



ÉTUDE DE FAISABILITÉ TECHNICO-ÉCONOMIQUE DU POMPAGE SOLAIRE DANS UNE EXPLOITATION DE PALMIER DATTIER À TAMASSINT (Province d'Errachidia, Maroc)

Novembre 2016

Publié par :

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5

65760 Eschborn, Germany

E info@giz.de

I www.giz.de

Réalisé par :

Projet régional RE-ACTIVATE

**«Promotion de l'emploi à travers les énergies renouvelables
et l'efficacité énergétique dans la région MENA»**

Steffen Erdle, Chef de Projet - E : steffen.erdle@giz.de

Responsables de la publication :

Simon Inauen, Conseiller technique - E : simon.inauen@giz.de

Katharina Maier, Stagiaire - E : katharina.maier1@giz.de

Financé par :

Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ)

(Ministère fédéral allemand de la Coopération économique et du Développement [BMZ])

Titre :

***Etude de faisabilité technico-économique du pompage solaire dans une exploitation de palmier
dattier à Tamassint (Province d'Errachidia, Maroc)*** (Novembre 2016)

Auteur :

Dr. Ing. Ali Hajji, Consultant, Amasys Consulting, Rabat / Maroc

Page de couverture :

Région MENA (RE-ACTIVATE) (de gauche à droite) : 1. Palmier dattier du sud marocain. © Pixabay. /

2. Entretien de capteur solaire PV. © C. Photothek.

Rabat, 2017-03-29

TABLE DES MATIÈRES

PARTIE 1 : PRÉSENTATION DU PROJET ET MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE.....	6
1.1. OBJET.....	6
1.2. CONTEXTE GÉNÉRAL.....	6
1.3. CONTEXTE SPÉCIFIQUE.....	6
1.4. DOCUMENTS EXISTANTS.....	8
1.5. MODALITÉS D'EXÉCUTION DE L'ÉTUDE.....	9
PARTIE 2 : RÉSULTATS DE L'ÉTUDE.....	10
2.1. ANALYSE DES BESOINS EN EAU ET DES RESSOURCES HYDRIQUES.....	10
2.2. ANALYSE DES ÉQUIPEMENTS INSTALLÉS : POMPES ET RÉSEAU D'IRRIGATION.....	13
2.3. SOURCES D'ÉNERGIES NON RENOUVELABLES.....	14
2.4. ÉTUDE DU POMPAGE SOLAIRE EN STAND ALONE.....	14
2.5. ÉTUDE DES SYSTÈMES SOLAIRES PV RACCORDÉS AU RÉSEAU.....	19
2.6. COMPARAISON DES VARIANTES D'APPROVISIONNEMENT EN ÉNERGIE.....	21
2.7. IDENTIFICATION DE LA VARIANTE OPTIMALE.....	24
2.8. ESTIMATION BUDGÉTAIRE DE LA VARIANTE OPTIMALE.....	26
2.9. IMPACT SOCIO-ÉCONOMIQUE DU PROJET.....	26
RÉFÉRENCES.....	27
ANNEXES.....	28
Annexe 1 : Plan du réseau d'irrigation du Lot 1 [3].....	28
Annexe 2 : Position des forages du projet Tamassint Lot 1 [3].....	28
Annexe 3 : Plan du réseau d'irrigation du Lot 2 [3].....	29
Annexe 4 : Position des forages du projet Tamassint Lot 2 [3].....	29

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Situation du projet Tamassint [1].	7
Figure 2 : Caractéristiques des forages [3].	8
Figure 3 : Besoins en eau journaliers du palmier dattier au cours de l'année.	11
Figure 4 : Besoins en eau journaliers du maraîchage au cours de l'année.	11
Figure 5 : Pompage à partir d'une pompe immergée pour remplissage du bassin.	14
Figure 6 : Pompage à partir d'une pompe de surface pour irrigation.	15
Figure 7 : Apport du pompage solaire et 25 % des besoins en eau (m ³ /j).	18
Figure 8 : Apport du pompage solaire et 100 % des besoins en eau (m ³ /j).	18
Figure 9 : Coût mensuel par agriculteur selon la source d'appoint.	19
Figure 10 : Principe de production de l'électricité avec le système on-grid en basse et moyenne tension [8].	19
Figure 11 : Profils de charge.	20
Figure 12 : Éléments de conversion : (a) Contrôleur LORENTZ ; (b) Onduleur STP SMA.	22
Figure 13 : Coût cumulé des variantes GE, Solaire Stand-alone et/ou réseau ONEE.	22
Figure 14 : Coût cumulé des différentes variantes On-grid (Prix injection 0 DH/kWh).	23
Figure 15 : Coût cumulé des différentes variantes On-grid (Prix injection 0,45 DH/kWh).	23
Figure 16 : Coût cumulé des différentes variantes On-grid (Prix injection 0,90 DH/kWh).	24

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Pompes du Lot 1 [3].	7
Tableau 2 : Pompes du Lot 2 [3].	7
Tableau 3 : Exigences écologiques et culturelles du palmier dattier [5].	10
Tableau 4 : Besoins en eau journaliers des deux types de culture.	12
Tableau 5 : Puissances des pompes.	13
Tableau 6 : Avantages et inconvénients de l'utilisation des groupes électrogènes.	14
Tableau 7 : Avantages et inconvénients du raccordement au réseau.	14
Tableau 8 : Prix moyens de l'Électricité [7].	14
Tableau 9 : Avantages et inconvénients du pompage solaire.	15
Tableau 10 : Hauteur Manométrique Totale.	16
Tableau 11 : Résultats du dimensionnement avec COMPASS.	17
Tableau 12 : Quantités d'énergie consommée, produite, injectée et rachetée.	21
Tableau 13 : Comparaison des variantes (Prix injection 0 DH/kWh).	24
Tableau 14 : Comparaison des variantes (Prix injection 0,45 DH/kWh).	25
Tableau 15 : Comparaison des variantes (Prix injection 0,90 DH/kWh).	25

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Plan du réseau d'irrigation du Lot 1 [3].	28
Annexe 2 : Position des forages du projet Tamassint Lot 1 [3].	28
Annexe 3 : Plan du réseau d'irrigation du Lot 2 [3].	29
Annexe 4 : Position des forages du projet Tamassint Lot 2 [3].	29

PARTIE 1 : PRÉSENTATION DU PROJET ET MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE

1.1. OBJET

Ce document est le rapport de l'étude intitulée : **Étude technico-économique pour des installations de pompage solaire dans le cadre de l'extension des superficies des palmeraies pour l'exploitation du palmier dattier à Tamassint (Province d'Errachidia, Maroc).**

1.2. CONTEXTE GÉNÉRAL

Cette étude s'inscrit dans le cadre du **Projet RE-ACTIVATE** : "Promotion de l'emploi à travers les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique dans la région MENA", exécuté par la GIZ pour le compte du ministère fédéral allemand de la Coopération Économique et du Développement (BMZ). L'objectif du projet est de « soutenir les pays partenaires dans leur souci de maximiser les effets socio-économiques des énergies renouvelables (ER) et de l'efficacité énergétique (EE) - notamment en matière de création d'emploi, de formation initiale et continue et de valeur ajoutée locale - grâce au renforcement des capacités et au transfert ciblé de savoir-faire » [1].

Au Maroc, **RE-ACTIVATE** œuvre dans l'un des principaux secteurs de création d'emploi et de valeur ajoutée locale qui est le **secteur de l'agriculture (AGR) et de l'agro-alimentaire (IAA)**. Dans la Province d'Errachidia, RE-ACTIVATE vise à mettre en œuvre des projets de démonstration de pompage solaire et à réaliser des mesures de formation initiale et continue pour augmenter le potentiel de création de valeur locale.

Les partenaires locaux du projet RE-ACTIVATE dans la Province d'Errachidia sont :

- L'Agence Nationale pour le Développement des Zones oasiennes et de l'Arganier (ANDZOA) ;
- L'Office Régional de Mise en Valeur Agricole de la Région du Tafilalet (ORMVA) ;
- L'Agence pour le Développement Agricole (ADA) ;
- La Direction Régionale de l'Agriculture (DRA) - Région du Drâa-Tafilalet.

1.3. CONTEXTE SPÉCIFIQUE

La Province d'Errachidia et l'ANDZOA ont développé et soutenu le projet "Extension des superficies des palmeraies" qui a pour objet d'augmenter la surface de la palmeraie de quelque 126 ha [2]. L'organisme chargé de son exécution est l'ORMVA/Tafilalet. L'organisation professionnelle porteuse du projet est **l'Association Tamassint des Usagers des Eaux agricoles (ATUEA)**. Ce projet s'inscrit dans la lutte contre le chômage des jeunes et l'exode rural par la mise à disposition et la valorisation des terres collectives dans la province d'Errachidia [1].

L'association **ATUEA** dispose d'un terrain agricole de **260 ha** mis à sa disposition par l'État dans la région de Tamassint (Voir situation dans la Figure 1). Le terrain sera divisé en **54** exploitations modernes de **4,5 ha (autant que le nombre des jeunes membres de l'association)** qui seront plantés de palmiers dattiers et de maraîchage [3].



Figure 1 : Situation du projet Tamassint [1].

L'association **ATUEA** a achevé l'équipement en matériel d'irrigation localisée (goutte-à-goutte) du terrain et a procédé au forçage de **12 forages** et à leur équipement par des pompes immergées [3]. L'épierrage du terrain et la réalisation des trous pour la plantation de **260 ha** sont achevés. Deux bassins de stockage de l'eau de **40 000 m³** chacun ont été construits et **trois groupes électrogènes** ont été achetés. Les locaux techniques devant abriter les équipements hydro-agricoles sont aussi construits et l'association est en attente de trouver une solution au problème de l'énergie.

Les caractéristiques hydrauliques des électromécaniques des forages (F) et des pompes sont résumées dans les Tableaux 1 et 2 et dans la Figure 2 ci-dessous :

Tableau 1 : Pompes du Lot 1 [3].

Lot 1	Bassin 1			F1	F2	F3	F7	F8	F11
	Pompe 1	Pompe 2	Pompe 3						
Puissance des moto-pompes (kW)	37	30	45	13,0	22,0	11,0	15,0	13,0	24,5
Total des puissances	112			98,5					

Tableau 2 : Pompes du Lot 2 [3].

