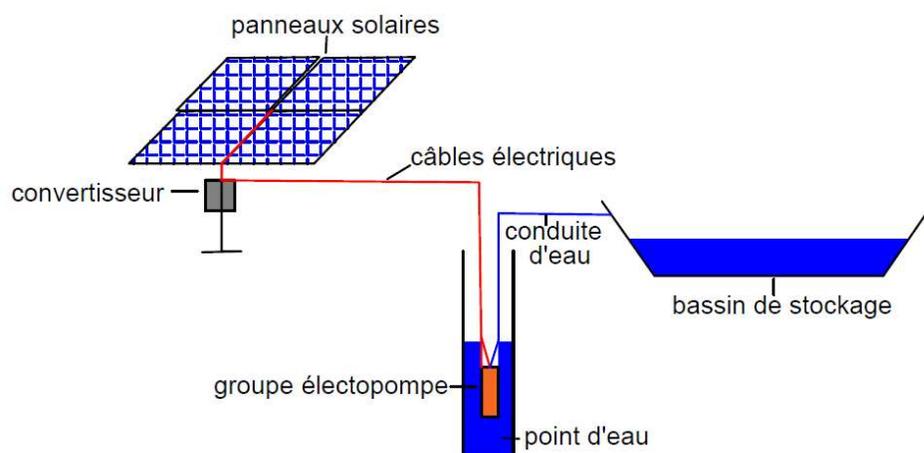


Figure 25 : Schéma d'une installation du pompage PV

2.1.3. Configuration

Une installation PPV peut être conçue de plusieurs manières. Les principales variations résident dans la combinaison des composants clés :

- Champs solaires : sur sol, sur toiture, fixe ou mobile.
- Groupe motopompe : Immergé ou en surface.
- Intégration d'un réservoir ou non.
- Mode d'irrigation : goutte-à-goutte ou gravitaire.

Pour les exploitations visitées, tous les types de configuration du champ solaire ont été rencontrés : panneaux fixés sur sol, panneaux fixés sur toiture, panneaux mobiles sur sol et panneaux mobiles sur toiture, mais la configuration la

plus courante c'est des installations fixes sur sol, et ce, en raison du coût faible par rapport aux autres options.

Concernant le groupe motopompe la configuration la plus rencontrée c'est l'utilisation d'une pompe émergé pour le pompage depuis le puits ou le forage et d'une pompe surfacique pour le pompage du bassin vers le réseau d'irrigation.

66% des agriculteurs enquêtés ont des bassins de stockages, les autres irriguent directement d'après la conduite de pompage.

76% des agriculteurs visités ont l'irrigation goutte à goutte, les autres (24%) utilisent le système d'irrigation gravitaire.

2.2. Les pratiques de pompage

Dans 74% des exploitations visités, les énergies conventionnelles sont toujours utilisées comme appoint à l'énergie solaire.

La figure suivante montre ces résultats :

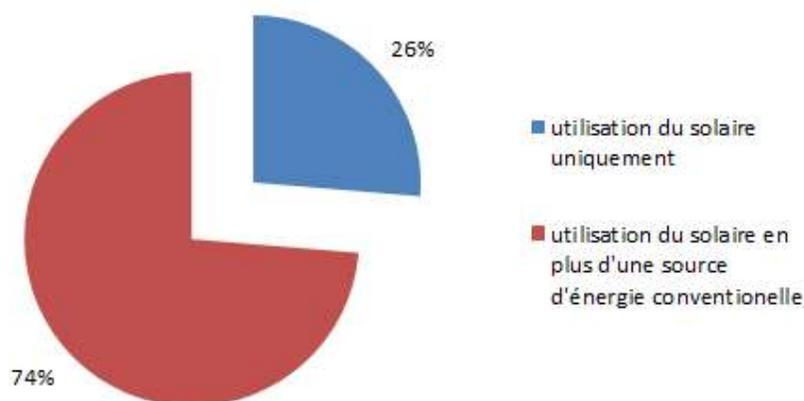


Figure 26 : Répartition des exploitations selon l'utilisation de source d'énergie supplémentaire

Les sources d'énergies conventionnelles qui sont utilisées dans les exploitations agricoles sont : l'électricité, le gasoil et le gaz butane, l'utilisation de ces sources se fait pendant les périodes hors soleil (temps nuageux, début de matinée, fin d'après-midi et la nuit) ou s'il y a plus de besoin d'irrigation.

En effet, le couplage de l'utilisation de l'énergie solaire avec une source durable d'approvisionnement en eau, peut causer une utilisation inefficace de l'eau, par le pompage avec l'énergie solaire pendant la journée et avec les énergies thermiques pendant la nuit ou temps peu ensoleillé. D'où la nécessité d'une politique réglementaire appropriée.

La Figure 27 montre des photos des équipements liés à l'utilisation des énergies classiques dans les fermes visitées :

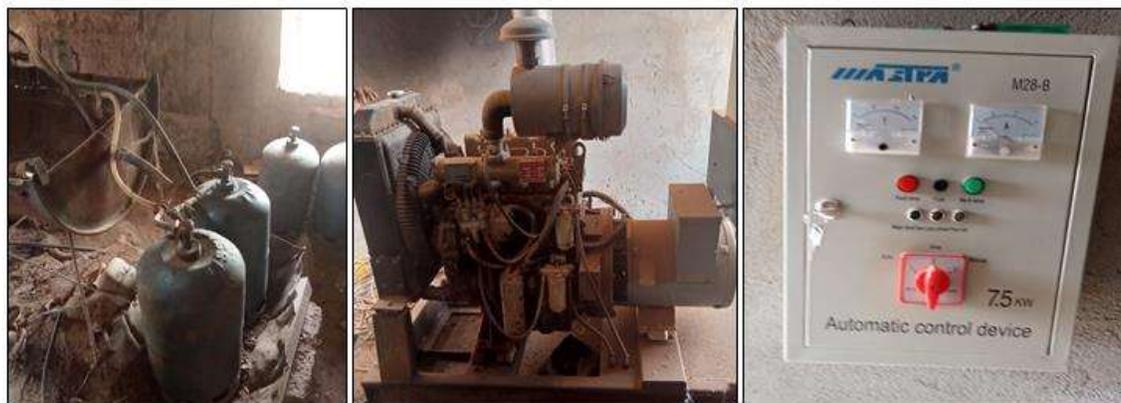


Figure 27 : Utilisation du gaz butane, moteur diesel, boîte de commande de l'énergie électrique

✓ Configurations de pompage

Les agriculteurs disposent des différentes pompes au niveau de leurs exploitations : des pompes de pompage au niveau des différents points de captage, la pompe de refoulement depuis le bassin vers le réseau d'irrigation, on constate les configurations suivantes :

- Les agriculteurs qui n'ont pas le bassin de stockage utilisent l'énergie solaire pour le pompage du puits vers les parcelles à irriguer.
- Les agriculteurs utilisent la même installation solaire pour alimenter la pompe du puits et également pour alimenter la pompe d'adduction du réseau d'irrigation.
- Chacune des pompes (que ce soit celle du puits ou d'alimentation du réseau d'irrigation) a sa propre installation solaire.
- Utilisation de l'énergie solaire pour le pompage depuis le puits et une source d'énergie conventionnelle pour la pompe de refoulement vers le réseau d'irrigation.

La configuration dominante dans l'échantillon de notre étude est : utilisation de la même installation solaire pour alimenter la pompe du puits et également pour alimenter la pompe d'adduction du réseau d'irrigation, dans ce cas l'agriculteur augmente le nombre de panneaux pour pouvoir faire marcher les deux pompes au même temps, la commande se fait à travers un tableau de contrôle.

La figure suivante schématise cette configuration :

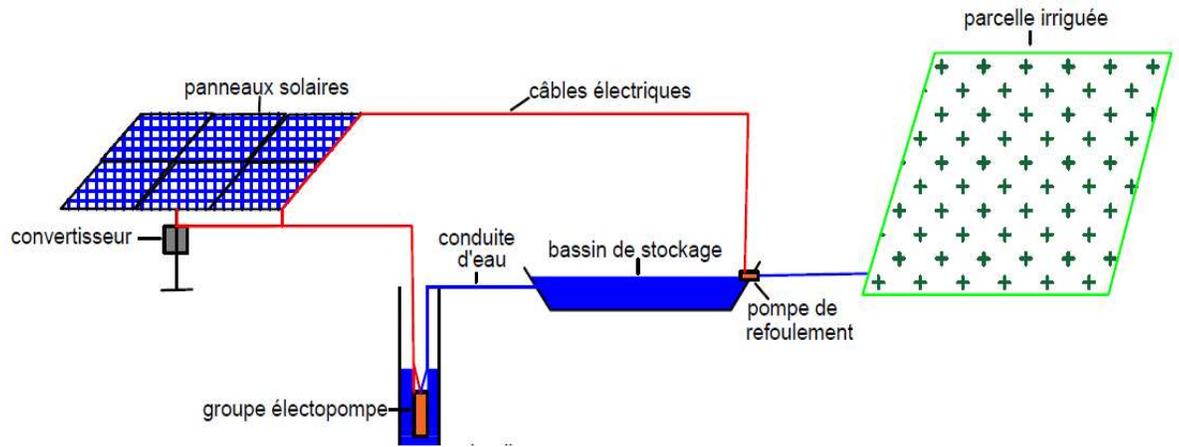


Figure 28 : Installation PV alimentant la pompe du puits et du bassin

2.3. Montage des structures

2.3.1. Lieu d'installation

Le lieu d'installation des équipements PV diffère d'une exploitation à une autre, on a remarqué 4 cas de figures (figure 29) : installation directe sur le sol, installation au-dessus d'un abri, installation hybride pour un même site dont une partie est sur sol et l'autre est sur toiture et des installations sur bassin de stockage.

Les photos suivantes montrent les cas cités :



Figure 29 : Panneaux sur sol, sur toiture et sur bassin

La répartition de ces installations visitées par type de lieu d'installation montre que 66% sont montées directement sur sol, 21% sont sur toiture, 8% ont une partie sur sol et autre sur toiture et enfin 5 % sont installées sur bassin, la Figure 30 représente ces résultats.

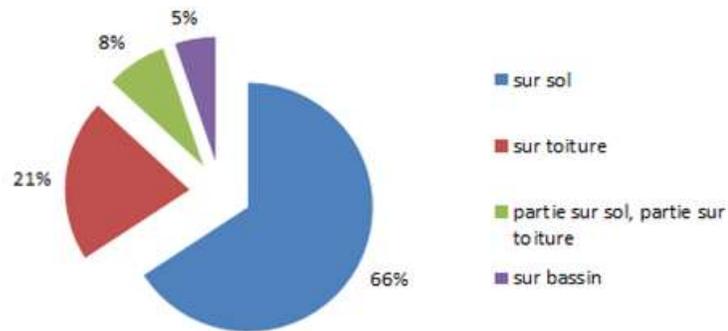


Figure 30 : Répartition des installations PV selon le lieu d'installation

L'environnement d'installation de certaine installation peut causer un problème d'ombrage ce qui réduit la productivité de l'installation.

La photo de la Figure 31 présente l'exemple d'une installation qui présente des problèmes d'ombrage.



Figure 31 : Exemple d'installation PV avec problèmes d'ombrage

Selon le guide de bonnes pratiques établie par le cluster solaire (Cluster Solaire, Guide de bonnes pratiques à l'attention des agriculteurs), afin de maximiser son rendement, l'agriculteur devra assurer que l'emplacement des panneaux photovoltaïques remplit les critères suivants :

- Zone bien ensoleillée c'est-à-dire orientée Sud et dégagée avec aucun obstacle pouvant causer de l'ombre sur les panneaux (bâtiments, arbres etc.).
- Zone facilement accessible.
- Zone avec un terrain stable pour faciliter la fixation et la stabilité des supports et des structures.

2.3.2. Type de montage

Les installations PV peuvent être fixées au sol ou mobile, et pour les installations mobiles, elles sont mobiles via des roues ou en rotation autour d'un axe.

74% des installations visitées sont fixes et le reste est mobile comme montre la Figure 32.

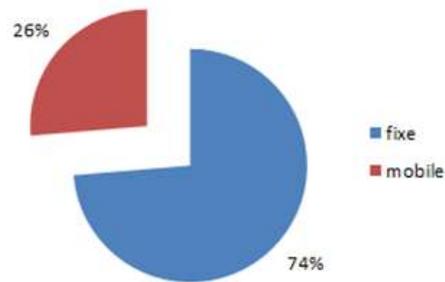


Figure 32 : Répartition des installations PV selon le type de montage

Les photos suivantes montrent les cas de Figure 32 :



Figure 33 : Installation fixe, installation mobile sur roues et installation mobile à axe rotatif

Pour les installations mobiles, il est indispensable que l'agriculteur adapte la direction des panneaux en fonction de la position du soleil, mais on a constaté que plusieurs agriculteurs laissent leurs panneaux dans la même position toute la journée ce qui diminue le rendement et cause un mauvais fonctionnement de l'installation.