Lot 2	Bassin 2			F4	F5	F6	F9	F10	F12
	Pompe 1	Pompe 2	Pompe 3						
Puissance des moto-pompes (kW)	37	37	30	13,0	18,5	26,0	18,5	13,0	13,0
Total des puissances	104			104					

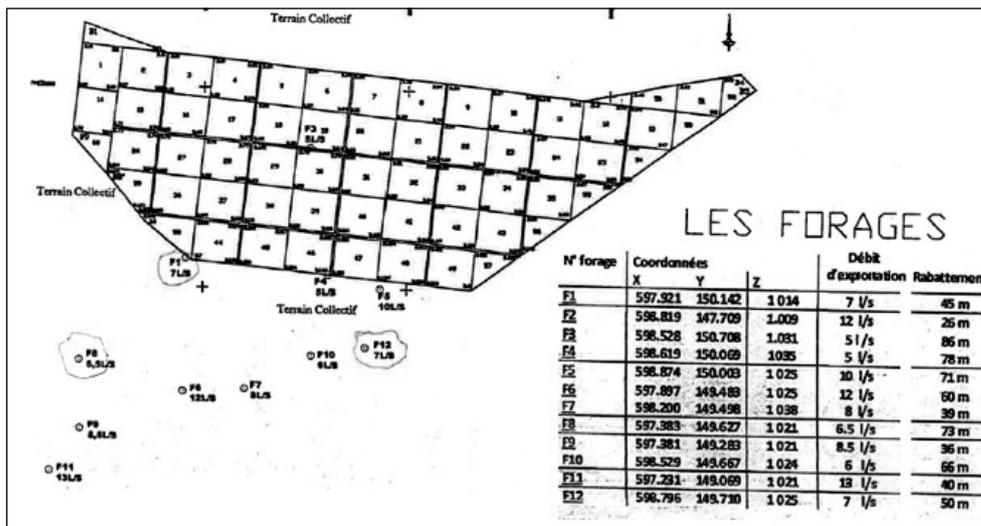


Figure 2 : Caractéristiques des forages [3].

L'association a besoin d'aide pour le branchement au réseau électrique national, l'acquisition de matériel de pompage solaire et la formation de ses membres à l'utilisation des équipements [3]. Des démarches ont été entreprises auprès des organismes de coopération internationale pour le renforcement du système d'irrigation.

La mesure de coopération proposée par la GIZ dans le cadre du projet RE-ACTIVATE consiste à **alimenter les installations existantes à Tamassint reposant sur des sources d'énergie fossile - par des pompes solaires.**

Il est à souligner que l'un des objectifs clés du projet RE-ACTIVATE pour cette mesure de coopération est d'élaborer un cursus de formation professionnelle adapté aux besoins des techniciens, électriciens et installateurs locaux et/ou des TPME locales. À l'issue de la formation, ces groupes cibles doivent être en mesure de maîtriser les spécifications techniques requises et d'offrir leurs services pour réaliser des installations de pompage solaire à Tamassint [1].

1.4. DOCUMENTS EXISTANTS

En plus des termes de référence de l'appel d'offres, l'association ATUEA et la GIZ mettront à la disposition du consultant chargé de l'étude les documents suivants :

- Étude et plans du système d'irrigation, réalisés par le Bureau d'Études et de Réalisations d'Irrigations et de Serres (**ERI- SER**) ;
- Rapport de l'étude technico-économique réalisée par l'entreprise **TEKNE** ;
- Les deux devis (estimatifs) des entreprises **NI2MA Group** et **IRRI-TER** pour la réalisation des systèmes de pompage solaire ;
- Descriptif du projet l'ADA - intitulé : « Projet : Extension du Palmier Dattier au Profit des Jeunes Agriculteurs de Tamassint » ;
- Étude et plans du système d'irrigation, réalisés par la société **KIRALMA** ;
- Feuilles de calcul des besoins en eau (**ORMVA – TF**) ;
- Devis de branchement de la société **NAAMAOUI-FRERES** ;
- Devis de branchement **ONEE** (Office National d'Eau et d'Électricité) ;
- Données et photos visite du site le **05/10/16**.

1.5. MODALITÉS D'EXÉCUTION DE L'ÉTUDE

En conformité avec les termes de références, les missions qui seront entreprises dans le cadre de l'étude sont :

> **Mission A : Étude des besoins en eau**

Il s'agit d'évaluer les études réalisées par ERISER et KIRALMA pour le profil de variation annuel des besoins en eau exprimés en m³/jour pour chaque mois de l'année. On tiendra compte de la répartition des cultures envisagées : palmier dattier (**75% soit 3 ha environ**) et maraîchage (**25% soit 1 ha environ**). On vérifiera le dimensionnement du réseau d'irrigation et surtout les puissances des pompes compte tenu des sources d'énergie envisageables : solaire, réseau public et groupes électrogènes. On tiendra compte de la contrainte importante de minimiser la consommation d'eau, étant donné le contexte de rareté de l'eau en zone oasienne.

> **Mission B : Analyse comparative des options d'approvisionnement en électricité, dimensionnement et concept technique, estimation des coûts**

On analysera sur les plans **technique** (conception et dimensionnement des équipements, contraintes d'exploitation, etc.) et financier (coût d'investissement et d'exploitation) les possibilités d'alimentation électrique du système d'irrigation constituées d'une combinaison des trois options suivantes : (1) utilisation de l'énergie solaire, (2) raccordement au réseau ONEE, et (3) utilisation d'un groupe électrogène au diesel. On déterminera la solution énergétique « **optimale** » qui consistera certainement en une **solution hybride** qui combine les 3 options mentionnées ci-dessus. La proposition technique préconisée sera soumise à l'approbation des bailleurs de fonds (ANDZOA, ADA) et aux intervenants tels que l'ONEE, l'ATUEA, etc.

> **Mission C : Estimation budgétaire**

Une fois la solution optimale approuvée, une estimation précise du coût global sera faite en tenant compte des évaluations et propositions émanant des membres de l'ATUEA.

> **Mission D : Étude socio-économique**

On procédera à la détermination de l'impact socio-économique du projet en termes notamment de création d'emploi (exploitation agricoles, techniciens d'installation et de maintenance) et de création de richesses locales (production de dattes et de légumes).

PARTIE 2 : RÉSULTATS DE L'ÉTUDE

2.1. ANALYSE DES BESOINS EN EAU ET DES RESSOURCES HYDRIQUES

2.1.1. Palmier dattier

Bien que cultivé dans les régions les plus chaudes et plus sèches du globe, le palmier dattier est toujours localisé aux endroits où les ressources hydriques sont suffisantes pour subvenir assez aux besoins des racines. Les besoins en eau dépendent de la nature du sol, des variétés ainsi que du bioclimat [4]. La période des grands besoins en eau du palmier se situe de la nouaison à la formation du noyau du fruit [4].

Les principales exigences écologiques et culturelles du palmier dattier sont données dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Exigences écologiques et culturelles du palmier dattier [5].

Adaptation climatique	Climat chaud, sec et ensoleillé
Zéro ou limite de végétation	7 à 45°C
Température maximale d'intensité végétale	32 - 38°C Température tolérée < 0°C, 50°C
Sensibilité au gel	Extrémités de palme : -6°C Toutes les palmes : -9°C
Durée de sécheresse tolérée	Plusieurs années mais croissance et production réduite
Besoins annuels en eau (moyenne)	15 000 à 20 000 m ³ /ha en fonction de la salinité et du type de sol
Pluies néfastes	Au moment de pollinisation et maturité des dattes
Concentration en sels tolérée • Arbre adulte : • Jeune palmier :	• 9 à 10 g/L d'eau d'irrigation mais diminution de la qualité de production • 3 à 6 g/L d'eau d'irrigation production
Adaptation pédologique	Tout type de sol mais mieux en sol léger, profond, à pH neutre

Les besoins en eau annuels du palmier dattier sont estimés en moyenne à 15 700 m³/ha soit 43 m³/ha/jour. La Figure 3 donne les besoins en eau journaliers du palmier dattier pour une superficie globale de 125,3 ha, selon le mois.

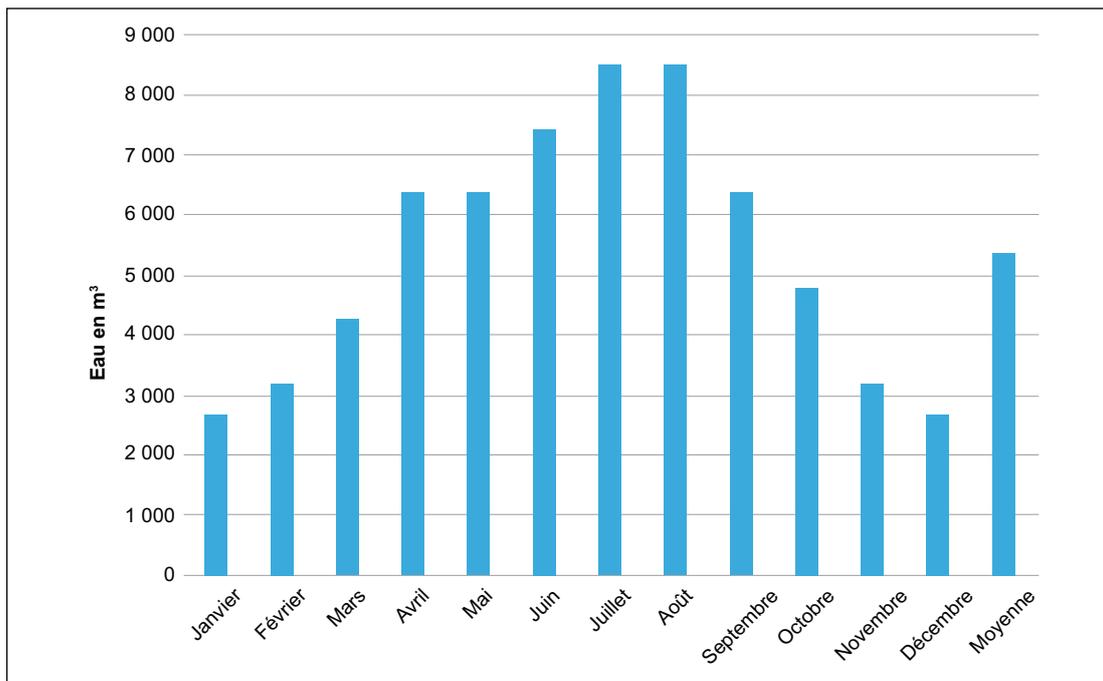


Figure 3 : Besoins journaliers en eau du palmier dattier au cours de l'année.

2.1.2. Maraîchage

Le maraîchage est une activité professionnelle qui consiste à produire et à vendre des légumes, certains fruits, herbes et fleurs à usage alimentaire. Les besoins annuels en eau du maraîchage sont évalués en moyenne à 5 650 m³/ha soit 15,5 m³/ha/jour. La Figure 4 montre les besoins en eau journaliers selon le mois du maraîchage pour une superficie globale de 41 ha.

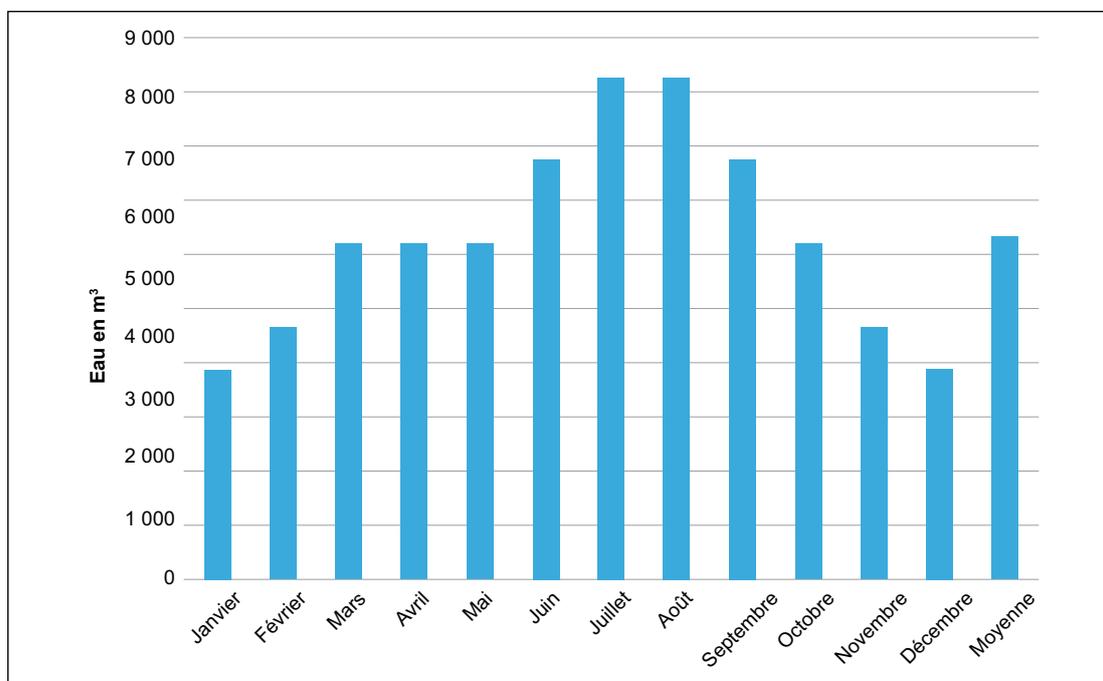


Figure 4 : Besoins journaliers en eau du maraîchage au cours de l'année.

Les besoins annuels globaux sont estimés à 36 m³/ha/j pour les deux types de culture. Les différentes valeurs mensuelles sont consignées dans le Tableau 4 avec une forte variation. Les mois de juillet et d'août représentent les besoins de pointe (100%).

Tableau 4 : Besoins en eau journaliers des deux types de culture.

Mois	Besoins (m ³ /j)	Ratio (m ³ /ha/j)	Variation (%)
Janvier	3 049	18	32
Février	3 659	22	39
Mars	4 879	29	52
Avril	7 009	42	74
Mai	7 009	42	74
Juin	8 228	49	87
Juillet	9 448	57	100
Août	9 448	57	100
Septembre	7 164	43	76
Octobre	5 412	32	57
Novembre	3 659	22	39
Décembre	3 049	18	32
Moyenne	5 998	36	63
Total	72 014		

Conclusions :

- Le calcul des besoins est conforme avec les formules utilisées dans le domaine de l'irrigation. Ces mêmes relations ont été utilisées dans les rapports des deux entreprises d'irrigation ERISER et KIRALMA pour évaluer les besoins de pointe en eau (mois de juillet) ;
- Les résultats sont compatibles avec les chiffres publiés et utilisés dans d'autres pays malgré les très grandes variations d'un pays à l'autre ;
- La variation mensuelle est très importante ;
- La dépendance aux eaux souterraines est due au faible niveau des précipitations pluviométriques.

2.1.3. Ressources hydriques et potentiel d'utilisation de l'énergie solaire

Le débit d'exploitation des 12 forages en 24 heures de fonctionnement est de 8 640 m³/j. Mais le pompage solaire ne fonctionne qu'environ 8 heures/jour. Les besoins durant les mois de pointe étant de 8 533 m³/j, le pompage solaire ne peut donc satisfaire que près de 30% des besoins énergétiques des pompes immergées (pompes de forages). Ceci montre la nécessité d'ajouter (creuser) d'autres forages pour pouvoir travailler le jour afin d'utiliser uniquement le solaire comme source d'énergie. Des études hydrologiques sont nécessaires pour ne pas surexploiter la nappe phréatique.

La station de reprise et de mise en pression est alimentée uniquement par les eaux souterraines de la nappe via des groupes motopompes immergés dans les 12 forages. Ces derniers refoulent l'eau vers deux bassins d'accumulation avec un volume global de 80 740 m³, puis l'eau est distribuée aux usagers par un réseau de canalisations sous pression, grâce à la station de reprise et de mise en pression (pompes de surface ou de bassins).

Le solaire peut satisfaire 100% des besoins énergétiques des pompes de la station de reprise et de mise en pression.

2.2. ANALYSE DES ÉQUIPEMENTS INSTALLÉS : POMPES ET RÉSEAU D'IRRIGATION

Les rapports des deux études réalisées par ERISER et KIRALMA ont été analysés pour vérifier leur dimensionnement des pompes et du réseau d'irrigation. Comme dans tous les projets agricoles avec pompage classique (électricité/diesel), ces équipements sont déterminés pour les besoins maximums (juillet) et à terme (arbres adultes). Les puissances sont donc surdimensionnées pour les premières années et les mois d'hiver.

Dans les deux rapports, le niveau dynamique de l'eau n'a pas été évalué, ce qui influence énormément le calage des pompes. La Hauteur Manométrique Totale (HMT) est basée sur la profondeur de calage, ce qui est une deuxième source de surdimensionnement des systèmes.

Les puissances des différentes pompes ont été vérifiées en prenant des rendements moteur et pompe de **75,6%** et de **96%**, respectivement (Tableau 5). Les détails de calcul de la HMT sont donnés dans le Tableau 9.

Tableau 5 : Puissances des pompes.

	Lot1		
	N° Forage	Puissance de la pompe (kW)	Puissance Théorique (kW)
	F1	13,0	11,5
	F2	22,0	23,3
	F3	11,0	7,6
	F7	15,0	13,5
	F8	13,0	11,7
	F11	24,5	21,4
		98,5	88,9
	N° Pompe du Bassin 1	Puissance de la pompe (kW)	Puissance Théorique (kW)
	B1-1	37,0	31,9
	B1-2	30,0	34,2
	B1-3	45,0	31,9
		112,0	98,0
	N° Forage	Puissance de la pompe (kW)	Puissance Théorique (kW)
	Lot2		
		F4	13,0
	F5	18,5	19,5
	F6	26,0	24,4
	F9	18,5	18,1
	F10	13,0	12,0
	F12	13,0	11,7
	Total	102,0	95,2
	N° Pompe du Bassin 2	Puissance de la pompe (kW)	Puissance Théorique (kW)
	B2-1	37,0	28,6
	B2-2	37,0	25,2
	B2-3	30,0	22,1
	Total	104,0	76,0
	Total général	416,5	358,1

2.3. SOURCES D'ÉNERGIES NON RENOUVELABLES

Dans les projets de pompages, les sources d'énergie classiques sont : le réseau électrique public et groupes électrogènes au diesel. Les avantages et les inconvénients de l'utilisation des groupes électrogènes à diesel sont synthétisés dans le Tableau 6. Les opportunités et les contraintes dues à l'utilisation de l'électricité sont résumées dans le Tableau 7.

Tableau 6 : Avantages et inconvénients de l'utilisation des groupes électrogènes.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Faible coût d'investissement environ 1 500 DH/ kVA • Court délai de mise en œuvre 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût d'exploitation très élevé environ 2,5 à 3 DH/kWh [6] • Difficultés de maintenance et d'approvisionnement • Polluant et bruyant

Tableau 7 : Avantages et inconvénients du raccordement au réseau.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Coût d'exploitation modéré 0,81 DH/kWh en MT • Maintenance et approvisionnement faciles 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût d'investissement élevé environ 4 500 à 7 000 DH pour des puissances comprises entre 500 et 100 kVA • Long délai de mise en œuvre

Le devis établi par l'ONEE est de **7,5 MDH** dont les travaux représentent **83%** et les frais d'installation **17%**, celui indiqué par l'entreprise **Naamaoui-Frères** est de **3 MDH**.

Au Maroc, aujourd'hui le prix moyen de l'électricité produite par l'ONEE toutes utilisations confondues est de **1,05 DH/kWh**. Le Tableau 8 résume les différents prix moyens :

Tableau 8 : Prix moyens de l'Électricité [7].

Utilisation	Prix moyen (DH/kWh)
Basse Tension	1,31
Moyenne Tension	0,81
Haute Tension et Très Haute Tension	0,90

2.4. ÉTUDE DU POMPAGE SOLAIRE EN STAND ALONE

2.4.1. Principe du pompage solaire (immergé et surface)

Les principaux éléments qui constituent un système de pompage solaire sont : (16) les panneaux photovoltaïques (PV), (5) le câble électrique submersible, (1) le contrôleur et (2) la pompe submersible.

Les éléments secondaires sont : (3) le stilling tube, (4) le capteur de niveau d'eau, (6) la tige de mise à la terre, (7) le surge protector, (8) le câble de suspension de protection, (9) le capteur de pression, (10) le débitmètre, (11) le flotteur, (12) la boîte de protection électrique, (13) la boîte de raccordement, (14) la boîte de jonction, (15) le capteur sun switch, (16) les panneaux PV. Le schéma de principe est représenté au niveau de la Figure 5.

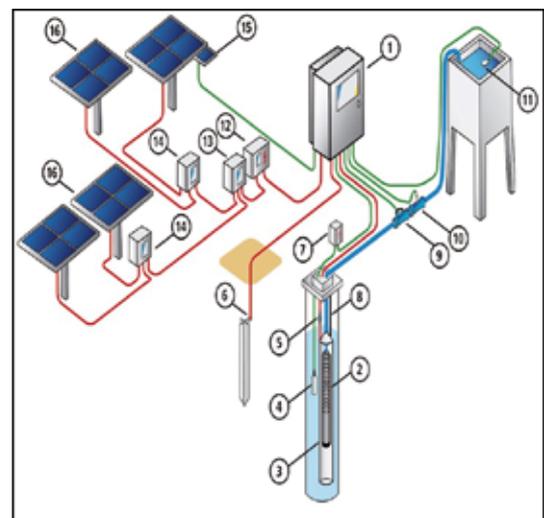


Figure 5 : Pompage à partir d'une pompe immergée pour remplissage du bassin.

Pour la station de reprise et de mise en pression, les mêmes éléments sont gardés, la principale différence se situe au niveau de la pompe immergée qui est remplacée par une pompe de surface (Figure 6).

2.4.2. Potentiel solaire

Les opportunités et les contraintes de l'utilisation du pompage solaire sont données dans le Tableau 9. Le coût d'investissement du kWc comprend uniquement les panneaux PV, le contrôleur ou l'onduleur et le câblage.