2.3.3. État du montage des installations

Plusieurs structures sont mal fixées ou détériorées, les agriculteurs ont recours à du bricolage pour les soutenir. Cependant, parmi les exigences techniques qu'il faut respecter lors de l'installation : les structures support doivent résister à au moins 10 ans d'exposition extérieure sans signe significatif de corrosion ou fatigue et le support doit être confectionné d'une manière à assurer une bonne stabilité du générateur solaire face à des vents de vitesses importantes (plus de 80km/h) (AMEE).

Les photos de la Figure 34 montrent quelques actes de dépannages établis par les exploitants : utilisation des branches d'arbre, des cordes, ...



Figure 34 : Actes de dépannage des structures PV

Concernant l'état des châssis, la totalité des structures observées lors des enquêtes sont en acier, protégées par une peinture ou sans aucune protection contre la corrosion (Figure 35).



Figure 35 : Châssis en acier protégé et non protégé

Ainsi, pour avoir une structure porteuse bien stable, il faudrait choisir un type de montage qui vérifie les normes d'installation (effectué par des spécialistes et sur un terrain stable) et il faudrait également vérifier le bon serrage de toutes les pièces fixes, notamment celles des structures de support des panneaux surtout après de fortes pluies ou des vents forts.

2.3.4. Les pratiques d'entretien et de maintenance

Les types de pannes d'une installation solaire c'est au niveau de la pompe ou le convertisseur, les autres équipements ne sont jamais ou rarement tombés en panne. Le vent constitue un problème chez quelques agriculteurs, certaines déclarent que le vent a déjà endommagé leurs installations et ils ont dû remplacer les panneaux

cassés. La Figure 36 représente la répartition des installations visitées selon la nature des pannes.

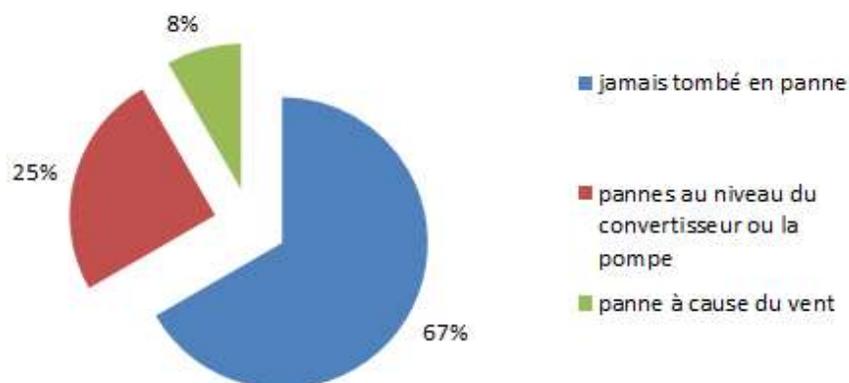


Figure 36 : Répartition des installations visitées selon la nature des pannes

La résolution des problèmes de l'installation se fait par l'agriculteur lui-même, une minorité d'entre eux ont recourt à des spécialistes.

Les opérations d'entretien des installations consistent en le lavage manuel périodique des panneaux. Cependant, on a constaté que plusieurs installations ne sont pas nettoyées (Figure 37).



Figure 37 : panneaux non nettoyés

Selon le guide établi par la GIZ (GIZ, 2017), les conseils suivants sont donnés aux agriculteurs pour bien entretenir leurs installations :

- Une opération de maintenance par an est recommandée. Le fournisseur s'en occupe ;
- Un lavage et essuyage délicat du vitrage des panneaux solaires, d'une à deux fois par an ou chaque fois où c'est nécessaire ;

- Vérification fréquente de l'état des raccordements car ils peuvent être affectés par les conditions climatiques. Dans le cas où l'agriculteur remarque une défaillance, il doit contacter l'installateur ;
- Pour des mesures de sécurité et de protection de l'installation, il est conseillé que l'agriculteur ne manipule pas les composants du système. Seul l'installateur est habilité à le faire.

2.4. Analyse des installations de pompage solaire au niveau des périmètres collectifs

Au niveau des périmètres collectifs de pompage les installations PV sont subventionnées à 100%, les organismes qui ont subventionnés ces installations pour chaque périmètre sont présentés dans le Tableau 16:

Tableau 16 : Origine des subventions des installations PV dans les sites collectifs

Code	Origine de subvention
C1	Direction des Affaires Rurales, Province de Tinghir.
C2	L'Office Régional de la Mise en Valeur Agricole de Tafilalet.
C3	L'Office Régional de la Mise en Valeur Agricole de Tafilalet.
C4	La Direction Régionale de l'Agriculteur d'Errachidia.
C5	La Direction Régionale de l'Agriculteur d'Errachidia.
C6	La Direction Régionale de l'Agriculteur d'Errachidia.

(Source : Déclaration des membres de coopératives)

Ces subventions ont été octroyées dans le cadre des aides de financement aux coopératives agricoles. Ils ne comptent pas uniquement les frais d'installation des équipements de pompage solaire, mais aussi tous les équipements agricoles : creusement des forages, aménagements hydro-agricoles, aménagement des réseaux d'irrigations ...

La condition de ces subventions est que la gestion soit confiée aux coopératives et toute la population concernée devra bénéficier du projet.

On a remarqué qu'il y a une bonne gestion dans les périmètres visités, les coopératives ont désigné un ouvrier permanent qui s'occupe de l'exploitation et l'entretien de l'installation solaire, et du réseau d'irrigation, sauf pour le cas du

périmètre C6, où il y a une mauvaise gestion, le président de la coopérative s'occupe de temps en temps de garantir le bon fonctionnement du système, on a remarqué que les panneaux ne sont pas propres ce qui diminue leurs rendements.

En conclusion, il est important d'encourager les expériences de pompage collectif car l'exploitation collective des ressources en eau réduit sans doute la consommation d'eau, donc il faut créer un cadre bien déterminé aux subventions des installations collectives de pompage solaire pour l'irrigation, avec la nécessité de la bonne gestion.



Figure 38 : Installation solaire du périmètre C1

2.5. Comparaison entre l'utilisation de l'énergie solaire en irrigation et les autres types classiques

En plus de l'énergie solaire, certaines exploitations visitées utilisent d'autres sources d'énergie : gaz butane, gasoil ou électricité.

L'utilisation de ces sources d'énergie se fait pendant les périodes où il n'y a pas de soleil ou si le ciel est nuageux ou si les besoins d'eau d'irrigation ne peuvent pas être satisfaits par le pompage solaire.

On a demandé aux agriculteurs de nous faire une comparaison entre le processus d'utilisation des différentes sources d'énergie selon plusieurs aspects, le Tableau 17 montre les résultats des discussions avec les agriculteurs.

Tableau 17 : Comparaison Système Solaire / Système Classique

Système de pompage	Système classique	Système solaire
Investissement (Dhs)	Constitué des frais d'achat du moteur et de la pompe qui sont en maximum 40 000 DHs.	Investissement lourd variable entre 20 000 DH (10 panneaux) et 750 000 DH (200 panneaux)
Coût de fonctionnement (Dhs)	Diffère selon la surface irriguée et le type de l'énergie utilisée. Les agriculteurs classent les énergies selon l'importance du coût de fonctionnement de la façon suivante : Electricité suivie du Gazoil puis le gaz butane.	Le coût de fonctionnement est très faible
Coût de maintenance et entretien (Dhs)	Beaucoup de pannes surtout pour l'énergie thermique, le coût moyen de réparation donné par les agriculteurs est 20 000 DH/an.	Les pannes sont très rares au niveau de l'installation solaire et son surtout au niveau de la pompe ou le convertisseur. Mais il y a des risques liés aux aléas (vent par exemple).
La durée de pompage (heures/jour)	Selon les besoins en eau d'irrigation et dépend du coût de fonctionnement.	Pompage durant toute la journée de 8h à 18h et pendant les jours ensoleillés.
Horaire d'irrigation	Tôt le matin ou après 17 h pour diminuer l'évapotranspiration.	Durant la journée et surtout le milieu de la journée quand le débit atteint son maximum.
Durée d'irrigation (h/jour)	Les durées d'irrigations sont variables selon les pratiques d'irrigation de chaque agriculteur.	Les durées d'irrigation avec le solaire son nombreux qu'avec les autres sources car le débit est variable durant la journée et n'atteint son maximum que vers midi.
Assolements pratiqués	Variable d'un agriculteur à un autre, les cultures dominantes sont le palmier dattier et l'olivier.	Les agriculteurs qui ont la ressource en eau disponible cultivent d'autres cultures comme le maraichage, la pastèque.
Facteurs limitant le pompage	Le coût de fonctionnement est un facteur qui pousse les agriculteurs à limiter le pompage.	Le soleil est le facteur qui pousse les agriculteurs à limiter le pompage car l'installation ne produit pas l'énergie dans les périodes hors soleil.

On constate que le solaire apporte plusieurs avantages par rapport aux autres énergies classiques, soit en termes de faiblesse du coût de fonctionnement et en termes des coûts d'entretien et de maintenance qui sont généralement faibles, ce qui va sans doute améliorer la qualité de vie de l'agriculteur surtout pour le cas des petits et moyens agriculteurs qui souffrent toujours de la hausse des prix des énergies fossiles. En contrepartie le solaire impacte directement les pratiques culturales de l'agriculteur, soit en termes d'horaires d'irrigation, durée d'irrigation, dose d'irrigation ... Ce qu'on va analyser en détail dans la section suivante.

3. Analyse des performances des installations photovoltaïques

3.1. Surdimensionnement du générateur PV par rapport à la pompe

Un bon dimensionnement du système PPV par rapport aux besoins en eau est indispensable pour éviter le risque d'une utilisation non rationnelle de l'eau, car des coûts énergétiques peu élevés peuvent entraîner une utilisation excessive de l'eau.

Dans ce paragraphe, nous allons procéder à une analyse du choix des puissances crêtes installées par rapport aux puissances des pompes pour voir si les installations PV sont bien dimensionnées. Pour cela, nous allons calculer le ratio « puissance du champ solaire/ puissance de la pompe » pour un échantillon d'exploitation agricole.

Les résultats de calcul sont présentés dans le Tableau 18 :

Tableau 18 : Ratio « puissance du champ solaire/ puissance de la pompe » des systèmes PV

Puissance demandé (CV)	Puissance demandé (KW)	Nombre de panneaux PV	Puissance modules (WC)	Puissance totale du parc PV (kW)	Ratio (Solaire/Pompe)
5,5	4,1	16	280	4,5	1,09
5,5	4,1	20	280	5,6	1,36
10	7,5	30	270	8,1	1,08
7,5	5,6	30	280	8,4	1,49
5,5	4,1	30	250	7,5	1,82
5,5	4,1	20	285	5,7	1,38
4	3,0	20	280	5,6	1,87
1,5	1,1	16	280	4,5	3,98
7,5	5,6	36	280	10,1	1,79
3	2,3	21	270	5,7	2,52
7,5	5,6	40	280	11,2	1,99
10	7,5	66	280	18,5	2,46

On constate qu'en moyenne, le ratio « puissance du champ solaire/ puissance de la pompe » est égale à 1,90 ce qui montre qu'il y a un surdimensionnement des installations PV.

Plusieurs causes peuvent expliquer ce surdimensionnement à savoir :

- Une mauvaise étude au départ : les études de dimensionnement sont faites par des non spécialistes donc ils veulent garantir le fonctionnement de l'installation à travers le surdimensionnement.

- La tentation de palier à un manque d'ensoleillement : car augmenter la surface du générateur solaire permet de faire marcher la pompe pendant des périodes où l'ensoleillement est faible : ciel nuageux, tôt le matin, ou après 17 heure.

Le surdimensionnement des installations photovoltaïques est à éviter puisqu'il cause évidemment la surexploitation des sources d'eau (Martinez,2017). De ce fait, le taux de réapprovisionnement des ouvrages de captage doit être la principale restriction lors du dimensionnement des systèmes solaires.

Pour pallier donc au problème de surdimensionnement des installations solaires, il faut exiger que les études de dimensionnement prennent en considération l'état de la ressource souterraine pour optimiser la conception et aboutir un dimensionnement précis de l'installation. Dans ce sens, pour limiter la surexploitation des nappes souterraines, autoriser l'injection du surplus d'énergie produite par les agriculteurs dans le réseau national d'électricité aurait pu aussi une solution pour les encourager à contrôler et économiser les prélèvements à partir des nappes.