Tableau 9 : Avantages et inconvénients du pompage solaire.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Coût d'exploitation très faible • Maintenance et approvisionnement faciles • Système modulaire et évolutif 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessité d'irriguer le jour

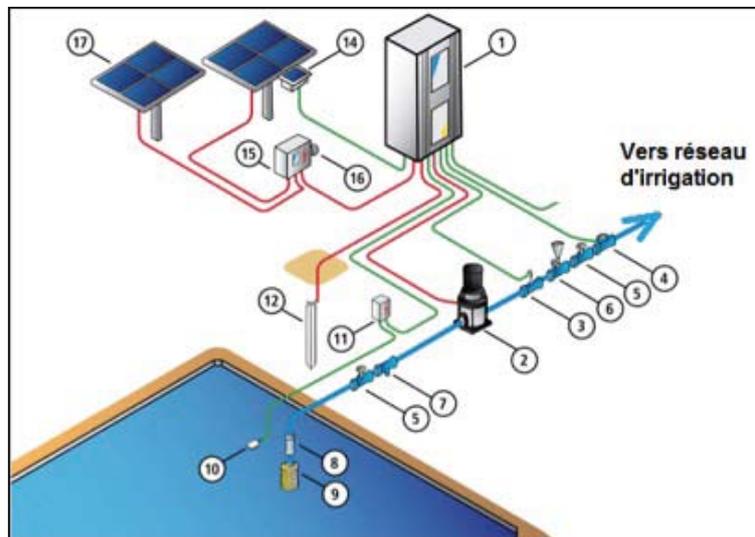


Figure 6 : Pompage à partir d'une pompe de surface pour irrigation.

2.4.3. Dimensionnement

Le dimensionnement des pompes solaires est fait en utilisant le logiciel de LORENTZ COMPASS qui permet de définir la pompe, la puissance des panneaux et les différents accessoires ainsi que la configuration. La conception du système de pompage solaire requiert la connaissance de trois éléments fondamentaux :

- Les coordonnées du site pour en déduire l'ensoleillement horaire,
- La hauteur manométrique totale (HMT) à vaincre par la pompe, exprimée en m. Les données doivent tenir compte des pertes de charge dans les conduites et des différences de niveaux entre le bassin et la profondeur dynamique de l'eau dans les forages ou puits.
- Le besoin quotidien en eau exprimé en m³/jour.

Les HMT utilisées proviennent des formules classiques et sont résumées dans le Tableau 10 et le besoin quotidien correspond au débit d'exploitation du forage.

Tableau 10 : Hauteur Manométrique Totale.

Lot 1	N° Forages	Rabattement (mCE)	Calage (mCE)	Niveau Statique (mCE)	Pertes (mCE)	HMT (mCE)
	F1	45,0	104,0	59,0	17,5	121,5
	F2	26,0	80,0	54,0	63,4	143,4
	F3	86,0	102,0	16,0	9,8	111,8
	F7	39,0	97,0	58,0	28,0	125,0
	F8	73,0	100,0	27,0	33,4	133,4
	F11	40,0	85,0	45,0	36,6	121,6
	Moyenne					126,1
	N° Bassins	Pression aval Station tête (mCE)	Pertes aspiration (mCE)	Pertes charge Station tête (mCE)	Autre (mCE)	HMT (mCE)
	B1	28,5	0,0	8,0	0,0	51,5
	B2	32,2	0,0	8,0	0,0	55,2
B3	45,0	0,0	8,0	0,0	68,0	
Moyenne					58,3	
Lot 2	N° Forages	Rabattement (mCE)	Calage mCE)	Niveau statique (mCE)	Pertes (mCE)	HMT (mCE)
	F4	78,0	90,0	12,0	49,6	139,6
	F5	71,0	106,0	35,0	38,3	144,3
	F6	60,0	90,0	30,0	60,5	150,5
	F9	36,0	80,0	44,0	77,9	157,9
	F10	66,0	100,0	34,0	48,5	148,5
	F12	50,0	80,0	30,0	43,4	123,4
	Moyenne					144,0
	N° Bassins	Pression aval Station tête (mCE)	Pertes aspiration (mCE)	Pertes charge Station tête (mCE)	Autre (mCE)	HMT (mCE)
	B1	23,7	0,5	8,0	0,0	46,2
	B2	18,2	0,5	8,0	0,0	40,7
B3	24,7	0,5	8,0	0,0	47,2	
Moyenne					44,7	

Le Tableau 11 donne les résultats de dimensionnement avec le logiciel COMPASS.

Tableau 11 : Résultats du dimensionnement avec COMPASS.

Lot 1	N° Forages	D. Solaire (m³/j)	D. Max (m³/j)	D. Min (m³/j)	D. Moyen (m³/j)	Puissance (Wc)	Nombre Panneaux	Pmax	P. Contrôleur (kW)
	F1	201,6	161,0	98,0	131,0	17 160	66	18,5	15,0
	F2	345,6	289,0	182,0	237,0	32 760	126	30,0	30,0
	F3	144,0	120,0	79,0	102,0	11 960	46	11,0	11,0
	F7	230,4	185,0	117,0	153,0	19 760	76	18,5	15,0
	F8	187,2	147,0	87,0	117,0	17 940	69	18,5	15,0
	F11	374,4	315,0	204,0	262,0	29 900	115	30,0	30,0
	Total	1 483,2	1 217,0	767,0	1 002,0	129 480	498	127	116
	N° Bassins	D. Solaire (m³/j)	D. Max (m³/j)	D. Min (m³/j)	D. Moyen (m³/j)	Puissance (Wc)	Nombre Panneaux	Pmax	P. Contrôleur (kW)
	B1	1 319,9	1 085,0	815,0	972,0	49 400	190	30,0	
B2	1 319,9	1 045,0	775,0	931,0	49 400	190	30,0	30,0	
B3	999,9	905,0	648,0	805,0	49 400	190	30,0		
Total	3 639,7	3 035,0	2 238,0	2 708,0	148 200	570	90	30,0	
Lot 2	N° Forages	D. Solaire (m³/j)	D. Max (m³/j)	D. Min (m³/j)	D. Moyen (m³/j)	Puissance (Wc)	Nombre Panneaux	Pmax	P. Contrôleur (kW)
	F4	144,0	143,0	113,0	132,0	20 800	80	11,0	15,0
	F5	288,0	258,0	199,0	234,0	34 600	134	18,5	18,5
	F6	345,6	276,0	175,0	221,0	32 760	126	30,0	30,0
	F9	244,8	233,0	177,0	212,0	34 600	134	18,5	18,5
	F10	172,8	120,0	69,0	92,0	17 900	69	18,5	15,0
	F12	201,6	158,0	100,0	126,0	17 160	66	18,5	15,0
	Total	1 396,8	1 188,0	833,0	1 017,0	157 820	609	115,0	112,0
	N° Bassins	D. Solaire (m³/j)	D. Max (m³/j)	D. Min (m³/j)	D. Moyen (m³/j)	Puissance (Wc)	Nombre Panneaux	Pmax	P. Contrôleur (kW)
	B1	1 319,9	1 095,0	826,0	983,0	49 400	190	30,0	
	B2	1 319,9	1 095,0	826,0	983,0	49 400	190	30,0	
	B3	999,9	1 095,0	826,0	983,0	49 400	190	30,0	30
	Total	3 639,7	3 285,0	2 478,0	2 949	148 200	570	90,0	30,0
	Total général				10 159,0		583 700	2 247	422,0

2.4.4. Performance

La performance du système doit satisfaire les besoins à terme (arbres à l'âge adulte) :

- Les pompes de surface représentent près de 30% des besoins en énergie, le solaire peut satisfaire tous les besoins à condition d'ajouter une pompe supplémentaire.
- Les pompes immergées représentent près de 70% des besoins en énergie, le solaire ne peut pas satisfaire tous les besoins à cause de la limite du débit d'exploitation des forages.

Les Figures 7 et 8 donnent les performances du système avec 25, et 100% des besoins en eau, respectivement.

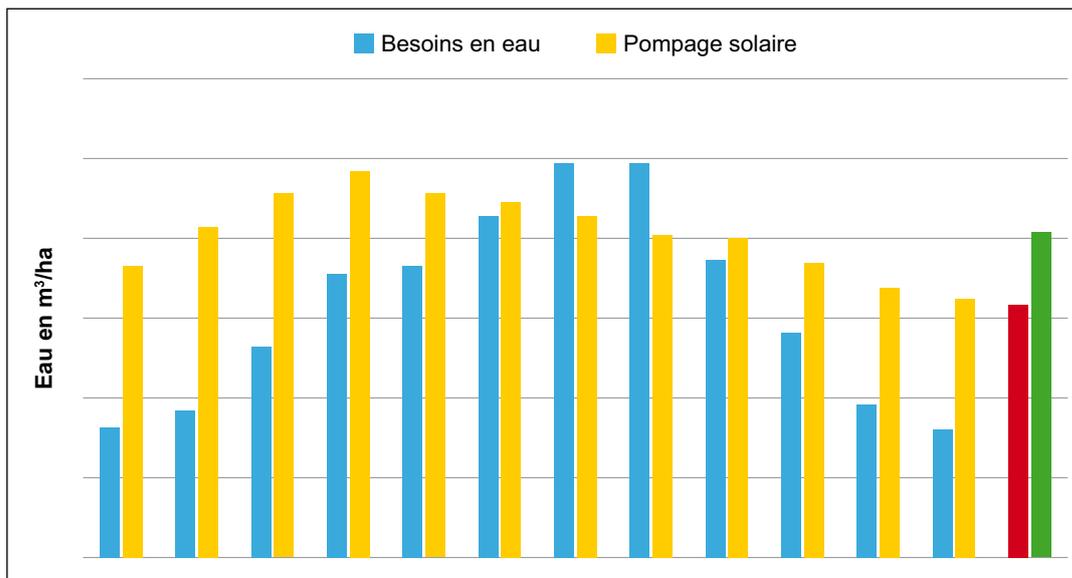


Figure 7 : Apport du pompage solaire et 25% des besoins en eau (m³/j).

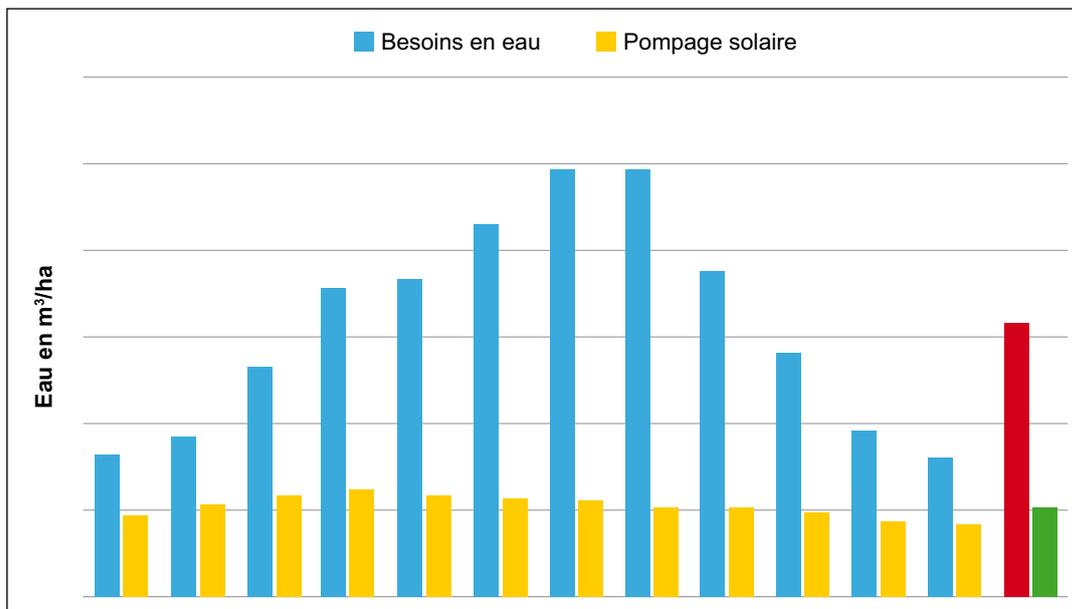


Figure 8 : Apport du pompage solaire et 100 % des besoins en eau (m³/j).

Conclusions :

- À cause des débits d'exploitation des forages limités, il est nécessaire de pomper pendant des heures non ensoleillées, ce qui rend nécessaire de faire l'appoint par une autre source d'énergie (branchement au réseau ONEE ou utilisation d'un groupe électrogène). La solution du stockage par batteries reste actuellement encore trop chère ;
- Pour travailler exclusivement avec l'énergie solaire sans batteries, il est impératif de creuser 36 autres forages supplémentaires à équiper en solaire à partir de la deuxième année, pour un coût de 300 000 DH/forage sans les équipements solaires.

La Figure 9 montre les frais mensuels d'exploitation que payera chaque agriculteur selon la source d'appoint durant les 4 premières années. Les prix unitaires utilisés sont 0,9 DH/kWh pour l'électricité et 9 DH/Litre pour le gasoil avec des taux d'augmentation de 3% et d'actualisation de 8% (chiffres valables dans les autres parties de l'étude).

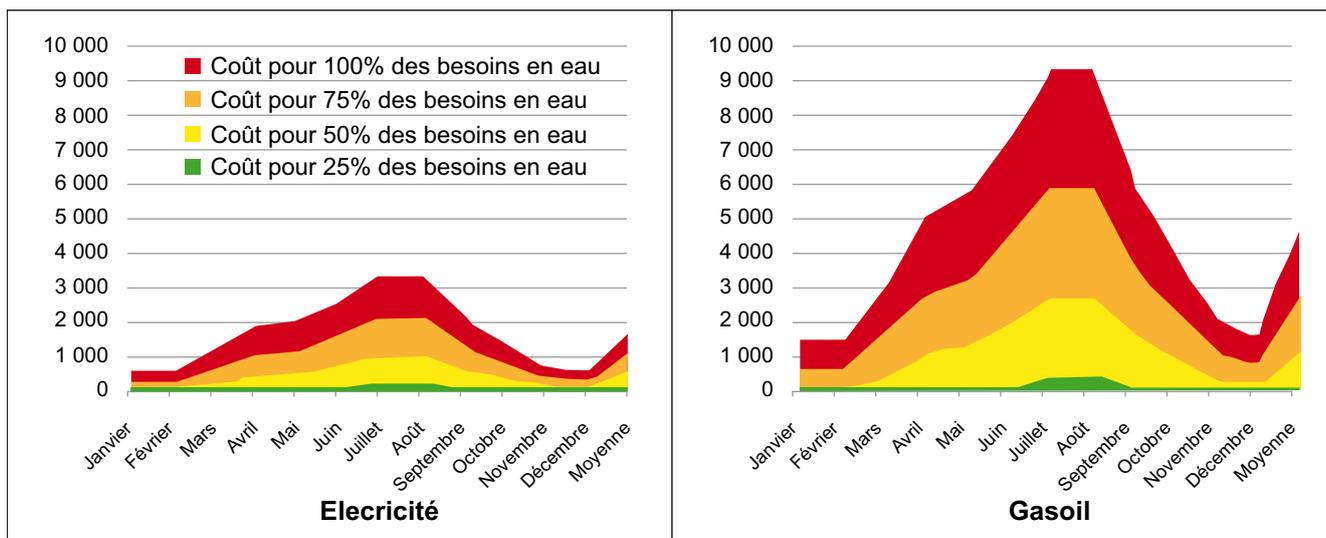


Figure 9 : Coût mensuel par agriculteur selon la source d'appoint.

2.5. ÉTUDE DES SYSTÈMES SOLAIRES PV RACCORDÉS AU RÉSEAU

2.5.1. Principe d'un système PV raccordé au réseau « on-grid » et ses avantages

Le système on-grid ou système à injection ou système raccordé au réseau représenté dans la Figure 10 est composé principalement des panneaux photovoltaïques (1) qui génèrent l'électricité à partir du rayonnement solaire ; onduleurs à injection (2) qui transforment le courant continu en provenance des panneaux en courant alternatif. Il a aussi pour rôle de gérer l'énergie tirée du réseau public en fonction de la demande interne ; accessoires électriques (3) qui isolent ou protègent le réseau PV ; et les compteurs (4).

Le système on-grid n'a pas besoin de produire 100% de la demande d'électricité. Lorsque les panneaux solaires ne produisent pas assez d'énergie (la nuit ou un jour nuageux), l'électricité du réseau supplée ou remplace l'électricité produite par les panneaux. Quand il n'y a pas de demande d'énergie, l'énergie électrique produite est injectée dans le réseau.

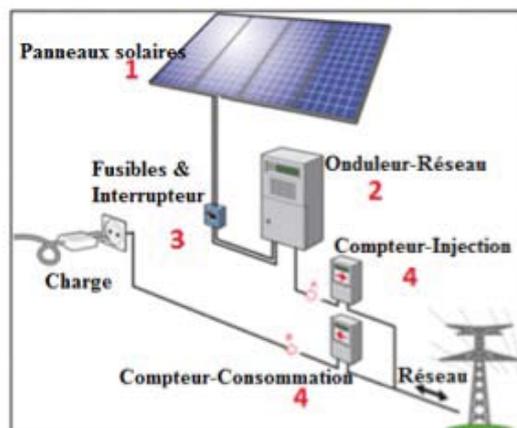


Figure 10 : Principe de production de l'électricité avec le système on-grid en basse et moyenne tension [8].

Les avantages du système on-grid sont :

- Niveau de fiabilité élevée ;
- Suppression des batteries qui sont très coûteuses et qui ont une durée de vie limitée ;
- Possibilité d'injection dans le réseau public et, dans certains cas, de revendre l'électricité produite en excès avec un tarif de rachat intéressant.

Dans beaucoup de pays, l'injection de l'électricité produite à partir d'un système PV dans le réseau public est permise, et des tarifs de rachat qui dépendent de la puissance du système, et du niveau d'intégration au bâti ou des schémas de comptage différentiel (net-metering) sont appliqués [7].

Au Maroc, la loi 13-09 prévoit d'ouvrir le marché aux investisseurs privés. Dans ce projet, il est intéressant d'étudier un système on-grid avec différents scénarios sur le prix de rachat de l'électricité.

2.5.2. Dimensionnement d'un système PV raccordé au réseau

Le dimensionnement d'un système PV raccordé au réseau requiert une bonne connaissance de la courbe de charge qui traduit la variation horaire de la puissance appelée en fonction de la demande. Nous avons supposé des profils de charge mensuels qui répondent aux besoins de puissance des différentes pompes afin de satisfaire les besoins en eau (Figure 11).

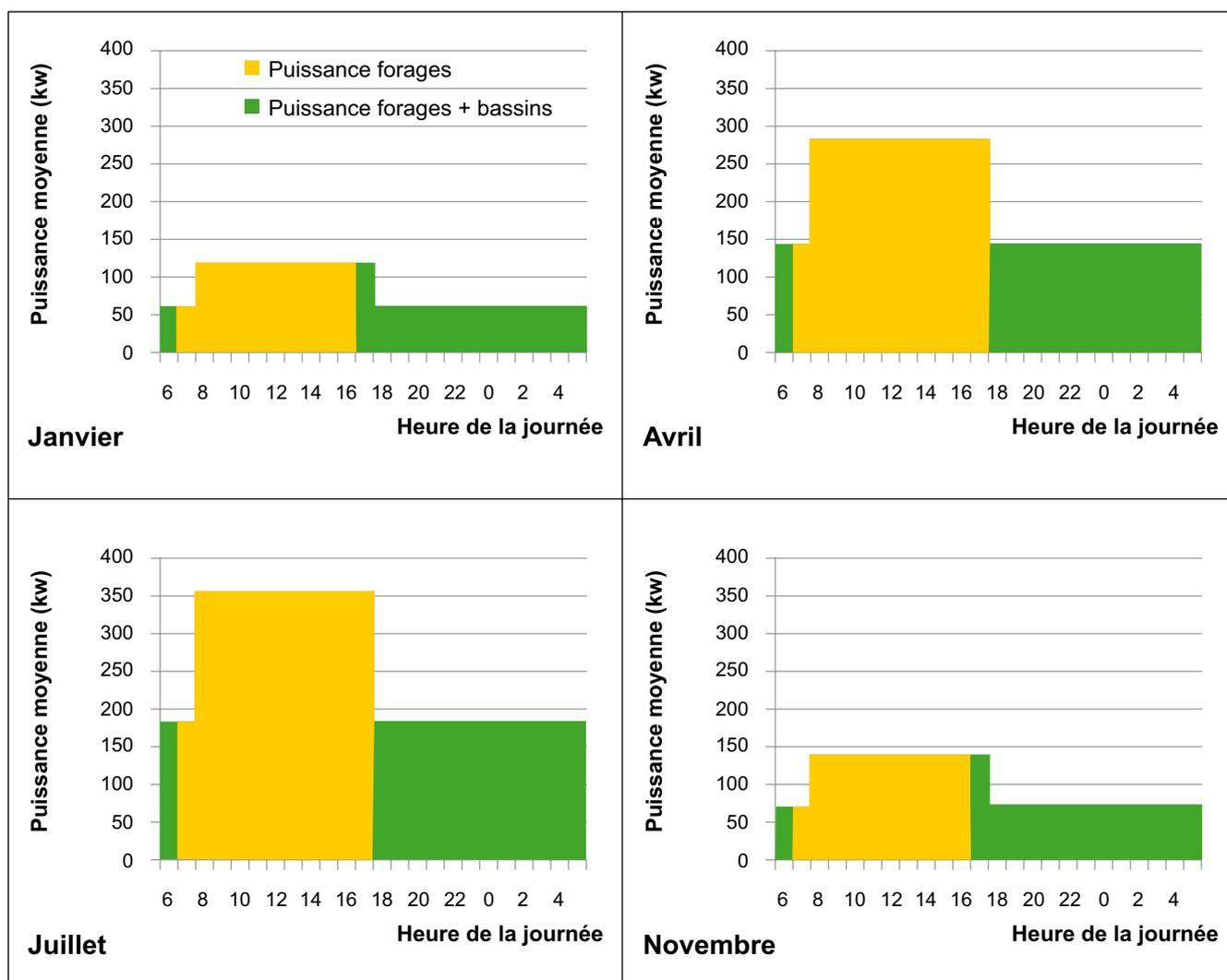


Figure 11 : Profils de charge.