3.2. Calcul de rendement : Cas d'exploitation E05

Dans cette section, nous allons procéder au calcul du rendement d'une installation solaire. Il était mentionné dans la partie matériels et méthodes que le rendement est variable le long de la journée et dépend de l'ensoleillement, c'est pour cela qu'on a choisi l'exploitation E05 comme cas d'étude pour évaluer le rendement. Il faut noter que le choix de cette exploitation a été fait principalement sur la base de la disponibilité de l'agriculteur toute la journée, son ouverture totale au suivi et déplacement sur son exploitation.

La variation du débit le long d'une journée de l'exploitation E05 est établie dans la Figure 39 :

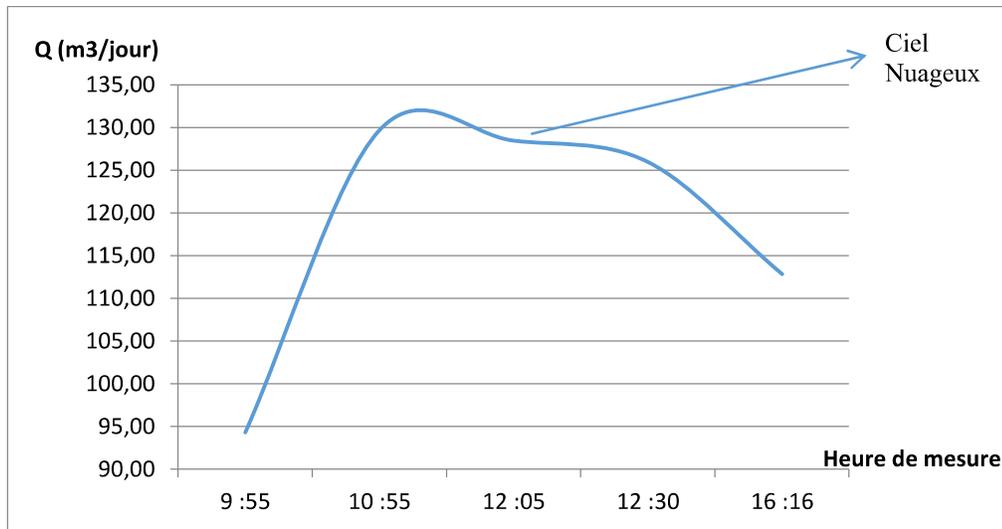


Figure 39 : Suivi du débit chez l'exploitation E05

D'après ce graphe, On remarque que le débit varie évidemment le long de la journée et atteint son maximum vers midi. Il faut signaler que pendant la journée de mesure, le ciel est devenu nuageux vers midi ce qui explique que la valeur maximale de débit n'a pas été atteinte.

Selon le guide de Technologies européennes du pompage solaire photovoltaïque (La direction de la Fondation Énergies pour le Monde, 2004), les valeurs indicatives moyennes du rendement des différentes composantes d'une installation solaire sont les suivantes :

- Pompe : 45 à 55 % ;
- Moteur : 70 à 80 % ;
- Onduleur : 93 à 97 % ;
- Générateur : 85 à 95 % ;
- Rendement global : 25 à 40 %.

Les résultats de calcul du rendement global sont dans le Tableau 19 :

Tableau 19 : Résultats de calcul du rendement global de l'installation solaire

Heure de mesure	Essai 01 (l/s)	Essai 02 (l/s)	Essai 03 (l/s)	Moyenne (l/s)	Q (m3/jour)	Irradiation solaire (Wh/m ²)	Rendement (%)
9h55	1,00	1,10	1,18	1,09	94,31	1029,86	22,28
10h55	1,44	1,52	1,54	1,50	129,66	1164,10	27,10
12h05	1,44	1,50	1,53	1,49	128,44	1220,41	25,61
12h30	1,43	1,45	1,50	1,46	125,96	1213,18	25,26
16h16	0,75	0,71	0,68	0,72	61,81	560,80	26,82

Selon ces résultats, Le rendement est variable le long de la journée et il est faible.

On peut expliquer ces rendements par :

- Les panneaux étant mobiles, l'agriculteur peut rater la position optimale à travers laquelle les panneaux peuvent capter la quantité suffisante des rayonnements ;
- Les pertes causées par le système en termes d'effet Joule et dans le réseau hydraulique, car l'installation PV est éloignée du point de captage de l'eau ainsi le bassin est très éloigné par rapport au puits (plus que 500 m) ;
- Pertes de puissance à cause de l'ancienneté des panneaux : l'installation est datée de 2010 ;
- Pertes liées à la poussière et la température des panneaux.

Pour améliorer son niveau de rendement, on peut jouer sur plusieurs aspects :

- S'informer sur les positions optimales possibles des panneaux pour les différentes saisons de l'année par exemple auprès de l'installateur ou un spécialiste ;
- Déterminer la meilleure orientation et inclinaison possible ;
- Entretenir les panneaux solaires.

4. Conclusion

Les systèmes de pompage solaires constatés sont tous liés à des ouvrages de captage des eaux souterraines. Les agriculteurs adoptent le pompage via énergie solaire à des fins notamment agricoles : remplissage du bassin de stockage ou irrigation direct des parcelles. Les exigences minimales techniques d'installation des systèmes établies par l'Agence Marocaine pour l'Efficacité Energétique (AMEE) ne sont pas respectées, démontrant une incompétence des fournisseurs qui a des dégâts directs sur le fonctionnement des installations.

Plusieurs anomalies ont été détectées au niveau des installations photovoltaïques, la gestion, l'entretien et la maintenance des systèmes à savoir :

- Le bricolage des structures de fixation des panneaux ;
- Le mauvais choix de l'endroit d'installation : existence de problème d'ombrage ;
- La mauvaise adaptation des directions des panneaux pour les structures mobiles ;
- Le manque d'entretien : nettoyage de panneaux ;
- La maintenance ne se fait pas par les spécialistes.

Plusieurs agriculteurs utilisent au plus de l'énergie solaire, les énergies classiques (gaz butane, électricité ou gasoil) dont le but est de compenser les besoins en eau de l'irrigation (cas de pompage fréquent durant la nuit) et/ou les besoins en énergie (cas du ciel nuageux). Ces prélèvements sont de courtes durées de quelques heures seulement.

Au niveau des périmètres collectifs, Les installations solaires sont totalement subventionnées par différents organismes mais ces subventions manquent un cadre réglementaire précis qui les régissent. L'expérience de pompage collective via énergie solaire a démontré une économie en consommation de l'eau d'irrigation, ceci est grâce au tour de rôle entre les agriculteurs et le prix symbolique qui ils payent à l'heure ou par m³ de l'eau reçu selon les règles de gestion de chaque périmètre.

Le système de pompage solaire est compétitif en termes de coût par rapport aux autres systèmes de pompages mais il faut vérifier son impact sur les pratiques culturelles et l'utilisation des ressources en eau.

Un bon dimensionnement du système PPV doit être fait par des spécialistes certifiés dans le domaine. L'étude doit prendre en considération, à côté des besoins en eau, des restrictions liées à la quantité de l'eau maximale à pomper ainsi que la nature de l'ouvrage de captage pour éviter le risque d'une utilisation non raisonnée de l'eau et contribuer à la surexploitation des ressources.

Le rendement et le bon fonctionnement de système solaire sont meilleurs quand il est bien installé et bien entretenu.

Chapitre 07 : Analyse des pratiques et des performances d'irrigation

1. Introduction

Le présent chapitre a pour but de décrire et d'analyser les pratiques d'irrigation adoptées dans les exploitations enquêtées afin d'en sortir deux points importants : l'impact du pompage par énergie solaire sur les pratiques d'irrigation des agriculteurs, d'une part, et l'état des performances des systèmes d'irrigation localisée déduit à partir de l'analyse des indicateurs techniques basés sur des données mesurées in-situ, d'autre part.

2. Description et analyse des pratiques d'irrigation

2.1. Systèmes de cultures

Lors des visites effectuées chez les agriculteurs de la région, nous avons identifié 50% d'entre eux qui ont des systèmes de cultures à 3 étages. D'où la principale culture est le palmier dattier, suivi par l'arboriculture, notamment l'olivier et l'amandier puis les cultures maraichères et fourragères (luzerne). Cependant, il y a environ 40% des agriculteurs qui ont des systèmes à 2 étages contenant le palmier dattier et des arbres fruitières. Les 10% qui restent, pratiquent de la monoculture.



Figure 40 : Système de cultures monoculture, à deux et à trois étages

La répartition des cultures dans les sites visités est présentée dans la figure suivante.

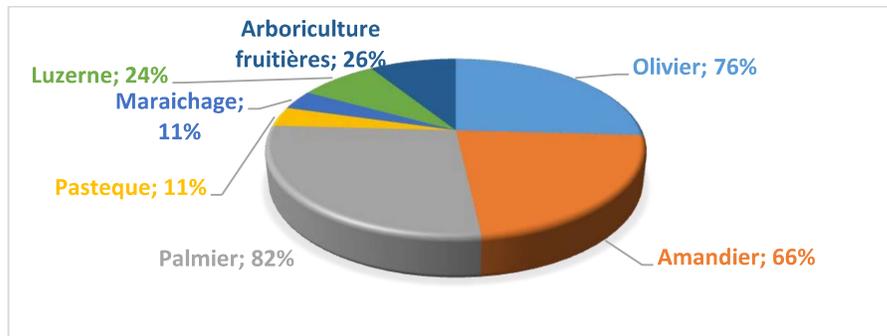


Figure 41 : Répartition des cultures dans les exploitations visitées

D'après la figure 41, on remarque que La phoéniciiculture (la culture du palmier dattier) est la culture la plus constatée (82%). C'est la culture la plus ancienne dans la région, la mieux adaptée aux conditions climatiques difficiles et la convenable également en terme économique aux agriculteurs puisqu'elle permet d'assurer un revenu régulier à partir de ses rejets (vente des rejets ou replantation sur parcelle). Les variétés présentes dans la région sont « Mejhoul » et « Boufeggous ». Aucun cas de la maladie Bayoud⁵ n'a été constaté dans l'ensemble des enquêtes. En deuxième lieu, l'Olivier et l'amandier sont présents chez 71% des exploitations, les raisons principales qui poussent les agriculteurs à les mener, ceux sont leurs valeurs ajoutées et leurs capacités à s'adapter au contexte climatique de la région. En troisième ordre, on trouve les autres arbres fruitiers (26%) et la luzerne (24%). La luzerne, caractérisée par son long cycle de développement, elle permet aux agriculteurs d'assurer l'alimentation de leurs bétails et d'assurer d'un revenu après chaque coupe.

2.2. Modes d'irrigation

Les modes d'irrigation pratiqués sont les suivants :

– L'irrigation Localisée :

76% des agriculteurs visités ont l'irrigation goutte-à-goutte. Selon leurs déclarations, tous ces agriculteurs n'avaient pas reçu de formations sur cette technique. Ils ont appris le fonctionnement du système par expérience. Les types de filtres rencontrés sont : les filtres à sable, les filtres hydrocyclones et les filtres à disques. 37% des agriculteurs ont des systèmes non subventionnés par l'Etat. Il s'agit dans ces cas des installations bricolées et informelles : absence des systèmes de filtration, de fertigation et de goutteurs (il s'agit juste en fait des tuyaux percés).

⁵ Champignon apparu en 1870 et responsable de dégâts historiques et considérables dans les palmeraies du Maghreb.



Figure 42 : Filtre à sable, Filtres à disques et filtre hydrocyclone

D'après les discussions avec les agriculteurs, les principales contraintes et problèmes rencontrés dans l'irrigation sont liés à la disponibilité de la ressource en eau et à sa qualité. D'une part, la rareté de l'eau limite les apports aux plantes pour répondre à leurs besoins notamment durant la succession des années de sécheresse, ce qui impacte les rendements. D'autre part, les goutteurs tendent à se boucher plusieurs fois durant l'année et pour régler ce problème, on a constaté plusieurs pratiques : l'élimination des goutteurs, l'utilisation de l'acide sulfurique et le percement des tuyaux à chaque fois qu'il y ait un bouchage et colmatage.

– **L'irrigation gravitaire :**

Ce mode d'irrigation a été observé dans les oasis traditionnelles et chez 24% des agriculteurs dans les extensions. Dans les oasis, l'eau peut provenir de l'Oued, de la nappe ou des Khetaras, comme dans le cas de l'Oasis Tikoutar.



Figure 43 : Pompage de l'eau vers les seguias à partir des eaux souterraines

Avec la sécheresse et le manque d'entretien, plusieurs réseaux ont été pollués ou détériorés. C'est le cas par exemple de la Khetara constatée au niveau de l'association Tikoutar ayant une longueur totale de 1345 m. Elle était dégradée et non fonctionnelle et faisait objet d'un projet de réhabilitation du Khetara. De plus, ils y

avaient des seguias favorisant la perte par évaporation⁶ quand le débit était faible. Le pompage de la nappe est également assez développé puisqu'en plus de l'utilisation de l'eau de l'oued, ces zones enquêtées ont toutes au moins une source de captage des eaux souterraines utilisées lors des périodes sèches de faibles débits.