À partir de ces profils, une installation de 200 kWc permet de produire, d'injecter et d'acheter les différentes quantités d'énergie synthétisées dans le Tableau 12 en utilisant les besoins énergétiques à terme.

Tableau 12 : Quantités d'énergie consommée, produite, injectée et rachetée.

	Énergie consommée	Énergie produite	Énergie injectée	Énergie achetée
Janvier	63 679	25 907	203	37 975
Février	66 794	27 794	251	39 251
Mars	101 887	32 230	-	69 657
Avril	132 632	33 727	-	98 905
Mai	141 621	33 977	-	107 644
Juin	160 908	32 931	-	127 977
Juillet	190 921	33 720	-	157 201
Août	190 921	32 230	-	158 692
Septembre	140 091	29 598	-	110 493
Octobre	120 111	27 912	-	92 199
Novembre	71 565	24 325	-	47 239
Décembre	52 794	22 977	1 327	31 144
Moyenne	119 494	29 777	148	89 865
Total	1 433 923	357 329	1 782	1 078 376

2.6. COMPARAISON DES VARIANTES D'APPROVISIONNEMENT EN ÉNERGIE

Plusieurs variantes ont été étudiées avec une seule ou deux sources d'énergie.

2.6.1. Variante à une seule d'énergie

Les variantes à une seule source d'énergie pour alimenter en électricité les pompes de forages et de bassins sont :

- Le raccordement au réseau ONEE ;
- L'utilisation de groupes électrogènes (GE) au diesel ;
- L'énergie solaire uniquement (à condition de creuser des forages supplémentaires).

2.6.2. Variante hybride

Les variantes comportant au moins deux sources d'énergie pour alimenter principalement les pompes de forages durant les périodes nuageuses ou non ensoleillées sont :

- La combinaison hybride : Solaire Stand-alone + Réseau ONEE ;
- La combinaison hybride : Solaire Stand-alone + Groupes électrogènes au diesel ;
- La combinaison hybride : Solaire On-grid + Réseau ONEE.

La différence fondamentale entre le solaire Stand-alone et le solaire On-grid se trouve au niveau de l'élément de conversion du courant continu en courant alternatif. Dans le premier cas, un contrôleur capable de fonctionner sans le réseau est utilisé tandis que dans le second cas, un onduleur dont le fonctionnement requiert la présence d'un réseau électrique est utilisé (Figure 12).

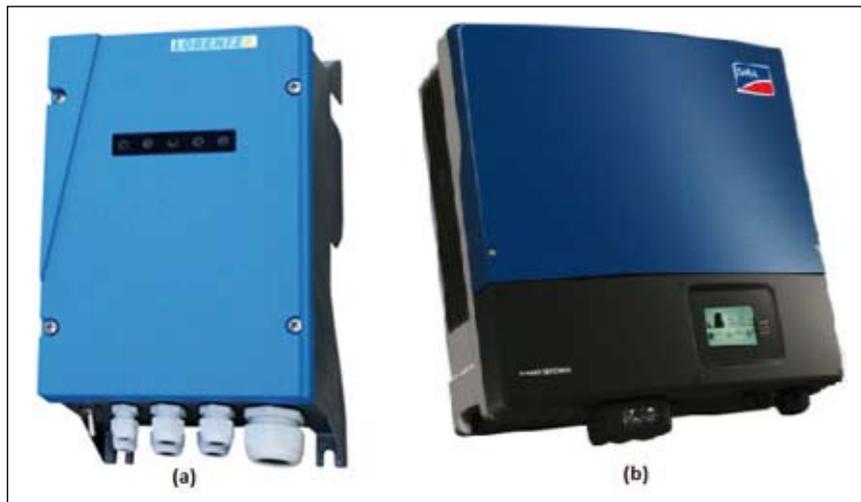


Figure 12 : Éléments de conversion : (a) Contrôleur LORENTZ ; (b) Onduleur SMA.

2.6.3. Critères de comparaison

Afin de comparer les différentes variantes d’approvisionnement en énergie, nous avons utilisé :

- Le coût cumulé sur 20 ans ;
- Le coût d’exploitation (frais mensuels supportés par chaque agriculteur) et ;
- Le coût d’investissement.

Le coût cumulé sur 20 ans de la variante hybride (solaire Stand-alone + réseau ONEE) est le plus intéressant économique même si son investissement est très élevé (Figure 13).

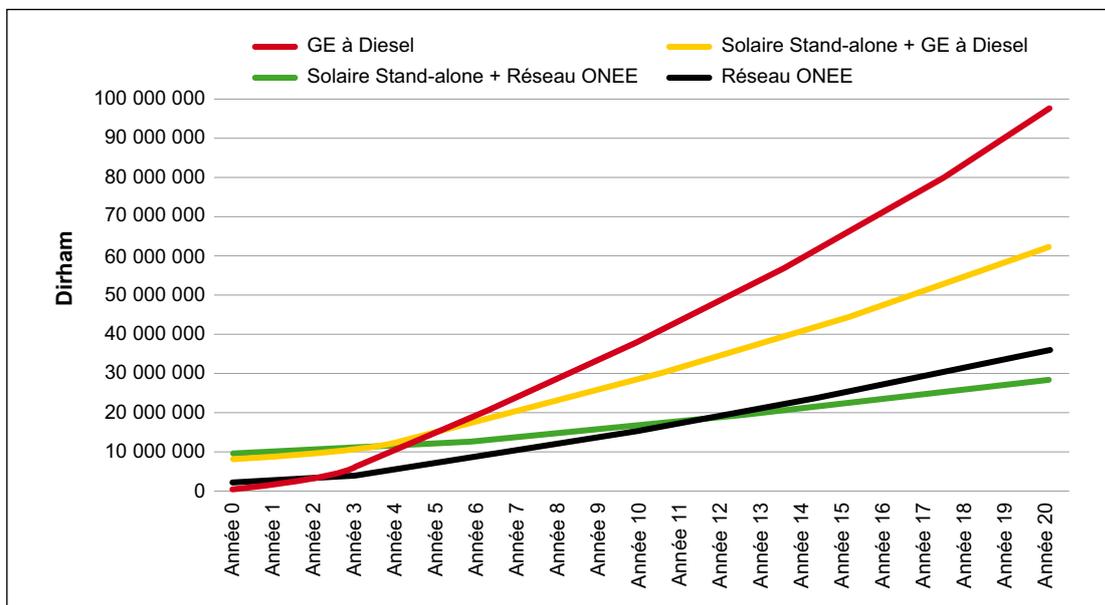


Figure 13 : Coût cumulé des variantes GE, Solaire Stand-alone et/ou réseau ONEE.

La combinaison (On-grid + Réseau ONEE) avec différentes puissances PV est analysée, la puissance optimale est d’environ 474 kWc en appliquant un tarif d’injection nul (Figure 14).

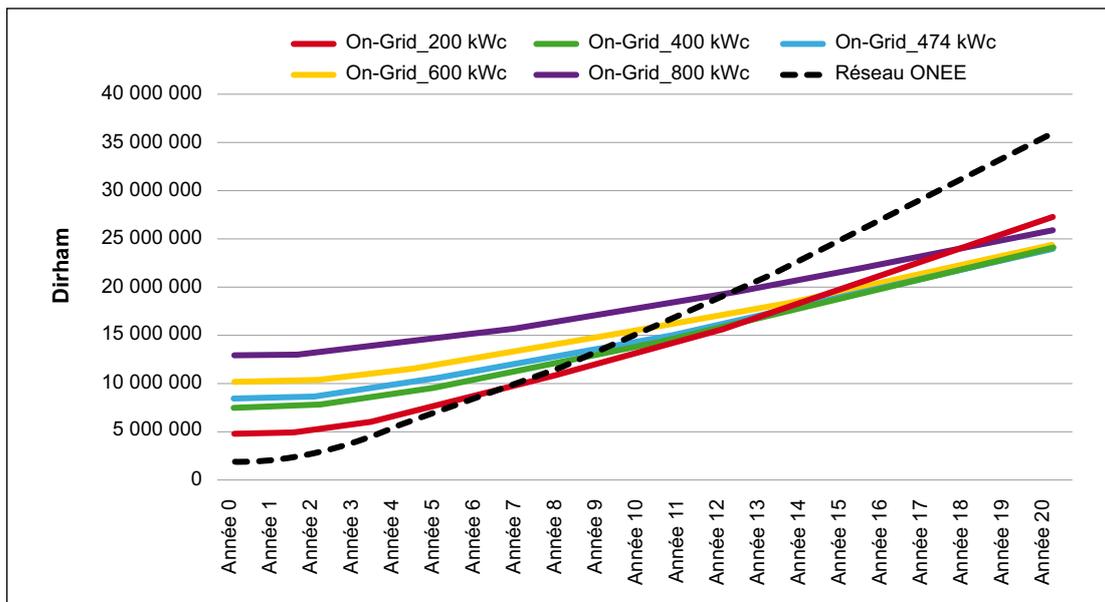


Figure 14 : Coût cumulé des différentes variantes On-grid (Prix injection 0 DH/kWh).

Cette puissance optimale a tendance à augmenter si le prix de l'injection est non nul. Avec un prix d'injection de 0,45 DH/kWh (la moitié du prix du réseau ONEE) ou de 0,9 DH/kWh (net-metering), le système On-grid devient plus intéressant que les options citées précédemment (Figures 15 et 16).

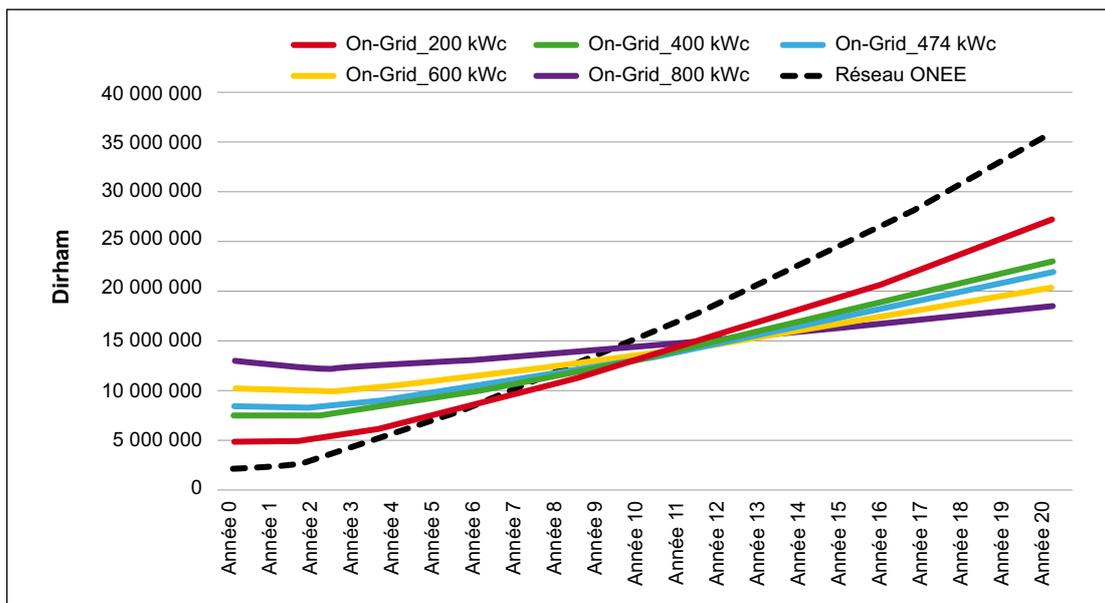


Figure 15 : Coût cumulé des différentes variantes On-grid (Prix injection 0,45 DH/kWh).

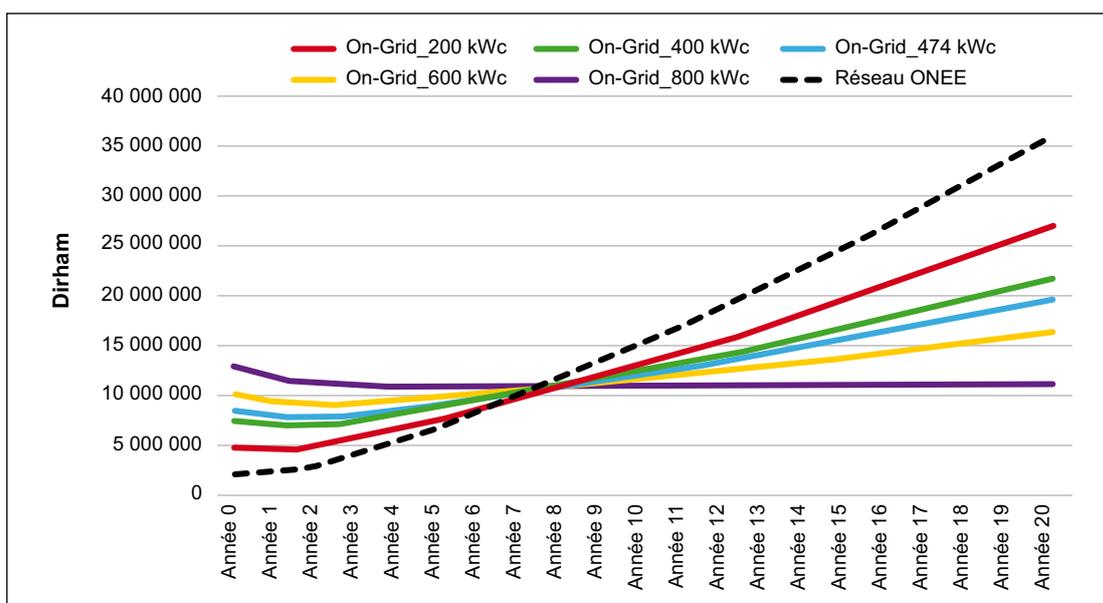


Figure 16 : Coût cumulé des différentes variantes On-grid (Prix injection 0,90 DH/kWh).

2.7. IDENTIFICATION DE LA VARIANTE OPTIMALE

Les différentes options sont comparées afin de déterminer la solution optimale en se basant sur les frais mensuels supportés par chaque agriculteur et du budget du projet (environ 8 MDH) qui limite l'investissement (Tableaux 13 à 15).

Tableau 13 : Comparaison des variantes (Prix injection 0 DH/kWh).

	VARIANTES SOLAIRE STAND-ALONE				VARIANTES SOLAIRE ON-GRID + RÉSEAU ONEE				
	Option 1a : Solaire Stand-alone + Réseau	Option 2a : Solaire Stand-alone + Diesel	Option 3a : Réseau	Option 4a : Diesel	Option 1b : On-grid 200 kWc	Option 2b : On-grid 400 kWc	Option 3b : On-grid 474 kWc	Option 4b : On-grid 600 kWc	Option 5b : On-grid 800 kWc
Investissement (MDH)	9,7	8,5	2,0	0,7	4,7	7,4	8,4	10,1	12,8
Facture 1	21	60	666	1 887	255	227	222	218	214
Facture 2	366	1 037	1 372	3 887	691	526	505	486	468
Facture 3	959	2 715	2 120	6 005	1 285	930	873	812	763
Facture 4	1 659	4 699	2 911	8 247	1 948	1 467	1 352	1 220	1 116
Facture 5	1 708	4 840	2 998	8 495	2 007	1 511	1 392	1 257	1 149
Facture 10	1 980	5 611	3 476	9 848	2 326	1 751	1 614	1 457	1 332
Facture 15	2 296	6 504	4 030	11 416	2 697	2 030	1 871	1 689	1 544
Facture 20	2 662	7 540	4 672	13 235	3 127	2 354	2 169	1 958	1 790
Coût 20 ans (MDH)	28,6	61,9	36,0	97,1	27,2	24,3	24,0	24,2	25,8

Tableau 14 : Comparaison des variantes (Prix injection 0,45 DH/kWh).

	VARIANTES SOLAIRE STAND-ALONE				VARIANTES SOLAIRE ON-GRID + RÉSEAU ONEE				
	Option 1a : Solaire Stand-alone + Réseau	Option 2a : Solaire Stand-alone + Diesel	Option 3a : Réseau	Option 4a : Diesel	Option 1b : On-grid 200 kWc	Option 2b : On-grid 400 kWc	Option 3b : On-grid 474 kWc	Option 4b : On-grid 600 kWc	Option 5b : On-grid 800 kWc
Investissement (MDH)	9,7	8,5	2,0	0,7	4,7	7,4	8,4	10,1	12,8
Facture 1	21	60	666	1 887	129	-181	-293	-481	-778
Facture 2	366	1 037	1 372	3 887	652	265	142	-59	-373
Facture 3	959	2 715	2 120	6 005	1 272	781	637	409	71
Facture 4	1 659	4 699	2 911	8 247	1 947	1 383	1 206	937	562
Facture 5	1 708	4 840	2 998	8 495	2 005	1 425	1 242	965	579
Facture 10	1 980	5 611	3 476	9 848	2 325	1 652	1 440	1 119	671
Facture 15	2 296	6 504	4 030	11 416	2 695	1 915	1 670	1 297	778
Facture 20	2 662	7 540	4 672	13 235	3 124	2 220	1 936	1 504	902
Coût 20 ans (MDH)	28,6	61,9	36,0	97,1	27,1	23,0	21,9	20,3	18,4

Tableau 15 : Comparaison des variantes (Prix injection 0,90 DH/kWh).

	VARIANTES SOLAIRE STAND-ALONE				VARIANTES SOLAIRE ON-GRID + RÉSEAU ONEE				
	Option 1a : Solaire Stand-alone + Réseau	Option 2a : Solaire Stand-alone + Diesel	Option 3a : Réseau	Option 4a : Diesel	Option 1b : On-grid 200 kWc	Option 2b : On-grid 400 kWc	Option 3b : On-grid 474 kWc	Option 4b : On-grid 600 kWc	Option 5b : On-grid 800 kWc
Investissement (MDH)	9,7	8,5	2,0	0,7	4,7	7,4	8,4	10,1	12,8
Facture 1	21	60	666	1 887	2	-589	-808	-1 180	-1 771
Facture 2	366	1 037	1 372	3 887	612	4	-221	-605	-1 213
Facture 3	959	2 715	2 120	6 005	1 260	633	401	6	-621
Facture 4	1 659	4 699	2 911	8 247	1 945	1 300	1 061	654	8
Facture 5	1 708	4 840	2 998	8 495	2 004	1 339	1 092	674	9
Facture 10	1 980	5 611	3 476	9 848	2 323	1 552	1 266	781	10
Facture 15	2 296	6 504	4 030	11 416	2 693	1 799	1 468	905	12
Facture 20	2 662	7 540	4 672	13 235	3 121	2 085	1 702	1 049	13
Coût 20 ans (MDH)	28,6	61,9	36,0	97,1	27,0	21,7	19,7	16,4	11,1

Au terme de notre analyse, les deux options qui sont économiquement viables sont le solaire Stand-alone + Réseau ONEE qui sera obligatoire dès la deuxième année ou un système On-grid avec une puissance de 474 kWc bien que l'injection risque d'être nulle du fait des contraintes législatives. L'exécution de la première solution prendra quelques mois (4 à 6), tandis que la seconde pourrait durer plus longtemps en raison de la lenteur des procédures de branchement au réseau ONEE. Le budget la seconde option est également moins cher d'environ 13,4%.

D'autres facteurs peuvent influencer la décision des responsables de l'ORMVA-TF et de l'ANDZOA à qui revient le choix final de l'option à adopter.

2.8. ESTIMATION BUDGÉTAIRE DE LA VARIANTE OPTIMALE

Une fois la solution optimale approuvée, une estimation précise du coût global sera faite en tenant compte des évaluations et propositions émanant de l'ORMVA-TF, de l'ANDZOA et des membres de l'ATUEA.

2.9. IMPACT SOCIO-ÉCONOMIQUE DU PROJET

L'installation du système de pompage permettra la mise en marche et l'exploitation effective du projet d'extension de la Palmeraie de Tafilalet à Tamassint. Rappelons que les objectifs fixés par les initiateurs du projet (ANDZOA et ORMAVA-TF) sont :

- Augmentation de la superficie de palmier de 125,3 ha ;
- Amélioration des conditions de vie des agriculteurs ;
- Création d'emplois au niveau des exploitations.

Pour les **emplois agricoles**, nous avons estimé qu'en plus des 42 membres de l'association (jeunes diplômés dont 9 femmes), les exploitations créeront au moins 42 autres postes d'aides gérants et quelques 15 000 journées de travail saisonnier (récoltes).

Le projet d'installation de systèmes de pompage solaire permettra la création d'emploi dans le domaine de **l'énergie solaire**. Les travaux d'installation et de mise en service des stations de pompage solaire créeront quelques 40 postes pendant les 6 à 8 mois que prendront ces travaux. Il est prévu également de faire profiter quelque 20 installateurs locaux spécialisés en énergie solaire d'une formation pratique ou de perfectionnement.