Il est à ajouter également que l'utilisation de l'énergie solaire en irrigation gravitaire cause énormément de pertes d'eau. Ce constat a été retenu à partir des déclarations de certains agriculteurs, ils décrivent leurs pratiques d'irrigation lorsqu'ils ne sont pas disponibles comme suit : lancer l'irrigation et/ou remplissage du bassin de stockage via l'énergie solaire et partir pour une autre tâche qui est souvent aller au Souk. Puisque l'eau est disponible et la source d'énergie est gratuite, ils laissent l'eau s'écouler toute la journée pour permettre à la culture et le sol de bénéficier d'une grande quantité d'eau. En conséquence, l'exploitation de l'eau et de l'énergie sont non raisonnées.



Figure 44 : Seguias à faible débit, Périmètre collectif « i'Adouane »

2.3. Calendrier d'irrigation

Les durées et les fréquences des apports d'eau d'irrigation sont différentes d'une zone à une autre dépendant notamment de la disponibilité de la ressource en eau souterraine. Selon les discussions avec les agriculteurs, par commune rurale, nous avons constaté qu'ils se connaissent et appliquent des pratiques d'irrigation semblables. Par conséquent, Nous avons pu établir 4 groupes de calendrier d'irrigation pour 4 zones : El Bour, Ouaklim, Aghbalou N'Kerdous et Ghalil.

⁶ Les infiltrations (ou percolation) sont par contre favorables en sens d'alimentation de la ressource souterraine.

– Calendrier 1 : Pour les agriculteurs de la zone El Bour

Tableau 20 : Calendrier d'irrigation dans la zone "El Bour"

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Durée (h/j)	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3
Fréquence (J/mois)	15	15	5	5	5	5	5	6	6	5	15	15

– Calendrier 2 : Pour la région de Ouaklim

Tableau 21 : Calendrier d'irrigation dans la zone "Ouaklim"

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Durée (h/j)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Fréquence (J/mois)	5	5	5	5	3	3	3	3	5	5	5	5

– Calendrier 3 : Pour la région de Aghbalou N'Kerdous

Tableau 22 : Calendrier d'irrigation dans la zone "Aghbalou N'Kerdous"

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Durée (h/j)	2	2	4	4	4	4	4	4	4	5	2	2
Fréquence (J/mois)	6	6	6	6	4	4	4	4	6	6	6	6

– Calendrier 4 : Pour la région de Ghalil

Tableau 23 : Calendrier d'irrigation dans la zone "Ghelil"

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Durée (h/j)	3	3	2	3	3	3	2	2	2	3	3	2
Fréquence (J/mois)	15	15	7	3	3	3	3	3	3	7	7	15

Les agriculteurs essayent donc de s'adapter aux conditions et contraintes hydriques propres à leur zone en adoptant des durées et des fréquences d'irrigation adéquates.

2.4. Horaires d'irrigation

L'utilisation de l'énergie solaire en irrigation impacte fortement les horaires de l'irrigation. En effet, l'installation de pompage solaire atteint son débit maximal durant les périodes de forts ensoleillements de la journée (entre midi et 14h), et c'est là où les agriculteurs se lancent à irriguer pour exploiter ces débits, alors que ces périodes coïncident avec la forte évaporation. Ceci est similaire pour le cas des exploitations à pompage solaire uniquement et celles à pompage mixte. L'autre source d'énergie est toujours utilisée pour le remplissage des bassins de stockage durant la nuit en cas de besoin.

2.5. Bassin de stockage

Les bassins de stockage rencontrés lors des visites de terrains ont des capacités qui varient de 30 m³ à 25000 m³. 62% de ces bassins ont des capacités moins de 500 m³, 28% entre 500 et 5000 m³ et 14% ont des capacités supérieures à 5000 m³. Les bassins sont construits entièrement au-dessus du sol et deux formes géométriques ont été constatées : rectangulaire construit en béton et trapézoïdale à dispositif d'étanchéité par géomembrane. L'eutrophisation causée par la croissance des plantes aquatiques dans les bassins d'irrigation présente un important problème aux agriculteurs. La majorité d'eux luttent contre ce phénomène à l'aide de la pisciculture. Elle est visible à l'œil nu à la surface aussi qu'au fond des bassins construits en béton (figure 46).



Figure 45 : Problème d'eutrophisation des eaux d'irrigation



Figure 46 : La pisciculture

Seulement 66% des agriculteurs enquêtés ont des bassins de stockages, les autres irriguent par refoulement de l'eau pompée directement dans le réseau d'irrigation. Cette pratique de l'irrigation direct sans stockage d'eau cause du gaspillage de l'eau puisque l'exploitant laisse l'eau s'écouler dans son champ sans arrêt toute la journée, alors que ceux disposant des bassins, l'eau y est stockée et utilisée pour plusieurs irrigations.

2.6. Qualité de l'eau de l'irrigation

La qualité des eaux d'irrigation ne peut être négligée, vu qu'elle affecte la croissance de la plante, la structure du sol et le réseau d'irrigation. L'impact des eaux d'irrigation a été clairement observé au niveau du sol et il illustré dans la figure suivante.



Figure 47 : Effet de l'eau d'irrigation sur le sol : Traces du Calcaire (Ferkla El Oulia)

Ces traces blanchâtres sur les feuilles indiquent que l'eau est riche en calcium et en magnésium (Couture, 2004) qui causent des problèmes d'eau incrustante et par conséquence son alcalinité est élevée. Elle contribue également au colmatage assez fréquent des goutteurs par les dépôts calcaires.

L'addition de la matière organique telle la paille, d'autres déchets végétaux et du fumier organique au sol ainsi qu'apporter de faibles doses en longues durées

durant l'irrigation remédient à ce problème. Les doses apportées ne vont pas impacter la perméabilité du sol puisque l'eau se pénètre lentement dans le sol sans aucune formation de croûte en surface (Papadopoulos et Stylianou, 1988).

2.7. Entretien, Maintenance et Pilotage de l'irrigation

Les principales actions d'entretien des réseaux d'irrigation appliquées par les agriculteurs sont des lavages périodiques et du curage des canalisations via l'acide sulfurique et des lavages périodiques des filtres à disques et ceux à sables à l'aide de la pression de la contre-circulation de l'eau qui les nettoient des dépôts. Le pilotage de l'irrigation se fait sur la base de l'expérience en observant le sol et l'état du climat.

2.8. Mode d'exploitation des ressources en eaux souterraine

2.8.1. Appréciation de la situation de l'eau au niveau des zones concernées

Les enquêtes étant effectuées au niveau de plusieurs communes rurales de la zone, elles ont permis de faire relever plusieurs situations des eaux souterraines en se basant sur les déclarations des agriculteurs, à savoir : situation de pénurie, risque de pénurie et disponibilité totale de la ressource. La carte dans la figure 50 schématise les zones concernées selon l'état des aquifères :

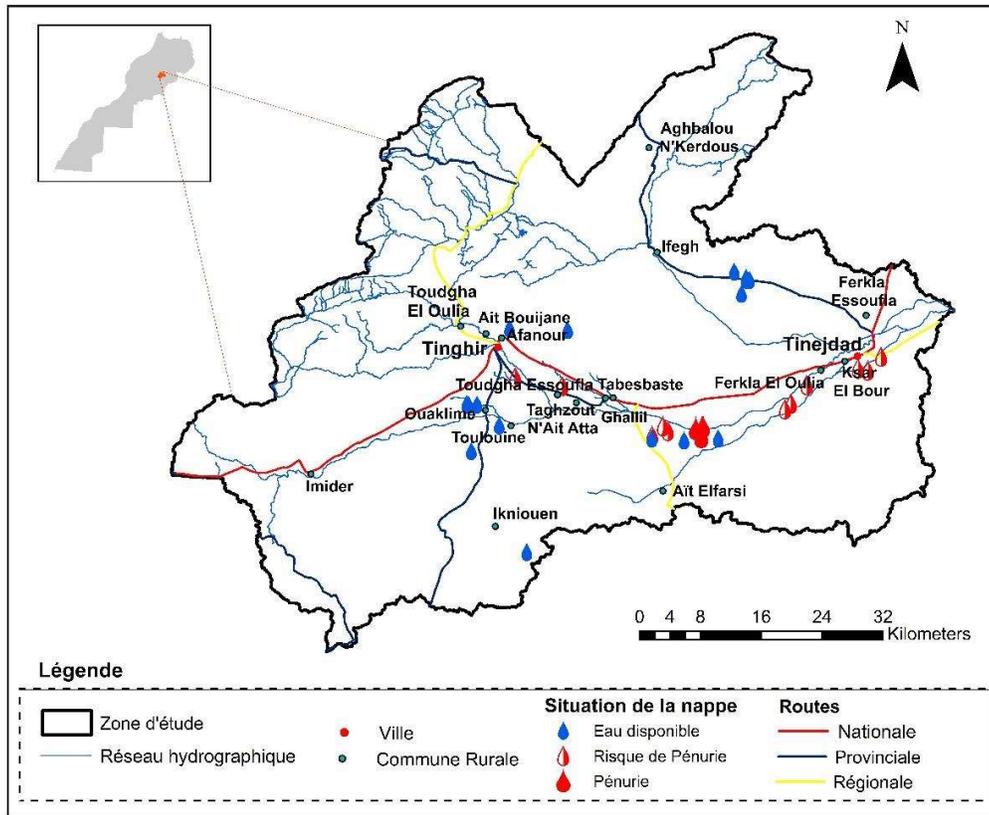


Figure 48 : Niveau de disponibilité des ressources souterraines dans la zone d'études

On constate que la situation des ressources en eau souterraine est variable selon les zones, il y a des zones où l'eau souterraine est disponible à un débit fort alors que dans d'autres zones les ouvrages de captage ont de faibles débits de recharge et se tarissent rapidement.

Dans les exploitations où la ressource est disponible, les agriculteurs n'ont pas remarqué une baisse du niveau de l'eau dans l'ouvrage de captage. Cependant, ceux qui ont déclaré qu'il y a un risque de pénurie, ils ont annoncé qu'il y a une baisse allant de 4 à 15m entre la campagne agricole précédente et l'actuelle. Quant à la dernière classe, la baisse a dépassé 15m et il y a des cas où les ouvrages sont totalement épuisés.

2.8.2. Facteurs limitant le pompage

L'énergie solaire est caractérisée par la faiblesse des coûts de fonctionnement. Ainsi, nous avons demandé aux agriculteurs de nous renseigner sur les facteurs qui les poussent à limiter le pompage. Les réponses étaient multiples : 13 % d'eux, déclarent l'inexistence de facteurs qui les obligent à limiter le pompage, c'est à dire qu'ils pompent la quantité d'eau qu'ils jugent suffisante pour leurs cultures. 45%

déclarent que la faiblesse de débit des ouvrages ne leur permet pas de pomper la quantité désirée, et par conséquent ils arrêtent le pompage. Le reste (42%) déclare que le seul facteur qui les oblige à limiter le pompage c'est l'ensoleillement : ils ne peuvent pas pomper pendant les périodes hors soleil et ils ne disposent pas d'autres sources d'énergie en plus du solaire. La Figure 49 présente ces résultats :

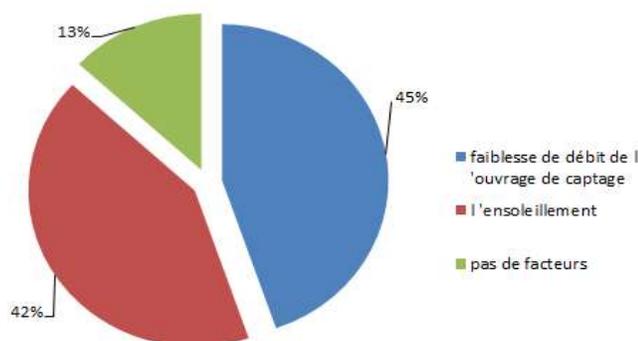


Figure 49 : Facteurs limitant le pompage

2.9. Les durées de pompage

La durée de pompage pour les exploitations enquêtées varie selon la disponibilité de l'eau souterraine dans leurs zones. On a remarqué que :

- Les agriculteurs dans les zones où l'eau souterraine est disponible pompent toute la journée et il y a parmi eux qui pompent aussi la nuit (soit par gaz ou électricité).
- Dans des zones le pompage se fait pendant 2h à 4h par jour et laissent l'eau à se renouveler dans l'ouvrage de captage.
- Dans les zones où la situation des ressources en eau souterraine est très alarmante, le pompage se fait de 20 minutes à 1 heure par jour.

2.10. Impact de l'énergie solaire sur l'utilisation des ressources en eau souterraines

Le comportement des agriculteurs vis-à-vis de l'utilisation des ressources en eaux après l'installation du solaire est variable d'un agriculteur à un autre, 66 % ont déclarés qu'ils ont augmentés leur consommation et 21% ont réduit la consommation, et 13% disent que leur consommation reste inchangée avant et après la reconversion au solaire. La figure suivante présente ces résultats :

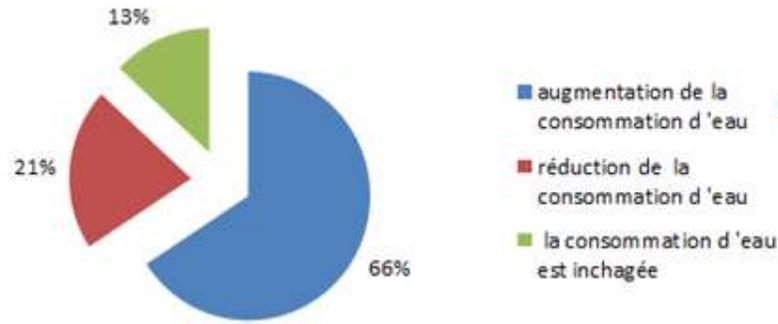


Figure 50 : Comportement des agriculteurs après l'installation du PS

Les raisons d'augmentation de la consommation d'eau sont :

- L'augmentation des apports d'eau aux mêmes parcelles.
- L'augmentation des surfaces irriguées (l'extension).
- La pratiques d'autres cultures en intercalaire (plusieurs cultures dans la même parcelle).

Pour les agriculteurs qui ont réduit la consommation en eau après l'installation du solaire, la raison de cette réduction est qu'ils ont installé le système solaire et le goutte à goutte simultanément, le fait qui a conduit à une réduction de consommation. Quant aux agriculteurs, dont leur consommation en eau restait inchangée avant et après la conversion en énergie solaire, la raison qu'ils avancent est qu'ils pompent toujours la quantité nécessaire pour leurs cultures et ils sont conscients de la nécessité de préserver les eaux souterraines. Cependant, on a remarqué que certaines déclarations n'étaient pas fiables car les agriculteurs ne voulaient pas déclarer qu'ils ont augmenté la consommation d'eau ou pas.

3. Analyse des indicateurs de performances d'irrigation

Cette partie sert essentiellement à la caractérisation et l'évaluation des systèmes d'irrigation goutte-à-goutte en analysant un ensemble d'indicateurs de performances techniques chez un ensemble des exploitations visitées.

3.1. Taux de satisfaction des besoins en eau des cultures (T_s)

Les taux de satisfaction des besoins en eau des cultures ont été calculés selon la démarche présentée dans le chapitre matériel et méthodes. Les résultats de calcul sont présentés dans la Figure 51.

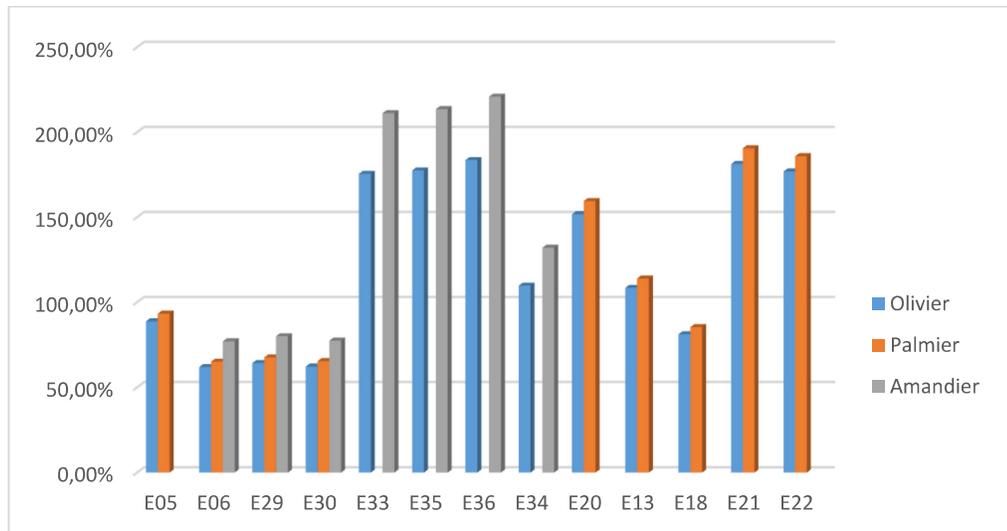


Figure 51 : Variation du Taux de satisfaction des besoins en eau de cultures

Le Tableau 24 résume les résultats de calcul de cet indicateur :

Tableau 24 : Résultats de calcul du Taux de satisfaction des besoins en eau de cultures

Code	Culture	Besoin (m3/Ha)	Volume apporté (m3/Ha)	Ts
E05	Olivier	8758,71	7777,26	88,79%
	Palmier	8334,38	7777,26	93,32%
E06	Olivier	8758,71	5421,33	61,90%
	Palmier	8334,38	5421,33	65,05%
	Amandier	7036,71	5421,33	77,04%
E29	Olivier	8758,71	5630,58	64,29%
	Palmier	8334,38	5630,58	67,56%
	Amandier	7036,71	5630,58	80,02%
E30	Olivier	8758,71	5450,01	62,22%
	Palmier	8334,38	5450,01	65,39%
	Amandier	7036,71	5450,01	77,45%
E33	Olivier	8758,71	14861,62	175,53%
	Amandier	7036,71	14861,62	211,20%
E35	Olivier	8758,71	15030,07	177,52%
	Amandier	7036,71	15030,07	213,60%
E36	Olivier	8758,71	15546,70	183,62%
	Amandier	7036,71	15546,70	220,94%
E34	Olivier	8758,71	9291,13	109,74%
	Amandier	7036,71	9291,13	132,04%
E20	Olivier	8758,71	13296,24	151,81%
	Palmier	8334,38	13296,24	159,53%
E19	Olivier	8758,71	9496,18	108,42%
	Palmier	8334,38	9496,18	113,94%
E18	Olivier	8758,71	7112,72	81,21%
	Palmier	8334,38	7112,72	85,34%
E21	Olivier	8758,71	15881,38	181,32%
	Palmier	8334,38	15881,38	190,55%
E22	Olivier	8758,71	15493,80	176,90%
	Palmier	8334,38	15493,80	185,90%

D'après ces résultats, le taux de satisfaction des besoins des cultures (T_s) varie de 62% au 221%, ce qui s'explique par la variabilité en termes d'apports en eau de l'irrigation selon chaque exploitation. Ceci implique directement la disponibilité de la ressource en eau souterraine puisqu'elle est la seule ressource hydrique dont ces agriculteurs ont accès. On remarque que les exploitations, **E05**, **E06**, **E29**, **E30**, appartenant aux zones : Ghelil et Ksar ElBour, ont des taux de satisfaction inférieur à 100%. Cependant les autres appartenant à Aghbalou N'Kerdous et Ouaklim ont largement dépassé cette valeur. Cette différence ne peut s'expliquer que par la situation des nappes, que l'eau est bien disponible dans les zones de Aghbalou N'Kerdous et Ouaklim, et insuffisant pour satisfaire les besoins dans les deux autres zones.

Par conséquent, les agriculteurs ayant accès aisément à l'eau et à l'énergie (pompage solaire) sur-irriguent leurs cultures puisqu'aucun facteur ne les obligent à limiter les apports (notamment le facteur coût telle dans le cas des autres sources d'énergies classiques).

Il est à noter que le cas de l'exploitation **E05** peut être considéré tant que cas spécial puisque le taux de satisfaction est proche à 100% même si l'agriculteur se trouve dans une zone de pénurie de l'eau, ceci est grâce aux manières de l'agriculteur dont la bonne utilisation de la ressource hydrique et surtout son ouverture aux conseils des spécialistes (digues de déviations des eaux de pluies, ...)

3.2. L'uniformité d'arrosage

Les résultats de calculs de ce paramètre sont présentés dans le Tableau 25 :

Tableau 25 : Résultats de calcul de l'Uniformité d'arrosage

Code Exploitation	Culture	q_{min} (ml/s)	q_{moy} (ml/s)	CU (%)	Observation
E05	P	14,951	20,809	71,85%	Médiocre
E06	O	8,302	14,314	58,00%	Mauvaise
E29	P	2,650	6,354	41,71%	Mauvaise
	L	0,921	1,269	72,52%	Médiocre
E30	P	4,536	6,118	74,14%	Médiocre
	O	5,127	6,946	73,82%	Médiocre
E33	O	6,207	9,880	62,82%	Mauvaise
E34	A	10,080	15,509	65,00%	Mauvaise
E35	O	9,551	15,578	61,31%	Mauvaise
E36	O	13,937	18,805	74,11%	Médiocre

P : Palmier Dattier ; L : Luzerne ; A : Amandier ; O : Olivier

On remarque que le coefficient d'uniformité varie de 41% à 74% dont la distribution est jugée mauvaise à médiocre. Ceci renseigne sur des problèmes de colmatage et de bouchage qui sont le résultat de plusieurs facteurs : la qualité de l'eau, la dégradation du matériel d'irrigation, les fuites et les opérations d'entretien, la mauvaise conception. Il faudrait nettoyer le réseau et déterminer la cause du colmatage et là traité.

3.3. Résultats de mesures des pressions

Les valeurs de la pression mesurée sont consignées dans le Tableau 26.

Tableau 26 : Pressions mesurées au niveau des sites concernés

Exploitant code	La pression dans la rampe			
	La plus favorable		La plus défavorable	
	Entrée (bar)	Sortie (bar)	Entrée (bar)	Sortie (bar)
E29	1.01	1	0.98	0.8
E30	1.6	1.5	1.45	1.02
E33	0.32	0	0.25	0
E35	0.6	0	0.15	0
E36	0.5	0.25	0.4	0.38
E34	0.3	0.03	0.1	0.05

Sachant que les valeurs normes de la pression au niveau de la parcelle doivent être comprises entre 0,5 et 1.7 bars (Ammari et Bayali,2016), d'après le tableau on remarque que quatre exploitations, parmi les six, ont des pressions basses voire nulles au niveau des derniers points des rampes. Plusieurs facteurs peuvent expliquer ce fait. D'une part, ces exploitations **E33**, **E35**, **E34** et **E36** disposent des installations d'irrigation localisée bricolées. L'absence d'une étude correcte pour la conception du système engendre une mauvaise répartition et une circulation non uniforme de l'eau dans les différents points du réseau, ce qui se traduit par un dysfonctionnement d'installations. De plus, le débit étant variable en fonction de l'ensoleillement, il contribue à la réduction de la pression lors des moments d'ombrage où la vitesse de l'eau s'affaiblit instantanément et donc l'eau ne peut pas arriver aux derniers points des rampes. Ainsi, l'absence des actions de maintenance et d'entretien du réseau diminue leur performance et dégrade la qualité du matériau. Quant aux exploitations **E29** et **E30**, elles ont des pressions à la norme

ne dépassant pas 1,7 bars, ceci se justifie par les opérations d'entretiens fréquentes et le bon fonctionnement du système.

4. Conclusion

L'utilisation de l'énergie solaire en irrigation impacte fortement les pratiques culturelles des agriculteurs qui peuvent résumer dans deux volets centraux:

- Changement des horaires d'irrigation : l'irrigation se fait pendant les périodes de fort ensoleillement pour exploiter le débit maximum de l'installation solaire ;
- Augmentation des durées de pompage : pompage pendant toute la journée et quotidiennement.

L'impact de l'utilisation du solaire sur les ressources en eau est fortement démontré dans ce chapitre soit par l'analyse des données qualitatives, à partir des déclarations des agriculteurs, ou déduit à partir des données quantitatives, l'évaluation du taux de satisfaction des besoins en eau des cultures qui dévoilent le déploiement incontrôlé et non raisonnée de la ressource hydrique par les agriculteurs, si elle est suffisamment disponible.

Quant à l'analyse des performances des systèmes d'irrigation localisée dans l'échantillon étudié, elle fait relever que :

- Les taux de satisfaction des besoins en eau des cultures dépassent 100% pour les exploitations qui ont les ressources en eau disponible, et sont inférieurs à 100 % pour les exploitations manquant d'eau ;
- Les uniformités de distribution de l'eau d'irrigation sont jugées médiocres à mauvaises et se justifient par le manque d'entretien des systèmes d'irrigation ;
- Les pressions ne respectant pas la norme pour certaines exploitations peuvent être jugée par le manque d'une bonne conception et étude bien précise du réseau d'irrigation existé, et par la variabilité des débits en fonction de l'ensoleillement le long de la journée qui impacte fortement la pression dans le réseau.

Chapitre 08 : Analyse du marché local des installations photovoltaïques

1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons faire une analyse du marché local des installations photovoltaïques à partir d'enquêtes menées avec les fournisseurs du matériel solaire et une description de la procédure d'installation des systèmes par les agriculteurs.

2. Description du Marché local Tinghir-Tinejdad

Les plaques solaires existent partout dans la zone d'études, les fournisseurs et les vendeurs de matériels sont nombreux. Les enquêtes ont été menées chez 6 fournisseurs. Les résultats des discussions et des enquêtes avec les fournisseurs sont synthétisés dans le paragraphe suivant :

- L'ensemble des fournisseurs enquêtés ont commencé leurs activités après 2013 (seul un fournisseur est très ancien dans le domaine. Il exerce le métier depuis les années quatre-vingts). Ceci montre que le développement du marché PV dans la région est récent ;
- 2 sur 6 fournisseurs ne sont pas des spécialistes de ce domaine ou ayant des compétences. Ils l'ont intégré puisqu'il est une tendance et rentable dans la région. Selon leurs déclarations, l'accès à ce secteur peut se faire par n'importe qui, son intégration n'exige pas d'avoir des compétences ou des diplômes de spécialité. Ceci est le résultat de la non application de la réglementation du secteur qui justifie la propagation de la vente informelle des plaques solaires ;
- La moitié des fournisseurs enquêtés exercent d'autres activités commerciales que la vente des installations solaire : climatisation, installation des caméras, vente des portes, mais le solaire constitue leur activité principale. Ils réalisent en moyenne 3 à 4 projets de pompage solaire par mois (environ 26 panneaux) ;
- La majorité des fournisseurs enquêtés ont déjà contribué dans la réalisation des projets de pompage collectif pour l'alimentation en eau potable et le cas des projets de pompage collectif pour l'irrigation n'a pas été constaté ;
- Les grands clients des plaques solaires sont les agriculteurs et ils sont de deux classes : ceux qui s'intéressent au rapport qualité/prix tandis que les autres regardent uniquement les prix ;

- Les fournisseurs déclarent que les agriculteurs ont tendance à augmenter leur la consommation en eau après l’installation du solaire ;
- Les compteurs d’eau ne se figurent pas parmi leurs produits qu’ils commercialisent. Ils peuvent les installer sur demande de l’agriculteur ;
- Les origines des matériels sont : la Chine, la Turquie et l’Allemande, Les principaux fabricants avec lesquels ils sont engagés : CleanEnergy, Freeray et Heliantha Solar ;
- Le problème majeur qu’ils rencontrent avec les clients est le retard du paiement ;
- La concurrence est l’enjeu majeur du secteur photovoltaïque, vu la facilité d’accès au secteur par les gens non qualifiés. Les fournisseurs disent que n’importe qui peut exercer ce métier même l’épicier !
- Les gammes de prix ont diminué au cours de ces dernières années. Le Tableau 27 résume des prix selon quelques puissances des composantes.

Tableau 27 : Tarification des composantes de l'installation solaire

Composante	Puissance	Prix Unitaire (Dhs)
Plaque Solaire	260 W	850-1500
	280 W	
	285 W	
Convertisseur	2,5 kW	3000
	5 kW	6000
	7,5 kW	8000
Pompe	2,2 cv	4000
	5,5 cv	8000

3. Description de la procédure d’installation du pompage solaire

A partir de l’ensemble des discussions entamées avec les fournisseurs et les agricultures la procédure de procuration des installations de pompage solaire est la suivante :

- L’agriculteur consulte un fournisseur, deux cas se présentent, soit le fournisseur est formel, c’est-à-dire il a un cabinet certifié pour vendre les installations PV ou informel et dans ce cas il achète les panneaux d’origines inconnus et procède à les revendre aux agriculteurs ;
- Les informations que fournit l’agriculteur au fournisseur sont : le débit souhaité (nombre de tonne par heure), hauteur d’aspiration (profondeur de l’ouvrage), hauteur de refoulement (distance entre réseau-ouvrage en cas d’irrigation direct ou distance bassin-ouvrage dans le cas échéant). Si l’agriculteur veut garder sa pompe, il donne la puissance de la pompe. On

constate que ces informations ne sont pas suffisantes ou peuvent être mal estimées par l'agriculteur comme la détermination de débit de fonctionnement qui doit être en fonction des besoins en eau des cultures bien déterminées ;

- Une visite de l'exploitation est nécessaire pour vérifier les informations données et pour déterminer l'emplacement adéquat de l'installation. Or les fournisseurs enquêtés déclarent que ce n'est pas le cas de tous les installateurs ;
- La majorité des fournisseurs dimensionnent manuellement les installations solaires (seulement un utilise des logiciels tels que PVSYST) ;
- Il existe un autre cas où l'agriculteur impose le nombre de panneaux aux fournisseurs, il ne prend en considération que sa capacité financière. Ceci d'un côté. De l'autre côté, il pourrait voir son voisin que son installation marche avec un tel nombre de panneaux et il pense que ça va être la même chose pour lui. Dans ce cas, la majorité de fournisseurs essaient de lui expliquer que cette démarche est fautive et aura de mauvaises conséquences sur l'installation elle-même. Il faudrait donc sensibiliser les agriculteurs de la nécessité de faire un bon dimensionnement à son installation solaire.

Il faut rajouter que les agriculteurs ayant des installations qui datent d'avant 2015, déclarent qu'ils les ont faits chez des sociétés dans la ville de Fès. Les autres les ont achetés de Tinghir et Tinejdad. En effet, après 2015, les installateurs ont commencé de plus en plus à s'installer dans les villes de Tinghir, Tinejdad ce qui montre que le marché local des installations PV a été plus développé récemment dans la région d'étude.

Pour les grandes exploitations (ayant un nombre de panneaux supérieur à 100), ils ont fait leur installation dans les villes de Casablanca et Agadir.

La Figure 52 montre la répartition des installations visitées par ville du fournisseur : Tinghir, Tinejdad ou autre : Fès, Casablanca, Agadir Errachidia, Ouarzazate.

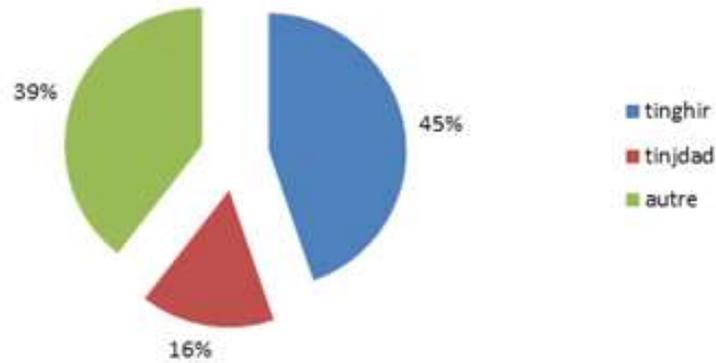


Figure 52: Répartition des installations visitées par ville de l'installateur

Concernant le mode d'achat des équipements : la quasi-totalité des agriculteurs enquêtés déclarent qu'ils ont acheté leurs équipements solaires à l'état neuf et que l'installateur les a informés de l'existence de la garantie sur le matériel. Cependant, aucun d'entre eux n'a jamais bénéficié de cette garantie, en fait, ils ne veulent pas s'engager dans ces procédures qui prennent de temps.

4. Conclusion

Nous avons pu établir à partir des résultats de ce chapitre que :

- Le marché local des équipements solaires commence récemment à se développer dans la région de Todgha-Ferkla ;
- Le marché de pompage solaire connu un manque d'application de la réglementation, de l'organisation et manque des restrictions pour protéger les obligations et les droits pour les deux cotés (Fournisseurs/Clients). En effet, n'importe qui peut exercer le métier et par conséquent le marché est dominé par la présence des gens incompetents, qui ne respectent pas aussi les exigences techniques obligatoires lors de l'installation des systèmes de pompage solaires établies par l'AMEE. Il ne faut donc donner les autorisations qu'aux personnes qui possèdent des certifications dans ce domaine ;
- Les agriculteurs ne sont pas conscients de l'importance de la conception correcte du système de pompage et le rôle majeur qu'elle joue dans le maintien de ses composantes. Il faut faire des campagnes de formation qui veillent à informer les agriculteurs de leurs droits et obligations lors de la procédure d'installations des systèmes ppv, les expliquer dans quelles conditions et comment ils peuvent profiter des garanties sur matériel ainsi que les inciter à obtenir les documents englobant les spécifications techniques et les schémas des installations dès réception.



**Conclusion
&
Recommandations**

Conclusion et Recommandations

Ce projet de fin d'étude est réalisé dans le bassin de Toudgha-Ferkla, région sud-est du Maroc, il a comme objectif d'analyser le processus d'utilisation de l'énergie solaire en irrigation à travers un diagnostic de fonctionnement des installations de pompage photovoltaïque et l'analyse des pratiques et des performances de l'irrigation, cette étude a concerné un échantillon des exploitations agricoles qui irriguent par le pompage privé et collectif.

Les 38 exploitations étudiées ont des systèmes de cultures constitués par le palmier dattier comme culture principale destiné à la commercialisation, puis l'arboriculture (l'olivier et amandier) et enfin les cultures fourragères. Les cultures maraichères occupent des superficies très réduites et sont destinées généralement à l'autoconsommation. Le système d'irrigation localisée est le plus utilisé dans les exploitations de l'échantillon de notre étude, mais certains agriculteurs utilisent encore le gravitaire.

Toutes les exploitations étudiées utilisent la ressource en eau souterraine pour l'irrigation à travers des puits, puits-forages et/ou des forages. L'énergie de pompage déployée est l'énergie solaire, certaines exploitations utilisent d'autres énergies pour le pompage comme : l'électricité, le gaz butane et le gasoil, pour compenser les besoins en eau.

L'adoption des systèmes de pompage photovoltaïque en agriculture commencent à prendre part considérablement au cours de ces dernières années. Ce qui pose des problèmes et des challenges, en termes de choix des équipements de pompage solaire et au niveau de la gestion, de l'entretien et de la maintenance.

Le système de pompage solaire est compétitif en termes de coût par rapport aux autres systèmes de pompages mais il conduit à un changement des pratiques culturelles soit en termes de changement des horaires d'irrigation ou des doses d'irrigation, d'où la nécessité de faire des formations aux agriculteurs pour adapter leurs pratiques au système solaire.

Les rendements des installations solaires sont faibles, cependant, le bon fonctionnement de ces systèmes n'est meilleur que lorsqu'ils sont bien entretenus et correctement conçus.

Un bon dimensionnement du système PPV par rapport aux besoins en eau est indispensable tout en tenant compte des restrictions liées à l'état de l'ouvrage de captage des eaux souterraines pour éviter le risque d'une exploitation non raisonnée

de l'eau, puisque les faibles coûts énergétiques entraînent une exploitation incontrôlée de l'eau.

Concernant l'impact de l'utilisation du solaire sur les ressources en eau, il est démontré soit par l'analyse des données qualitatives, à partir des déclarations des agriculteurs, ou par des données quantitatives, l'évaluation du taux de satisfaction des besoins en eau des cultures, que les agriculteurs ayant la ressource en eau souterraine disponible, l'exploitent de façon incontrôlable et non raisonnée. Et ceci est dû principalement à l'absence de la réglementation et les restrictions qui limitent le pompage via l'énergie solaire.

Les mesures d'uniformité d'arrosage et des pressions de l'échantillon des exploitations démontrent un dysfonctionnement des installations d'irrigation goutte-à-goutte en raison de plusieurs causes notamment l'absence des études de dimensionnement et de conception des réseaux préalables, manque d'un entretien fréquent des systèmes d'irrigation, la variabilité du débit durant la journée selon l'ensoleillement qui implique variation de la pression. En ce qui concerne le taux de satisfaction des besoins en eau de cultures, les agriculteurs ayant accès aisément à l'eau (disponibilité totale dans l'ouvrage) et à l'énergie (pompage solaire) ont un taux de satisfaction supérieur à 100%, alors que ceux qui ont les ressources limitées ont un taux inférieur à 100%. Il faudrait donc inciter les agriculteurs à l'importance du contrôle des prélèvements dans le but de maintenir les nappes souterraines pour les autres générations. Dans ce sens, assurer des formations aux agriculteurs de la bonne gestion de ses installations solaires, de l'importance des aquifères et du fait qu'elles sont sensibles aux prélèvements dans le long terme ainsi que leur permettre d'injecter le surplus produit par leurs générateurs solaires dans le réseau national de l'électricité pour réduire les factures d'électricité par exemple.

L'analyse du marché local des équipements solaires montre qu'il commence récemment à se développer. Il est donc nécessaire de renforcer le contrôle et la réglementation et mettre en place des restrictions pour protéger les droits et obligations de l'agriculteur et du vendeur au niveau de la conception, installation et la commercialisation des systèmes. Il faudrait accompagner les agriculteurs et assurer des formations pour qu'ils gèrent bien leurs installations de pompage photovoltaïque durant l'année et garantir un bon dimensionnement pour lutter contre la consommation irraisonnée. Il faudrait donc commencer de la source, c'est-à-dire exiger des conditions sur les profils de fournisseurs, assurer que les études des dimensionnements tiennent compte de la nature de la source d'eau et les informer de l'importance d'une utilisation adéquate de la ressource énergétique dans la préservation de l'eau pour qu'ils font passer le message ensuite aux agriculteurs.

A la lumière de ce travail nous recommandons ce qui suit :

- Renforcer la réglementation dans le domaine du pompage solaire par la publication des décrets des lois notamment de la loi 58-15 ;
- Renforcer les capacités des acteurs dans le domaine de l'énergie, de l'agriculture et de l'eau pour l'application de la réglementation existante ;
- Accompagner les agriculteurs dans la procédure de l'installation des équipements de pompage solaire, les inciter à faire des études de dimensionnement chez des cabinets certifiés pour garantir le bon dimensionnement, la bonne installation et éviter des faibles performances et les informer de leurs droits et obligations durant ces procédures ;
- Faire des visites locales aux agriculteurs pour vérifier les performances de leurs systèmes de micro-irrigation photovoltaïque ;
- Mettre en place des systèmes de contrôle des prélèvements des eaux souterraines ;
- Lancer des études détaillées avant la mise en place des subventions sur les systèmes de pompes solaire ;
- Promouvoir les projets d'irrigation solaire collective gérés par des associations ;
- Autoriser aux agriculteurs à injecter sur le réseau ONEE par la vente du surplus de l'énergie photovoltaïque produite ce qui permettra d'améliorer la situation socio-économique des agriculteurs et lutter contre la surexploitation des aquifères ;
- Organiser des campagnes de sensibilisation sur l'économie d'eau afin que les agriculteurs assimilent les bonnes pratiques de l'exploitation des systèmes PPV et contribuent au maintien de la ressource hydrique.

Références bibliographiques

GIZ, 2019, Investigation de l'impact des installations de pompage solaire sur la consommation d'eau et la situation socioéconomique d'un agriculteur dans 3 zones pilotes au Maroc, p.64

Cluster Solaire, Guide de bonnes pratiques à l'attention des agriculteurs, p.11

GIZ, 2017, Pompage de l'eau par le solaire photovoltaïque, p.12

Ministère délégué auprès du Ministre de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, chargé de l'Eau, 2015, Recueil des textes juridiques relatifs aux ressources en eau au Maroc, p. 423

MAZEN, 2011, Complexe Solaire d'Ouarzazate Maroc, p.198

Direction de l'Aménagement du Territoire, 2004, Stratégie d'Aménagement et de Développement des Oasis Au Maroc, Stratégie de Développement et Plan d'Actions, Troisième Phase, p.201

Abdellah Ismaili Alaoui, 2019, Caractérisation Hydrogéologique et Recharge Artificielle de la Nappe de la Palmeraie de Tinejdad (Sud-Est Marocain), Abderrahman Mahboub, Mohamed Hilali, Hala Moudden, Jihane Tlemcani, Souad Boumeshoul, p.14

Direction de L'aménagement du Territoire, 2006, Lutte contre la Désertification et Lutte contre la Pauvreté par la Sauvegarde et la Valorisation des Oasis, Composante Tafilalet, Document de Projet, p.55

Chafik KRADI, INRA, Edition 2012, L'agriculture solidaire dans les écosystèmes fragiles au Maroc, p.188

Actualisation du Plan Directeur d'Aménagement Intégré des Ressources en Eau des Bassins de Guir - Ghris - Ziz et Maider, Phase 1, Provinces Errachidia, Ouarzazate, Zagora et Figuig, Rapport Définitif, 2011, p.238

Agence Du Bassin Hydraulique du Guir Ziz Rheris, Juin 2019, Etude d'Actualisation du Plan Directeur d'Aménagement Intégré des Ressources en Eau des Bassins Hydrauliques du Guir-Ziz-Rheris et Maider, Rapport de synthèse, Version Provisoire, p.111

Agence Du Bassin Hydraulique du Guir Ziz Rheris, 2014, Etude de Caractérisation des Unités Hydrologiques et Hydrogéologiques dans les Bassins de Guir, Ziz, Rheris et Maider dans les Provinces d'Errachidia, Figuig, Tinghir, Midelt Et Zagora, p.193

Programme des Nations Unis pour le Développement, Promotion du Développement des Systèmes de Pompage Photovoltaïque pour l'Irrigation, Rapport de Projet, Pays : Maroc, p.113

Hein De Haas, Université D'oxford Royaume-Uni, Novembre 2005, Gestion d'Eau dans les Oasis Marocaines Migrations et Le Rôle De L'état: Crise Ou Transformation? L'exemple Du Todgha-Ferkla, A Paraitre Dans Les Actes Du Colloque "L'eau Entre Moulin Et Noria", Marrakech, p.14

Renevot G., Bouaziz A., Ruf T. Et Raki, IRC, Montpellier, IAV Hassan II, IRD, Montpellier, 2009, Pratiques d'Irrigation du Palmier Dattier dans Les Systèmes Oasiens du Tafilalet, Maroc, Partie 3 : Relations eau-production agricole, p16

Aboulbaraket Wahiba Et Ouzoubaire Samira, Iav Hassan II, 2016, Conception Participative d'un Projet Collectif de Reconversion en Irrigation Localisée dans les Oasis d'Aoufous (Province Errachidia), p.199

BENDRAOU, 2014, Evaluation des Performances des Systèmes d'Irrigation Localisée Fonctionnant Au Pompage Solaire dans la Plaine de Tafilalet, p.116

Commission internationale d'irrigation et de drainage, 2019, Systèmes d'irrigation à énergie solaire en Inde : Leçons pour l'Afrique à travers un ensemble d'études de la FAO, Rapport de projet, p.144

NAJJARI, 2015, Contribution à l'étude de la consommation d'eau et d'énergie dans un échantillon d'exploitations agricoles irriguées dans la plaine de Saiss, p.98

Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Rome 1977, Besoins en eau des cultures, p.154

Sergio Camilo GUALTEROS MARTINEZ, 2017, Outil d'aide à la décision pour le dimensionnement de systèmes de pompage solaire PV, p.165

Isabelle Couture, agri-vision 2003-2004, Analyse D'eau Pour Fin d'Irrigation, p.8

Agence Marocaine pour l'efficacité Énergétique, Exigences Techniques Minimales des systèmes solaires de pompage d'eau, p.17

La direction de la Fondation Énergies pour le Monde, 2004, technologies européennes du pompage solaire photovoltaïque, p.27

GIZ, 2016, les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique dans les secteurs de l'agriculture et de l'agroalimentaire au Maroc, p.176

Africa Climate Solutions, 2018, livrable ii : état des lieux du marché de pompage solaire photovoltaïque, p.95

GIZ et FAO, 2018, La boîte à outils pour les systèmes d'irrigation à énergie solaire (Solar Powered Irrigation Systems, SPIS) , p.330

Ammari et Bayali, 2016, Etude des pratiques d'irrigation et évaluation des performances de l'irrigation localisée dans le cadre de la reconversion collective : Cas du secteur pilote du Tadla, p.134

Références webographiques

[http://www.agriculture.gov.ma/pages/economie-de-leau.](http://www.agriculture.gov.ma/pages/economie-de-leau)

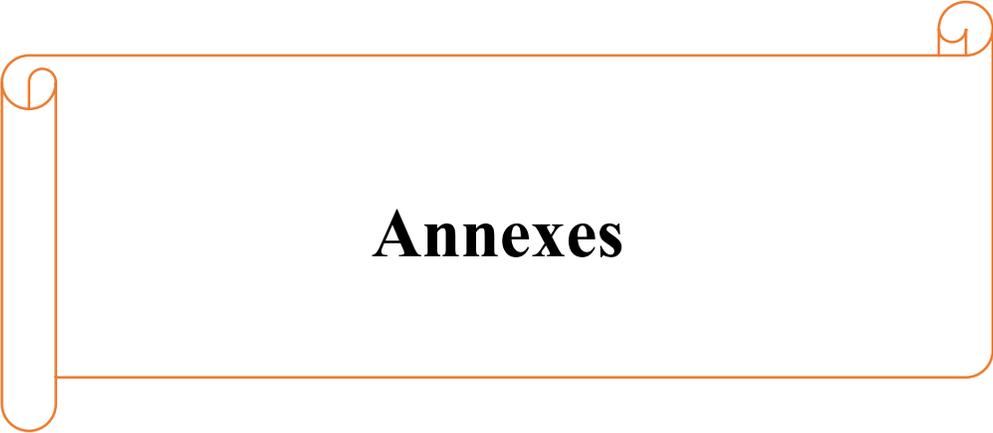
<https://www.amee.ma/fr/home>

<https://www.hellowatt.fr/panneaux-solaires-photovoltaiques/rendement-panneaux-solaires>

<http://www.raddo.org/ecosysteme-oasien/L-oasis-qu-est-ce-que-c-est>

[http://earthwise.bgs.ac.uk/index.php/Hydrog%C3%A9ologie_du_Maroc_et_du_Sahara_occidental_\(Sahara_marocain\)](http://earthwise.bgs.ac.uk/index.php/Hydrog%C3%A9ologie_du_Maroc_et_du_Sahara_occidental_(Sahara_marocain))

<http://andzoa.ma/fr/>



Annexes

Annexe 01

Fiche d'enquête (Pompage Individuel)

Date :

Enquête N°...

Axe 01 : Identification de l'exploitation :

- ✓ Coordonnées Géographiques (GPS) :
- ✓ Ksar / Commune rurale :
- ✓ Nom de l'exploitant :
- ✓ Genre : Femme Homme
- ✓ Age :
- ✓ Numéro de Téléphone :
- ✓ Statut foncier (Melk/Collectif) :
- ✓ Superficie de l'exploitation :
- ✓ Ancienneté de l'exploitation (nouvelle/ancienne acquisition) :
- ✓ Mode de faire valoir :

Axe 02 : Caractérisation des ouvrages de captages

- ✓ Nombre de sources de captage :
- ✓ Autorisation :
.....

N° Ouvrage de captage (O_i)	O1	O2	O3	O4	O5
Type (puits, forage, puitsforage)					
Diamètre					
Profondeur					
Date de creusement					
Energie Utilisé pour pompage					

Autres (Khéttaras/épandage des eaux de crues..)	
---	--

Axe 03 : Caractérisation des équipements de pompage solaire :

Matériel	Pompe et Moteur	Panneaux	Convertisseur	Châssis	autres
Date d'achat					
Marque et Modèle					
Origine					
Type					
Références du fournisseur					
Puissance (cv)					
Prix achat/Entretien					
Motifs de choix					
Détails	Débit : HMT :	Caractéristiques : Fixé sur : Inclinaison : Orientation :			

Axe 04 : Caractéristiques des autres sources d'énergie en pompage

Quelles sources d'énergies utilisez-vous en plus de l'énergie solaire en pompage pour l'irrigation ? Et pourquoi ?

.....

Type d'énergie	Caractéristiques (moteur / pompe)	Conditions d'utilisation (cultures ; période ; besoins....)	Date d'installation

Axe 05 : Caractérisation des installations de pompage solaire (objectif et diagnostic)

- ✓ Site d'installation du PV (toiture ou sur sol):
- ✓ Date d'installation du PV :
- ✓ Pourquoi le PV :
- ✓ Taux d'irrigation par pompage solaire:
- ✓ Existence des problèmes d'ombre :

Oui Non

- ✓ Changement manuel d'inclinaison par l'agriculteur : Oui Non

- ✓ Partie stockage : 1 : Stockage d'eau.

2 : Stockage Energie.

3 : Pas de stockage.

Si le stockage est de l'eau :

Volume du bassin (m3) :

Temps de remplissage du bassin (h) :

Dimensions : (Longueur =m; largeur =m; Profondeur =m)

Si le stockage est de l'énergie :

Capacité de batterie (Ah) :

Autonomie (jours/ Heures) :

- ✓ Procédure entamée pour l'installation du PV (l'existence d'une étude de dimensionnement par des professionnels, ou appui sur la connaissance locale pour dimensionner votre système « installation bricolée » ...):
.....
.....

- ✓ Mode d'achat des équipements du système de pompage solaire :

1 : l'état neuf mais non certifiés et pas de garantie.

2 : déjà utilisés chez des revendeurs non certifié.

3 : matériel certifié.

✓ Quel est votre Niveau de satisfaction par rapport au système solaire ?

Elevé Moyen Faible

✓ Comment l'investissement en pompage solaire a amélioré votre pratique culturale et votre vie quotidienne par rapport aux autres sources d'énergie?

.....
.....
.....

✓ Que pensez-vous sur la volonté des agriculteurs voisins à convertir leur système de pompage en pompage solaire ? Quelles sont les raisons qui les empêchent ? Attendent-ils les subventions de l'état ?

.....
.....
.....

❖ **Pratiques d'entretiens et de maintenances :**

✓ Quel est le niveau de connaissances techniques vis-à-vis le système de pompage photovoltaïque ?

.....
.....

✓ Quels sont les problèmes rencontrés dans l'exploitation du système ?

.....
.....
.....

✓ Nombre de panne?

✓ Solutions :

.....
.....
.....

✓ Est-ce que vous adoptez des pratiques de maintenance et d'entretien de votre installation PV ?

Oui Non

Si oui quelles opérations faites-vous ?

.....
.....

- ✓ Comment les opérations de maintenance sont-elles réalisées (En interne par l'agriculteur ; par des ateliers locaux ; par un contrat de maintenance) :

.....

Axe 06 : Description du système d'irrigation

Mode d'irrigation :

- Localisé Gravitaire Gravitaire Amélioré

Description Equipements d'irrigation Localisée:

- ✓ Date d'installation du système goutte à goutte :
- ✓ Utilisez-vous un compteur de débit ?
- ✓ Avez-vous reçu une formation sur goutte-à-goutte?.....
- ✓ Nombre de filtres ?
- ✓ Type de filtres (à sable ; à tamis ; à disque) :
- ✓ Nombre de postes :
- ✓ Nombre d'heures d'irrigation par poste :
- ✓ Nombre de goutteurs par poste :

Axe 07 : Aspect de production Agricole :

- ✓ Assolement :

- Fixe Variable

- ✓ Cultures :

Cultures	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Superficie (ha)								
Densité (m)								

- ✓ Comment déterminez-vous les doses et les fréquences d'irrigation ?

.....

- ✓ Quels problèmes vous rencontrez en ce qui concerne l'irrigation ?

.....

- ✓ Comment vous résolvez ces problèmes ?
 - ✓ Quel mode adoptez-vous pour gérer et piloter l'irrigation ?
- Conseil Office. Conseiller privé. Expérience.
- Autres :

Axe 08 : Mode d'exploitation des ressources en eau souterraines

- ✓ Pour quelle durée votre système de pompage produit de l'eau ? Deh à h.
- ✓ Comment estimer vous la situation des ressources en souterraine dans la zone ?
 - 1 : Il y a une baisse notable du niveau de la nappe (situation de pénurie).
 - 2 : Risque de de pénurie.
 - 3 : La situation est bonne.
 - 4 : Je ne sais pas.
- ✓ Si vous avez noté une baisse notable du niveau de la nappe est ce que vous avez une estimation de combien la nappe a-t-elle baissé ?

.....

.....
- ✓ Quels sont les facteurs limitant le pompage :
 - 1 : L'inexistence de facteurs qui oblige à limiter le pompage.
 - 2 : La contrainte « coût ».
 - 3 : Faiblesse du débit au niveau d'ouvrage.
 - 4 : contrôle des gestionnaires.
 - 5 : autres :
- ✓ En ce qui concerne la gestion de l'utilisation de l'eau, existe-t-il un contrôle sur les prélèvements ?

Oui Non

Si, oui comment fonctionnait-il ?
- ✓ Considérez-vous que la quantité d'eau reçue est suffisante par rapport à la surface irriguée ?

.....

.....

.....

✓ Quel est l'impact de l'utilisation du solaire sur la consommation d'eau de votre exploitation par rapport aux autres sources d'énergie?

- 1 : Réduction de la consommation
- 2 : Consommation inchangée
- 3 : Augmentation de la consommation

Si vous avez augmenté la consommation.

Pour quelle raison avez-vous l'augmenté ?

- 1 : augmentation des apports d'eau a la parcelle.
- 2 : augmentation de la superficie irriguée.
- 3 : introduction de nouvelles cultures en intercalaire.
- 4 : changement de système de culture.
- 5 :

autres :

Si augmentation de la superficie irriguée quelle est la surface que vous avez ajoutée (ha) ?

.....
.....
.....

Si Réduction de la consommation d'eau après PPV ou Consommation restée inchangée, quelle est la raison ?

- 1 : Les ressources en eau souterraines sont limitées
- 2 : Système de pompage ne permet pas d'augmenter la production
- 3 : Conscient de la nécessité de préserver les ressources en eau
- 4 : Contrôle des gestionnaires.
- 5 : Changement de système d'irrigation.
- 6 Autres :

.....
.....
.....

Axe 09 : Aspects Financiers

✓ Le financement du projet PV est :

Individuel Intervention AUEA Subvention Crédit

Si vous avez bénéficié d'une Subvention pour l'installation de votre système :

Quel est la nature et l'origine de cette subvention ? (Date/organisme)

.....
 Quelles sont les conditions de cette subvention (Taille de l'exploitation ? Limite en pompage ?)

✓ Quel est le temps de retour de l'investissement ?

✓ Comparaison entre l'ancien système et le système solaire :

système de pompage	système classique	Système solaire
Investissement (Dhs)		
Cout de fonctionnement (Dhs)		
Cout de maintenance et entretien (Dhs)		
La durée de pompage (heures/jour)		
Horaire d'irrigation		
Durée d'irrigation (heures/jour)		
Pompage vers (bassin ; réseau)		
Assolements pratiqués		
Facteurs limitant le pompage		

Annexe 02

Fiche d'enquête (Pompage Collectif)

Date :

Enquête N°...

Axe 01 : Identification :

- ✓ Coordonnées Géographiques (GPS) :
- ✓ Ksar / Commune rurale :
- ✓ Nom l'AUEA :
- ✓ Date de création :
- ✓ Nom et qualité du responsable:
- ✓ Numéro de Téléphone :
- ✓ Superficie dominée :
- ✓ Nombre d'adhérents:
- ✓ Superficie par adhérent :
- ✓ Catégorie de périmètre :

Oasis

Extensions

Axe 02 : Caractérisation des ouvrages de captages

- ✓ Nombre de sources de captage :

N° Ouvrage de captage (O_i)	O1	O2	O3	O4
Type (puits, forage, puitsforage)				
Profondeur				
Niveau statique d'eau				
Date de creusement				
Energie Utilisé pour				

pompage				
Autres (Khéttaras / épandage des eaux de crues..)				

Axe 04 : Caractérisation des équipements de pompage solaire

Matériel	Pompe et Moteur	Panneaux	Convertisseur	Châssis	autres
Date d'installation					
Références du fournisseur					
Prix (achat/entretien)					
Caractéristiques : (Marque et Modèle,...)					

Axe 05 : Caractéristiques des autres sources d'énergie en pompage

Type d'énergie	Caractéristiques (moteur / pompe)	Conditions d'utilisation (cultures ; période ; besoins....)	Date d'installation

Axe 06 : Systèmes d'irrigation – Systèmes de cultures

✓ Mode d'irrigation :

Localisé Gravitaire Gravitaire Amélioré

✓ Cultures :

Cultures	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Superficie (ha)						

Est-ce que vous avez planifié des démarches de gestion collective et de maintenance du Réseau d'irrigation ? Comment ?

- ✓ Pour quelle durée votre système de pompage produit de l'eau ? De ...h à.... h.
- ✓ Comment estimer vous la situation des ressources en souterraine dans la zone ?

1 : Il y a une baisse notable du niveau de la nappe (situation de pénurie).

2 : Risque de de pénurie.

3 : La situation est bonne.

4 : Je ne sais pas.

Axe 07 : Aspects Financiers

- ✓ Sources de financement :

.....

- ✓ Si vous avez bénéficié d'une Subvention pour l'installation de votre système :

Quel est la nature et l'origine de cette subvention ? (Date/organisme)

.....

Quelles sont les conditions de cette subvention (Taille de l'exploitation ? Limite en pompage ?)

Axe 08 : Comparaison entre les systèmes classiques de pompage et le système solaire

Système de pompage	Système classique	Système solaire
Investissement (Dhs)		
Cout de fonctionnement (Dhs)		
Cout de maintenance et entretien (Dhs)		

Main d'œuvre (Dhs)		
La durée de pompage (heures/jour)		
Le volume pompé (m^3 /jour)		
Horaire d'irrigation		
Durée d'irrigation (heures/jour)		
Pompage vers (bassin; réseau)		
Assolements pratiqués		
Facteur limitant le pompage		

Annexe 03 :

Fiche d'Enquête avec les Fournisseurs des équipements du Pompage Solaire

Coordonnées du Fournisseur	
Nom et Prénom	
Téléphone	
Email	
Adresse	
Année de création	
Annexes ?	
Activités	
Quelles sont vos activités commerciales ? Le PPV est classé parmi les activités principales ou secondaires ?	
Est-ce que vous accompagnez les agriculteurs pour l'installation et l'utilisation des équipements PPV ?	
Est-ce que vous réalisez des projets collectifs d'équipement en Pompage solaire ? Exemples.	
Comment vous faites la conception et dimensionnement des installations ? (Nom logiciel)	
Quelles sont les données nécessaires pour la réalisation de l'étude (que doit fournir l'agriculteur) ?	
Est-ce que vous êtes conscient de l'impact de l'utilisation maladroite de l'énergie solaire sur les ressources en eau souterraines ? Si oui est ce que vous conseiller l'agriculteur de ne pas surexploiter ces ressources ?	

<p>Pourquoi vous avez choisi de commercialiser les installations PV ? A partir de quelle date ?</p>	
<p>Produits et Services</p>	
<p>Quels sont les produits/services de PPV proposés par vous ?</p>	
<p>Quelles sont leurs caractéristiques ? leurs gammes de prix ?</p>	
<p>Parmi vos produits de PPV, est-ce que vous installez des équipements de contrôle de consommation de l'eau ?</p>	
<p>Les Partenaires</p>	
<p><u>Les Fournisseurs</u></p>	
<p>Quels sont vos fournisseurs de matériels ?</p>	
<p>Quels sont les origines et références de vos produits fournis ? et Comment vous les avez choisi ?</p>	
<p>Quels sont les critères de choix de vos fournisseurs ?</p>	
<p><u>Les Clients</u></p>	
<p>Quelle est la clientèle ciblée ?</p>	
<p>Comment faites-vous pour trouver des clients ?</p>	
<p>Etes-vous confronté à certains problèmes ou difficultés avec vos clients ?</p>	
<p>Vos clients s'intéressent-ils en premier à la qualité/service ou au prix ?</p>	
<p>Expérience au sein du marché de PPV</p>	
<p>Quels sont les grands enjeux auxquels vous devez faire face pour être compétitive ?</p>	
<p>Quels sont vos principaux concurrents ?</p>	

A votre avis, quelles sont les contraintes qui freinent jusqu'à aujourd'hui le développement du marché de PPV au Maroc ?	
Combien de projets avez-vous réalisés en matière de PPV ? Quels sont les plus marquants ? dans quelles régions ?	

Annexe 04

Fiche de mesure

- ✓ Date de mesure :
- ✓ Localisation de l'exploitation (la latitude et la longitude) :
- ✓ Longueur et diamètre de la conduite de refoulement :
- ✓ Longueur et diamètre de la conduite d'aspiration :
- ✓ Longueur entre le point de pompage et les parcelles irriguées :
- ✓ Accessoires :

Suivre du débit pompé :

Heure de mesure	Q (l/s) Essai 01	Q (l/s) Essai 02	Q (l/s) Essai 03
9h00			
10h00			
11h00			
12h00			
13h00			
14h00			
15h00			
16h00			
17h00			
18h00			

- ✓ Heures d'irrigation (de quelle heure à quelle heure) :

Mesure de débit d'irrigation

	Essai 01	Essai 02	Essai 03
Q (l/s)			

Mesure des débits de goutteurs

Numéro de récipient	volume (l)	Temps (s)	Débit (l/s)	Classement (1 est la plus petite quantité, 16 la plus importante)	Quartile inférieur (les 4 quantités les plus faibles)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
q_{moy}				q_{min}	

Mesure de pressions

	Pression à l'entrée (bar)	Pression à la sortie (bar)
la rampe la plus favorable		
la rampe la plus défavorable.		

Calendrier d'irrigation (déclarations des agriculteurs)

mois	Semaine	Culture 1 : Palmier		Culture 2 : Olivier		Culture 3 : Amandier	
		Durée (heure)	Fréquence (jours)	Durée (heure)	Fréquence (jours)	Durée (heure)	Fréquence (jours)
Janvier	S1						
	S2						
	S3						
	S4						
Février	S1						
	S2						
	S3						
	S4						
Mars	S1						
	S2						
	S3						
	S4						
Avril	S1						
	S2						
	S3						
	S4						
Mai	S1						
	S2						
	S3						
	S4						
Juin	S1						
	S2						
	S3						
	S4						
Juillet	S1						
	S2						
	S3						
	S4						
Aout	S1						
	S2						
	S3						
	S4						
Septembre	S1						
	S2						
	S3						
	S4						
Octobre	S1						
	S2						
	S3						
	S4						
Novembre	S1						
	S2						
	S3						
	S4						
décembre	S1						
	S2						
	S3						
	S4						