Une partie de ces installateurs (4 à 5) prendront en charge à long terme les travaux de maintenance des stations de pompage solaire.

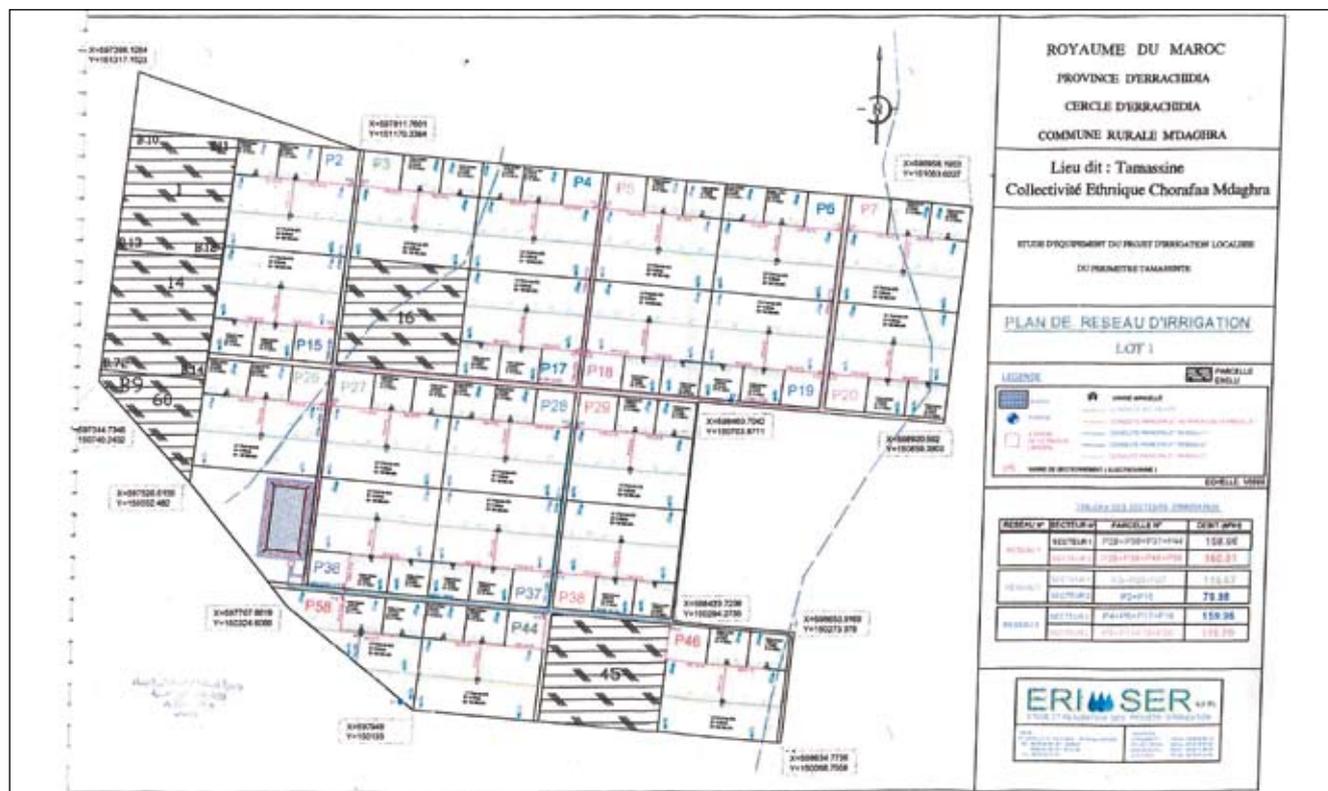
- Estimation emploi court terme (installation) ;
- Estimation emploi long terme (opération et maintenance) ;
- Possibilités d'impact socio-économique pour la région (local added value).

RÉFÉRENCES

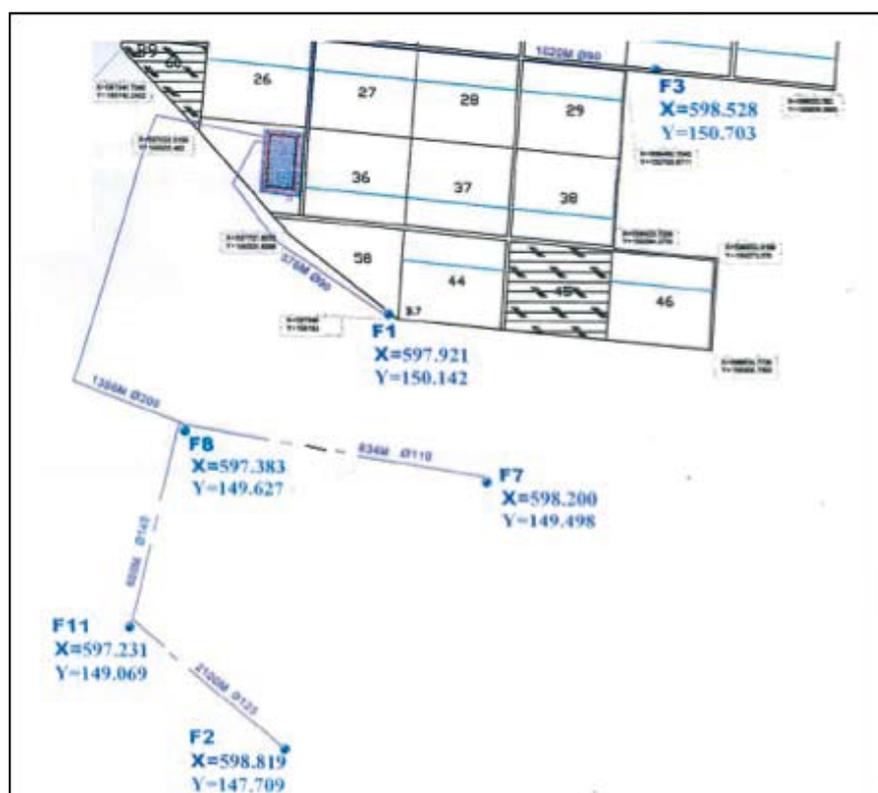
- [1] GIZ. Termes de référence du projet Étude technico-économique pour des installations de pompage solaire dans le cadre de l'extension des superficies des palmeraies pour l'exploitation du palmier dattier à Tamassint (Province d'Errachidia, Maroc).
Pour le compte du Projet **RE-ACTIVATE PN : 2013.2020.9.001.00**
- [2] Document du projet "Extension du palmier dattier au profit des jeunes agriculteurs de Tamassint".
- [3] Document de l'Association Tamassint des Usagers de l'Eau Agricole (ATUEA).
- [4] A. Bessas, Dosage biochimique des composés phénoliques dans les dattes et le miel récoltés dans le sud algérien, Mémoire à l'université Djillali Liabes -Sidi Bel Abbes, 2008.
- [5] M. H. Sedra, Le palmier dattier base de la mise en valeur des oasis au Maroc : techniques phoénicoles et création d'oasis, INRA-Éditions : Division de l'Information et de la Communication, 2003. ISBN : 9981-1994-3-5.
- [6] A. C. Jimenez, and T. Lawand, Renewable Energies for Rural Schools, Published by the National Renewable Energy Laboratory, 2000.
- [7] R. Haselhuhn, and U. Hartmann, The Photovoltaic Guide, Edisun Power, 2012.
- [8] N. Mbodji, A. hajji, A. Heddouch, and K. Ababou, 2015, Optimal Design, Field Performance and Impact of Energy Legislation on the Cost Effectiveness of a Domestic On-Grid Photovoltaic System in Morocco, 3rd International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC), Marrakech, IEEE Xplore Digital Library. DOI: 978-1-4673-7894-9/15.

ANNEXES

Annexe 1 : Plan du réseau d'irrigation du Lot 1 [3].



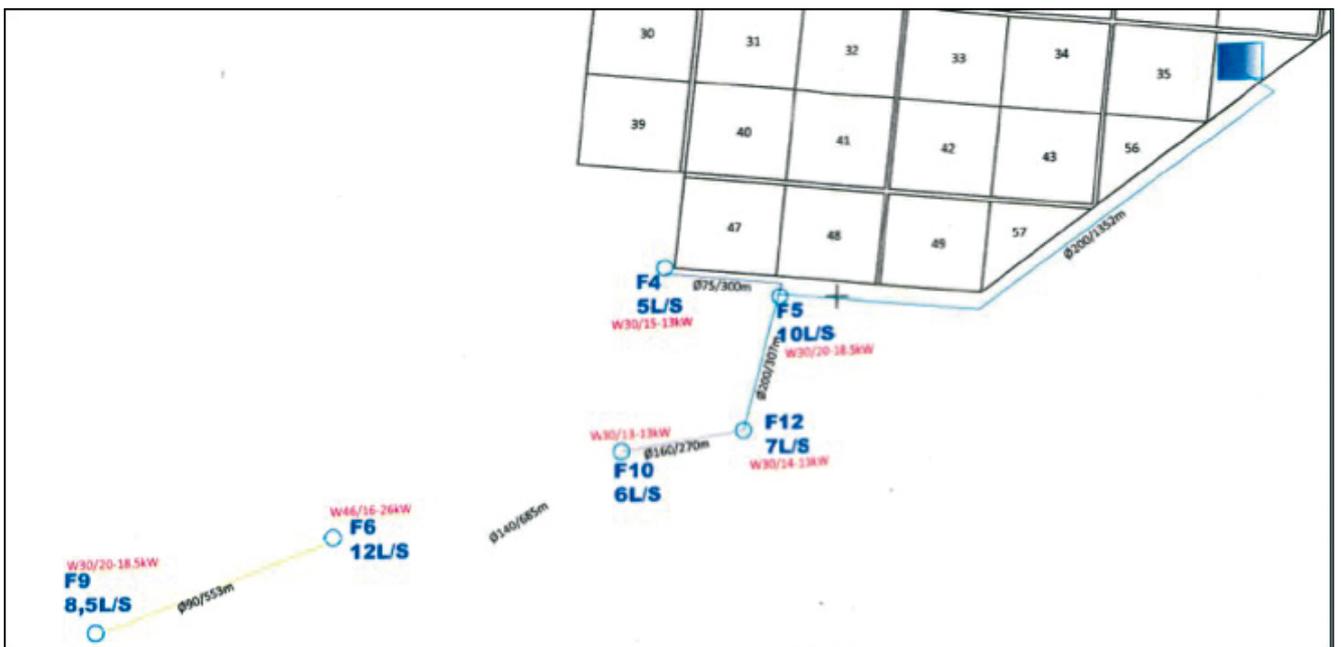
Annexe 2 : Position des forages du projet Tamassint Lot 1 [3].



Annexe 3 : Plan du réseau d'irrigation du Lot 2 [3].



Annexe 4 : Position des forages du projet Tamassint Lot 2 [3].





Réalisé par :

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH