**Irrigation solaire accessible, fiable et abordable pour l'Europe et au-delà**

# Livrable 2.2

# MANUEL POUR LES AGRICULTEURS

Ce projet est financé par le programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union Européenne dans le cadre de la convention de subvention n° 952879.

# Information sur le document

| PROJET | | | |
|---|---|---|---|
| **Intitulé du projet :** | **Irrigation solaire accessible, fiable et abordable pour l'Europe et au-delà** | | |
| **Intitulé du projet :** | **SolaQua** | **Numéro du projet :** | 952879 |
| **Date du début du projet :** | **1er Octobre 2020** | **Date de fin du projet :** | 36 mois |
| **Cadre de financement :** | **Horizon 2020 – Action de coordination et d'appui (CSA)** | | |
| **Coordinateur du projet :** | **Universidad Politécnica de Madrid (UPM)** | | |

| LIVERABLE | | | |
|---|---|---|---|
| **Titre du livrable :** | **D2.2 Manuel pour les agriculteurs** | | |
| **Date contractuelle de livraison :** | 30 Septembre 2021 | **Date effective de livraison :** | 30 Sept. 2021 |
| **WP :** | WP2: Production des KEMT | **Coordinateur du WP** | UPM |
| **Partenaire responsable** | UPM | **Partenaire impliqués** | UPM, UEVORA, UNISS, EIC, CPMR, CONAF, IAV |
| **Type :** | Rapport | **Niveau de dissémination :** | Publique |
| **Version:** | 1.0 | | |

**Avertissement**

Les informations et opinions exprimées dans ce rapport ne représentent pas la position officielle de la Commission Européenne et relèvent entièrement de la responsabilité des auteurs.

Ce projet est financé par le programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union Européenne dans le cadre de la convention de subvention n° 952879.

# Sommaire

SOMMAIRE ..... 2
1. Introduction ..... 3
1.1. SolaQua en bref ..... 3
1.2. Objectif et portée ..... 4
1.3. A propos de ce document ..... 4
2. Contexte ..... 5
3. Systèmes d'irrigation PV ..... 7
3.1. Types de systèmes d'irrigation PV ..... 8
3.2. Le besoin de systèmes hybrides ..... 10
3.3. Est-il possible de vendre de l'électricité au réseau national ? ..... 11
4. Préoccupations typiques des systèmes d'irrigation PV ..... 12
5. Un modèle de financement unique ..... 15
6. Garanties techniques, économiques et légales ..... 16
7. SolaQua joint promotion ..... **Erreur ! Signet non défini.**
8. Do you want to know more about PV irrigation systems? ..... 17
9. References ..... 18

# Acronyms

| | |
|---|---|
| **EU** | Union Européenne |
| **CF** | Convertisseur de fréquence |
| **FENAREG** | Fédération Portugaise des Associations d'Irrigation |
| **FENACORE** | Fédération Espagnole des Communautés d'Irrigation |
| **ISINPA** | Irrigants, PME, Investisseurs et Pouvoirs Publics |
| **KEMT** | Matériels et outils clés |
| **MP** | Motopompe |
| **ER** | Énergie Renouvelable |
| **IS** | Irrigation Solaire |
| **PME** | Petite et Moyenne Entreprise |
| **WP** | Work Package |
| **PV** | Photovoltaique |
| **PVIS** | Systèmes d'Irrigation Photovoltaique |

Ce projet est financé par le programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union Européenne dans le cadre de la convention de subvention n° 952879.

# SOMMAIRE

Ce manuel pour les agriculteurs, développé dans le cadre du projet SolaQua, présente des informations sur les systèmes d'irrigation solaire d'une manière conviviale.

Le document décrit les différents types de systèmes d'irrigation photovoltaïques (SIPV), ainsi les démarches de choix de ces systèmes. Il présente également les principales caractéristiques du modèle financier proposé par le projet comme exemple à adapter pour le Maroc.

Enfin, l'action commune de SolaQua est présentée, ainsi que des informations sur la façon d'en savoir plus sur SIPV et le projet SolaQua.

Ce projet est financé par le programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union Européenne dans le cadre de la convention de subvention n° 952879.

# 1. Introduction

## 1.1. SolaQua en bref

L'objectif global de SolaQua est d'augmenter la part de la consommation d'énergies renouvelables (ER) en Europe en facilitant l'adoption par le marché des systèmes d'irrigation photovoltaïques (SIPV) dans le secteur agricole. PVIS est basé sur une combinaison de technologie photovoltaïque (PV), d'ingénierie hydraulique et de techniques de gestion de l'eau à haute efficacité pour optimiser l'agriculture irriguée.

Le consortium de SolaQua, qui représente plus de 70% des irrigants européens, est conscient du potentiel du SIPV pour améliorer de manière décisive la durabilité des communautés agricoles et rurales en Europe. Néanmoins, pour atteindre ce potentiel, il est nécessaire de surmonter les obstacles existants à l'adoption du SI par le marché. Pour ce faire, SolaQua accélérera la transition énergétique propre dans l'agriculture européenne en facilitant le développement d'un marché performant pour le SI. Cela se fera en produisant et en exploitant un ensemble de 7 instrument et outils clés pour l'accompagnement des acteurs de l'irrigation solaire (KEMT) et en créant des opportunités de sensibilisation, de compétences, d'action, d'engagement et d'adhésion (SCAEA) parmi plus de 150 000 agriculteurs, 70 PME locales et 40 entreprises administrations publiques en Europe et au-delà.

La réalisation de SolaQua entraînera non seulement une réduction du coût du SIPV pour les agriculteurs, mais également la disponibilité de normes efficaces pour les consommateurs et la protection de l'environnement, des politiques et des programmes de soutien plus efficaces et de nouvelles opportunités commerciales pour les PME. De plus, pour exploiter les résultats du projet et déclencher le marché du SIPV, SolaQua facilitera une promotion conjointe de plus de 100 MW de SIPV fiable et abordable menée par les utilisateurs finaux eux-mêmes : les agriculteurs.

Pour atteindre l'objectif global d'augmenter la part des ER dans le secteur agricole européen en facilitant l'adoption du SIPV sur le marché, SolaQua a fixé les 5 objectifs spécifiques suivants :

1. **Produire et diffuser un ensemble de 7 KEMT**, conçus pour résoudre les problèmes techniques, économiques et juridiques qui constituent des obstacles à l'adoption du SI par le marché.
2. **Sensibiliser et développer les compétences du SIPV** parmi les groupes cibles dans six pays (France, Italie, Espagne, Roumanie, Portugal et Maroc). Au moins 150000 utilisateurs finaux potentiels seront atteints, 70 PME seront formées et 38 autorités publiques seront en mesure de produire des politiques et des programmes de soutien mieux informés.
3. **Stimuler le marché européen du SIPV** en facilitant une promotion conjointe d'au moins 100 MW de SIPV, en exploitant les KEMT de SolaQua et dirigé par les publics cibles engagés dans le PVIS en raison des actions de diffusion et de communication du projet.
4. **Accroître l'efficacité des d'aide public aux investissements dans les exploitations pour la promotion du SIPV** : SolaQua produira un nouvel instrument financier du Fonds Agraire Européen pour le Développement Rural (FEADR) qui sera mis en œuvre dans 3 régions européennes et soutiendra plus de 40 MW de nouvelle capacité SIPV.
5. **Faciliter l'adoption par le marché de SIPV fiables et abordables sur les marchés en dehors de l'UE**, ce qui se traduira non seulement par une coopération accrue, mais

Ce projet est financé par le programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union Européenne dans le cadre de la convention de subvention n° 952879.

également par des opportunités commerciales pour les PME et les investisseurs européens.

## 1.2. Objectif et portée

Ce document se présente comme un manuel pour les agriculteurs développé dans le cadre du projet SolaQua. Il comprend des informations détaillées sur les SIPV de manière conviviale.

En lisant ce document, les agriculteurs auront suffisamment d'informations pour leur permettre d'identifier quel type de SIPV est le plus adapté à leurs besoins et comment choisir entre les différentes offres. Il contient également des informations concernant l'action commune de SolaQua.

## 1.3. A propos de ce document

Après cette brève introduction, ce document comprend un historique sur l'importance des systèmes d'irrigation PV, ainsi qu'une description de ce type de systèmes. Ensuite, une liste de préoccupations/mythes typiques sur les SIPV est décrite, suivie d'une brève description du modèle financier SolaQua. Les garanties techniques, économiques et juridiques sont brièvement évoquées. Le document se termine par une description de la promotion conjointe SolaQua.

Ce projet est financé par le programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union Européenne dans le cadre de la convention de subvention n° 952879.

## 2. Contexte

Les prix de l'électricité photovoltaïque (PV) ont baissé en dessous de 1 DH/kWh [1], ce qui signifie que le PV est actuellement en mesure de rivaliser avec presque toutes les autres sources d'énergie et dans presque tous les scénarios. Par conséquent, le problème général de l'ingénierie photovoltaïque peut être compris comme le problème de l'adaptation des caractéristiques du photovoltaïque à une application spécifique. Actuellement, les systèmes photovoltaïques deviennent de plus en plus attrayants pour le marché des systèmes d'irrigation de grande puissance, car l'énergie est un facteur clé pour les services d'irrigation.

Traditionnellement, la majeure partie de l'irrigation au Maroc consistait en un système gravitaire à canal ouvert qui consomme une énorme quantité d'eau et presque aucune énergie [1]. Des systèmes d'irrigation plus efficaces sont mis en œuvre au Maroc grâce à la conversion de ce type de systèmes à des systèmes localisés (dans lesquels la consommation d'eau est réduite au prix d'une consommation d'énergie croissante) ) [2] [2], [3], [4], [5]. Le Maroc est donc un bon exemple représentatif de cette modernisation. Selon le Ministère de l'Agriculture, la reconversion à l'irrigation localisée a été réalisée sur plus de 600000 ha dans cadre du plan Maroc Vert et atteindra plus de 900000 ha à l'horizon 2030 dans le cadre de la stratégie Génération Green.

Cette modernisation a non seulement augmenté l'efficacité et la productivité de l'eau, mais a également amélioré le fonctionnement et l'entretien des systèmes d'irrigation et amélioré les conditions de travail des agriculteurs [4]. Néanmoins, cela a également augmenté à la fois les coûts d'investissement et la demande d'énergie [4]. En conséquence, des coûts énergétiques plus élevés sont actuellement observés dans les exploitations agricoles.

De plus, l'augmentation des prix de l'énergie affecte également négativement la faisabilité de l'agriculture en Europe du Sud [7], [8]. En Espagne, le prix de l'énergie pour l'irrigation a augmenté en raison de la libéralisation du marché de l'électricité en 2003 et de la suppression des tarifs spéciaux d'irrigation en 2008 [2]. Selon la FENACORE, le prix de l'électricité pour les Communautés d'Irrigants a augmenté de 1250% de 2008 à 2013 [9]. De même, au Portugal, le marché de l'électricité a également été libéralisé, les contrats saisonniers d'électricité ont été supprimés en 1983 et une remise de 40 % et un programme appelé « Electricité verte » ont pris fin en 2005 [10]. De 1999 à 2014, la part énergétique de la facture d'électricité a augmenté de 25 % [10].

A titre d'exemple, en Espagne, le prix moyen du terme de puissance à lui seul a augmenté de 288% de 2008 à 2014 [2]. Au Portugal, de 1999 à 2014, les tarifs de l'électricité uniquement pour l'utilisation du système ont augmenté de 773 % [10]. Actuellement, les tarifs élevés des termes fixes de la facture d'électricité (qui doivent être payés pour les 12 mois de l'année même si le système n'est utilisé que pendant 6 mois) représentent 20 à 30% de la facture d'électricité au Portugal [3]. Le profil saisonnier de l'irrigation se reflète dans la consommation d'électricité. Par exemple, au Portugal, une étude réalisée par la FENAREG (la Fédération portugaise des associations d'irrigation), en partenariat avec IMValores sv et Green Egg, a révélé que 90 % de la consommation annuelle d'électricité pour l'irrigation se situe entre avril et septembre (avec juillet et août étant responsable de 61 %) [3].

Suite à la tendance à l'augmentation des grandes exploitations, des puissances plus élevées sont actuellement nécessaires. En outre, compte tenu de la modernisation de l'agriculture au Maroc, une plus grande consommation d'énergie et donc des coûts énergétiques plus élevés deviennent un problème critique. En conséquence, l'agriculture productive doit diminuer ses coûts pour garantir la pérennité du secteur et permettre la compétitivité, tout en réduisant l'impact environnemental de la production d'électricité.

Ce projet est financé par le programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union Européenne dans le cadre de la convention de subvention n° 952879.

Comme indiqué dans [11], des projets de recherche et développement sont nécessaires pour promouvoir l'utilisation de systèmes photovoltaïques autonomes de grande puissance pour l'irrigation à la fois pour les communautés d'irrigants et les exploitations privées. Selon la FENAREG, le plus grand défi actuel du secteur agricole est de réduire la facture énergétique associée au pompage de l'eau [12]. Trois solutions sont proposées par la FENAREG : le retour à des tarifs d'électricité saisonniers contractés, la véritable libéralisation du marché de l'électricité et un programme national de mise en œuvre de systèmes d'énergies renouvelables [13]. En ce qui concerne cette dernière recommandation, la FENAREG a fait appel au gouvernement portugais, en mai 2018, pour créer un soutien spécifique à l'installation de systèmes photovoltaïques dans le secteur public de l'irrigation (par exemple, à travers la politique agricole commune ou le PDR2020) [12]. La FENAREG considère que le PV peut contribuer à la réduction des coûts d'irrigation [12].

Dans ce cadre, les utilisateurs finaux (agriculteurs, agro-industries et communautés d'irrigants) recherchent des alternatives à leurs sources d'énergie conventionnelles (réseau national et générateurs diesel [14]) qui satisfont leurs besoins de grande puissance à des coûts raisonnables, assurant la rentabilité de leurs exploitations [2].

Par ailleurs, on peut souligner qu'en 2014 les pompes électriques d'irrigation ont consommé environ 62 TWh dans le monde [15], l'Europe du Sud représentant près de 40 % de cette consommation [16], ce qui signifie un marché potentiel de 16 GWc de systèmes d'irrigation photovoltaïques dans cette région [17].

De même, le nord de l'Afrique est aussi un marché très intéressant. Par exemple, au Maroc, en 2011, les terres irriguées représentaient 16 % de la surface agricole utilisée [18] et, en 2009, 15% de l'énergie consommée dans le pays était consacrée à l'agriculture et à la foresterie [19]. Selon le ministère de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, cité dans [17], la consommation électrique annuelle dans cette région est estimée à 2500 GWh, ce qui conduit à un marché potentiel du système d'irrigation photovoltaïque de 1,5 GWc.

Les systèmes d'irrigation PV de grande puissance deviennent ainsi plus attractifs pour surmonter le problème de l'augmentation de la consommation d'énergie et des coûts d'électricité.

Ce projet est financé par le programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union Européenne dans le cadre de la convention de subvention n° 952879.

# 3. Systèmes d'irrigation PV

Traditionnellement, les systèmes de pompage photovoltaïques de petite puissance, typiquement moins de 40 kW, ont été appelés Pompage Solaire ou Irrigation Solaire. Cette petite puissance servait à fournir de l'eau potable et à irriguer de petites surfaces, mais elle ne satisfaisait pas les besoins des irrigants professionnels. Les solutions de forte puissance n'étaient techniquement réalisables que si elles étaient hybridées au réseau ou si des batteries étaient incorporées, mais elles étaient économiquement irréalisables en raison de leur prix élevé.

L'Université Polytechnique de Madrid (UPM) a développé des solutions qui ont permis d'étendre la puissance des systèmes de pompage solaire à celle requise par les irrigants, en résolvant les problèmes liés aux intermittences de l'énergie photovoltaïque sans avoir besoin de batteries et sans s'hybrider avec le réseau électrique et en économisant jusqu'à 70 % des coûts d'électricité pour les agriculteurs. Pour le distinguer des systèmes précédents, ils ont été appelés systèmes d'irrigation PV autonomes de grande puissance, en abrégé systèmes d'irrigation PV (SIPV). Les SIPV ont été démontrés à échelle réelle et en conditions réelles de fonctionnement dans le projet européen MASLOWATEN (www.maslowaten.eu).

Un système d'irrigation PV est généralement composé d'un générateur PV, d'un convertisseur de fréquence (CF), d'une pompe centrifuge standard et d'un bassin d'eau et/ou d'un réseau d'irrigation (Figure 1) [20]. Ces systèmes n'intègrent pas de batteries et le réseau n'est pas strictement nécessaire.

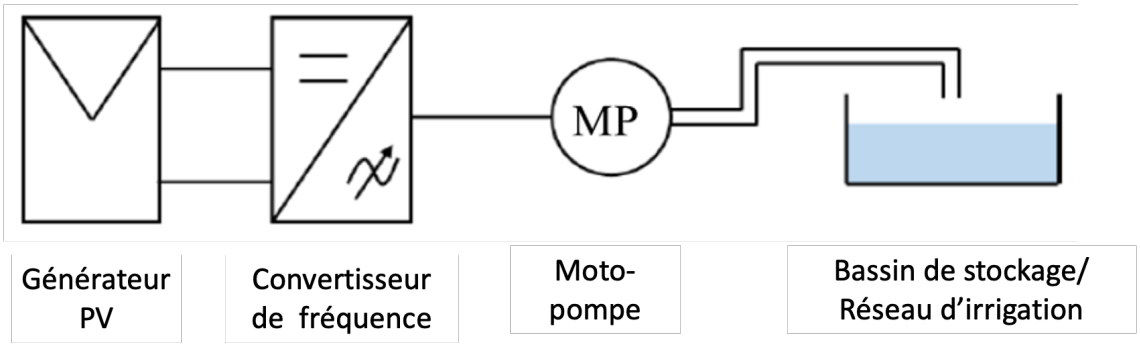


**Figure 1 – Composants d'un système d'irrigation PV : générateur PV, convertisseur de fréquence, motopompe et bassin de stockage d'eau.**

Il est crucial de garder à l'esprit qu'un système d'irrigation PV est basé sur une combinaison de technologie PV, d'ingénierie hydraulique et de techniques de gestion de l'eau à haut rendement. Un SIPV doit [17] :

- **Etre intégré dans le système d'irrigation préexistant**. Le PV doit être adapté aux composants d'irrigation précédents et aux besoins d'irrigation. Il s'agit d'un aspect clé car la majeure partie du marché potentiel des systèmes d'irrigation PV est constituée des infrastructures d'irrigation existantes.
- **Faire correspondre les besoins de production photovoltaïque et d'irrigation**. L'utilisation d'un traqueur à axe horizontal Nord-Sud (un traqueur solaire est un dispositif qui oriente les modules PV vers le Soleil) est l'une des meilleures solutions pour garantir cette correspondance (il maximise le volume d'eau pompé pendant la période d'irrigation, le profil journalier du rayonnement solaire est presque plat, il permet l'augmentation des heures d'irrigation par jour par rapport à la structure statique typique orientée vers l'équateur (au sud dans l'hémisphère nord), et il nécessite moins de puissance PV nominale pour pomper le même volume d'eau qu'une structure PV statique).

Ce projet est financé par le programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union Européenne dans le cadre de la convention de subvention n° 952879.

- **Etre robuste contre les fluctuations de puissance PV dues au passage des nuages**. C'est un autre point clé pour assurer la faisabilité économique puisque les systèmes d'irrigation PV sont de grande puissance et n'intègrent pas de batteries pour résister aux intermittences de puissance PV associées au passage des nuages.
- **Assurer la fiabilité pendant au moins 25 ans** pour garantir le complément du plan d'affaires. Suivre les meilleures pratiques développées dans le cadre du projet SolaQua le permettra.

Différents indicateurs clés de performance peuvent être utilisés pour évaluer la viabilité technique d'un SIPV[1] :

- **Le ratio de résistance au passage des nuages**, qui évalue si le SIPV peut supporter les intermittences de puissance PV dues au passage des nuages.
- **Le Ration de Performance PV**, qui mesure les performances du système en ne considérant que les pertes strictement liées au système PV lui-même. Il est intrinsèque à la qualité technique du composant PV, au bon fonctionnement de la régulation et à sa maintenance.
- **Le taux d'utilisation dû à la période d'irrigation**, qui est le rapport du rayonnement solaire total tout au long de la période d'irrigation sur le rayonnement annuel total. Il est intrinsèque à la période d'irrigation, qui dépend des besoins en eau de la culture et des conditions climatiques, en cas de pompage direct, ou de la relation entre les besoins en eau, la capacité de pompage et la capacité de stockage d'eau pompée, en cas de pompage vers un bassin de stockage d'eau.
- **Le Taux d'Utilisation dû au système hydraulique**, qui est le rapport du rayonnement strictement nécessaire pour maintenir la pompe en marche (selon les conditions imposées par le système d'irrigation) sur le rayonnement total tout au long de la période d'irrigation. Il est intrinsèque à la conception du SIPV et dépend fortement des conditions météorologiques.
- **Le taux d'utilisation effectif**, qui prend en compte les décisions de l'irrigant comme la programmation de l'irrigation. Les habitudes d'irrigation acquises par l'irrigant sont essentielles pour maintenir cet indice à des valeurs adéquates.

## 3.1. Types de systèmes d'irrigation PV

Les systèmes d'irrigation PV peuvent être classés en deux types, selon leur source d'énergie :

- **Système d'irrigation PV autonome.**
- **Système d'irrigation PV hybride.**

Dans les systèmes d'irrigation PV autonomes, le système d'irrigation n'est alimenté que par l'électricité produite par le générateur PV à l'aide de convertisseurs de fréquence (Figure 2).

[1] Plus de détails sur ces indicateurs clés de performance peuvent être trouvés dans le manuel des meilleures pratiques SolaQua et le manuel de formation SolaQua pour les irrigants.

Ce projet est financé par le programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union Européenne dans le cadre de la convention de subvention n° 952879.

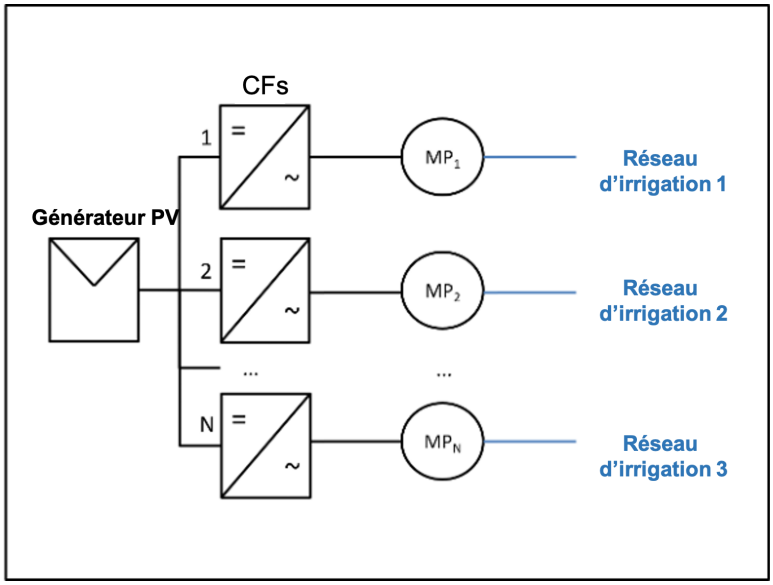


**Figure 2 - Systèmes PV autonomes : le système d'irrigation est alimenté par l'énergie produite par des générateurs PV. Ce qui est dessiné en noir représentent la partie électrique, en bleu la partie hydraulique. CFs signifie convertisseurs de fréquence, tandis que MP signifie motopompe.**

Dans les systèmes d'irrigation PV hybrides, le système d'irrigation est alimenté à la fois par l'énergie produite par le générateur PV et par une autre source d'énergie. L'autre source d'énergie peut être des groupes électrogènes diesel, des groupes électrogènes à gaz ou le réseau électrique conventionnel.

On retrouve deux types d'hybridation :

- **Systèmes hybrides hydrauliques** (Figure 3) : l'hybridation s'effectue dans le circuit hydraulique – les canalisations d'évacuation d'eau sont associées en parallèle, et les sources d'énergie ne sont pas interconnectées électriquement. Ces systèmes peuvent fonctionner d'une manière isolée du réseau électrique et peuvent donc être une solution intéressante dans des endroits éloignés du réseau.
- **Systèmes hybrides électriques** (Figure 4) : L'hybridation entre le générateur PV et l'autre source est réalisée dans la partie électrique du système. Ces systèmes sont considérés comme des systèmes d'autoconsommation et sont soumis à la réglementation en vigueur.

Ce projet est financé par le programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union Européenne dans le cadre de la convention de subvention n° 952879.

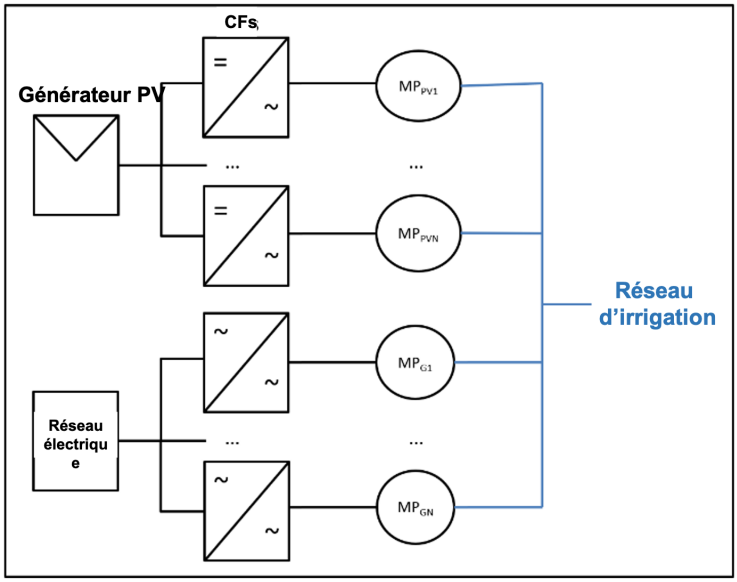


Figure 3 - Systèmes hybrides hydrauliques : le système d'irrigation est alimenté par l'énergie produite par les générateurs photovoltaïques mais aussi à partir d'autres sources (groupes électrogènes diesel ou gaz et réseau électrique conventionnel), mais l'hybridation se fait dans le circuit hydraulique.

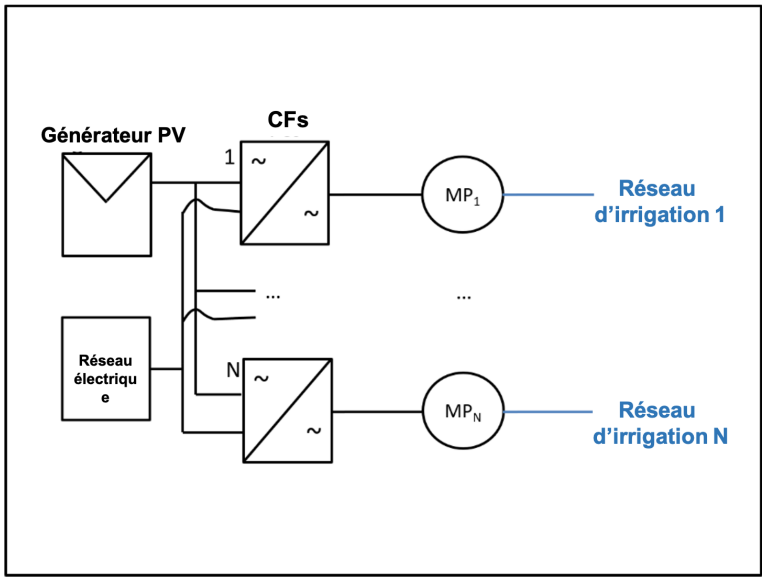


Figure 4 - Systèmes hybrides électriques : l'hybridation entre les générateurs PV et les autres sources est réalisée dans la partie électrique du système.

## 3.2. Le besoin de systèmes hybrides

Un système d'irrigation PV hybride est nécessaire lorsque le réseau d'irrigation nécessite plus d'heures d'irrigation que celles disponibles avec le PV (généralement en raison du diamètre des conduites d'eau préexistantes).

Les SIPV hybrides sont une solution intéressante s'il y a un pic d'irrigation certains mois de l'année, évitant un surdimensionnement du générateur PV juste pour satisfaire une période très courte.

Un SIPV hybride peut également être envisagé pour obtenir la confiance de l'opérateur de l'irrigateur dans le système PV.

Ce projet est financé par le programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union Européenne dans le cadre de la convention de subvention n° 952879.

## 3.3. Est-il possible de vendre de l'électricité au réseau national ?

Un SIPV n'est pas un système photovoltaïque d'autoconsommation, compris comme le système PV traditionnel connecté au réseau via un onduleur dans lequel les charges (dans ce cas, les motopompes) sont alimentées par le réseau basse tension où les onduleurs injectent l'électricité photovoltaïque. Une installation photovoltaïque en autoconsommation ne permet pas de se déconnecter du réseau électrique conventionnel, les économies sont donc limitées puisqu'il faut contracter aux termes de puissance de la facture d'électricité. Cependant, le SIPV peut fonctionner d'une manière isolée du réseau ce qui permet de réaliser des économies plus importantes.

Cependant, si la période d'irrigation d'une culture spécifique n'est que de quelques mois de l'année, certains pays autorisent la possibilité d'exporter l'électricité PV vers le réseau national pendant la période de non-irrigation. Pour ce faire, un onduleur réseau doit être ajouté au système, ainsi qu'un interrupteur unipolaire bidirectionnel. De cette façon, le système devient un système d'irrigation PV pendant la période d'irrigation (le générateur PV est connecté aux convertisseurs de fréquence via le commutateur), alors qu'il devient un système typique connecté au réseau électrique en dehors de la période d'irrigation (le générateur PV est connecté au réseau-onduleur à travers l'interrupteur). Cette configuration est illustrée dans la figure suivante, dans laquelle le commutateur est en position système d'irrigation PV.

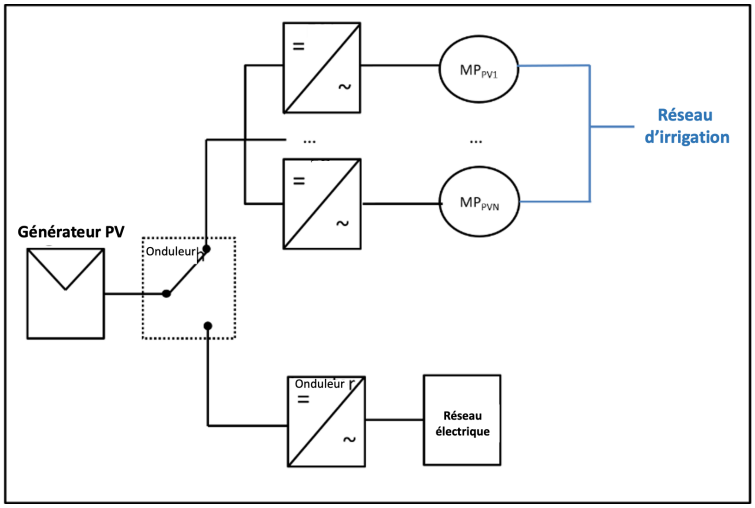


**Figure 5 - Systèmes mixtes : C'est un système d'irrigation PV pendant la période d'irrigation, et un système connecté au réseau électrique en dehors de la période d'irrigation. L'interrupteur permet le changement entre les deux modes de fonctionnement. Dans le cas de cette figure, l'interrupteur est en position système d'irrigation PV.**

Ce projet est financé par le programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union Européenne dans le cadre de la convention de subvention n° 952879.

# 4. Préoccupations typiques des systèmes d'irrigation PV

Ci-dessous une liste des préoccupations communes des agriculteurs et des communautés d'irrigants liées au PVIS :

1. **Le SIPV occupera beaucoup d'espace.**
   **Avec seulement 3000 m$^2$ de générateur PV, il est possible d'irriguer jusqu'à 200 ha.**

2. **L'utilisation du SIPV est très compliquée.**
   **Le système PV doit être intégré dans l'infrastructure d'irrigation préexistante, ce qui signifie qu'il n'y a pas besoin de changer le réseau d'irrigation ni la manière dont l'agriculteur pratique irrigue.**

3. **Avec le PV, l'irrigation ne peut se faire que pendant les heures ensoleillées.**
   **Le SIPV permet jusqu'à 12 heures d'irrigation par jour pendant les mois d'été. Les exploitations ayant des bassins de stockage de l'eau/réservoirs peuvent pomper de l'eau pendant les heures ensoleillées, accumuler cette eau dans le bassin et irriguer plus tard, même pendant les heures de nuit.**
   **De plus, un système hybride peut être installé si nécessaire.**

4. **Le système d'irrigation PV ne fonctionnera PAS pendant les temps nuageux.**
   **Le rayonnement solaire incident est considérablement réduit par temps nuageux, mais dans les stations multi-pompes, l'énergie solaire partielle disponible peut suffire à faire fonctionner une ou plusieurs motopompes.**

5. **Un SIPV ne fonctionne que pour les applications à faible consommation.**
   **Les SIPV sont modulaires, atteignant des dizaines de MW. Ainsi, la puissance électrique n'est pas limitée, elles peuvent donc être appliquées à toutes sortes de conditions de pompage (puits très profonds, hauteurs d'eau élevées ou débits et pressions élevés).**
   **Actuellement, il existe une variété de SIPV de grande puissance fonctionnant en Europe du Sud et en Afrique du Nord. Quelques exemples peuvent être trouvés sur www.maslowaten.eu**

6. **Un système d'irrigation PV n'est PAS fiable.**
   **Si un SIPV obéit aux normes techniques, il passera des procédures de contrôle de la qualité.**
   **S'il est bien conçu, avec des structures éprouvées et capable de supporter les intermittences de la puissance photovoltaïque, le système est très fiable et durera plus de 25 ans.**

7. **Incertitude dans les réglementations légales.**
   **Les SIPV autonomes ne sont pas affectés par la régulation PV raccordée au réseau, car ils n'interfèrent pas avec le réseau électrique.**

Ce projet est financé par le programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union Européenne dans le cadre de la convention de subvention n° 952879.

8. **Menace de vol.**
   **La sécurité dans les installations photovoltaïques est déjà bien connue et les solutions standard de surveillance sont répandues. De plus, les prix des éléments des SIPV (principalement des modules PV) ont fortement diminué leur prix, ce qui constitue une dissuasion contre le vol.**

9. **L'investissement initial pour un PVIS est très élevé.**
   **Le coût du PV est en baisse ces dernières années. De plus, le coût de fonctionnement est très faible.**

10. **Le SIPV n'est PAS abordable car il n'est PAS utilisé tout au long de l'année.**
    **Même si la période d'irrigation annuelle est courte, le PV est très compétitif par rapport aux systèmes diesel ou réseau.**
    **Le projet de 82.21 loi prévoit la possibilité de faire un raccordement au réseau électrique national, de sorte que pendant les mois où il n'y a pas d'irrigation, le système peut exporter le surplus d'électricité dans le réseau (voir section 3.3).**

11. **Il n'y a PAS d'entreprises spécialisées pour entretenir le système PV.**
    **L'irrigation solaire se développe d'une manière très rapide au Maroc et l'entretien des installations est nécessaire. Ceci offre beaucoup d'opportunités pour la création des entreprises spécialisées dans ce domaine.**

Ce projet est financé par le programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union Européenne dans le cadre de la convention de subvention n° 952879.

## 5. Un modèle de financement unique

Dans le cadre de SolaQua, un contrat d'achat d'électricité (PPA) a été conçu avec les agriculteurs pour protéger leurs intérêts. Ce contrat PPA signifie que l'agriculteur :

- Économise jusqu'à 60% de la facture d'électricité depuis le jour 1 ;
- Avoir un coût d'électricité fixe pendant 20 ans ;
- Avoir l'exploitation et la maintenance de l'installation PV pendant 20 ans inclus le coût fixe de l'électricité.

Après cette période initiale de 20 ans, l'exploitation peut soit prolonger la convention, soit acquérir la propriété de l'installation pour 10 DH.

Pour plus d'informations sur le contrat PPA, veuillez visiter www.sol-aqua.eu.

Ce projet est financé par le programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union Européenne dans le cadre de la convention de subvention n° 952879.

# 6. Garanties techniques, économiques et légales

Le projet SolaQua a produit 7 KEMT compte tenu des particularités techniques, économiques et juridiques des besoins de SIPV et des besoins et capacités des acteurs de l'irrigation solaires (investisseurs, PMEs, Agriculteurs, autorités publiques, …) l'ISINPA qui les utiliseront. Pour le Maroc les outils suivants sont disponibles :

- **Meilleures pratiques pour la planification**, l'installation et l'exploitation (ce qui inclut les procédures de contrôle de la qualité) ;
- **Méthodologie d'évaluation environnementale ;**
- **Méthodologie d'évaluation économique ;**

Les détails de ces documents sont disponibles sur www.sol-aqua.eu.

De plus, les spécifications techniques développées dans le cadre du projet MASLOWATEN (un précédent projet européen mené par UPM) doivent également être prises en compte pour garantir la qualité et la fiabilité à long terme du système.

En résumé, du point de vue technique, le système d'irrigation PV doit :

- Supporter les passages de nuages (être capable de résoudre les problèmes liés aux intermittences de la puissance PV) ;
- Adapter la production photovoltaïque aux besoins en eau ;
- Intégrer le système PV dans le réseau d'irrigation préexistant ;
- Être fiable pendant au moins 25 ans - des procédures de contrôle de la qualité (définies dans le manuel des meilleures pratiques mentionné précédemment) sont disponibles.

Certaines particularités doivent être soulignées :

- Le traqueur doit avoir fait ses preuves en conditions réelles de fonctionnement ;
- Le système doit être robuste contre les intermittences de la puissance PV dues aux passage des nuages ;
- Le réglage du convertisseur de fréquence doit être effectué in-situ lors de l'installation du système, en évitant un réglage prédéfini ;
- Un système de pompage direct est différent d'un système de bassin d'eau avec un plus gros générateur PV - le système de pompage direct doit être soigneusement dimensionné et conçu en réalisant l'ingénierie nécessaire pour répondre aux besoins réels de la culture.

Ce projet est financé par le programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union Européenne dans le cadre de la convention de subvention n° 952879.

# 7. Voulez-vous en savoir plus sur les systèmes d'irrigation PV?

Visitez www.sol-aqua.eu et apprenez-en plus sur les systèmes SIPV et le projet SolaQua..

*Ne manquez pas les événements à venir et découvrez ce que l'irrigation solaire peut faire pour votre agriculture !*

- **20 conférences** où seront expliqués les bénéfices du SIPV.
- **12 visites** de véritables SIPV à grande échelle.
- **6 formations** où vous pourrez développer les compétences requises pour évaluer avec succès les solutions SIPV.

*Suivez-nous sur nos réseaux sociaux et abonnez-vous à notre newsletter pour rester informé des dates et vous inscrire aux événements!*

*Des questions?*

*Envoyer un email à info@sol-aqua.eu et nous serons heureux de vous!*

Ce projet est financé par le programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union Européenne dans le cadre de la convention de subvention n° 952879.

# 8. References


[1] Institute for European Environmental Policy, London; Polytechnical University of Madrid; and University of Athens, “The environmental impacts of irrigation in the European Union - A report to the Environment Directorate of the European Comission,” 2000.

[2] I. Fernández García, P. Montesinos, E. Camacho Poyato and J. A. Rodríguez Días, “Energy cost optimization in pressurized irrigation networks,” *Irrigation Science,* vol. 34, no. 1, pp. 1-13, 2016.

[3] J. Nuncio and C. Arranja, “Regadio: binómio água e energia,” *Recursos Hídricos,* vol. 38, pp. 17-23, 2017.

[4] J. M. Tarjuelo, J. A. Rodriguez-Diaz, R. Abadía, E. Camacho, C. Rocamora and M. A. Moreno, “Efficient water and energy use in irrigation modernization: Lessons from Spanish case studies,” *Agricultural Water Management,* vol. 162, p. 67*77, 2015.

[5] B. Werner and R. Collins, “Towards efficient use of water resources in Europe,” European Environment Agency, Copenhagen, 2012.

[6] Subsecretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, "Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos," [Online]. Available: https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/regadios2020_tcm30-562249.pdf. [Accessed 15 06 2021].

[7] M. Abu-Aligah, “Design of Photovoltaic Water Pumping System and Compare it with Diesel Powered Pump,” *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering,* vol. 5, no. 3, pp. 273-280, 2011.

[8] R. Langarita, J. Sánchez Chóliz, C. Sarasa, R. Duarte and S. Jiménez, “Electricity costs in irrigated agriculture: A case study for an irrigation scheme in Spain,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* vol. 68, pp. 1008-1019, 2017.

[9] FENACORE, “September Bulletin,” FENACORE, Madrid, 2013.

[10] I. Martins and C. Arranja, “Água e energia no regadio - perspetiva do setor,” 4 12 2014. [Online]. Available: http://pagina-web.arbcas.pt/images/DOCUMENTOS/FENAREG_custo_energ_agricultura.pdf. [Accessed 21 9 2018].

[11] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), “Ahorro y Eficiencia Energética en Agricultura de Regadío,” Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Madrid, 2005.

[12] FENAREG (Press Release), “Regantes pedem apoios ao investimento em energias limpas - FENAREG,” 21 05 2018. [Online]. Available: http://www.fenareg.pt/wp-


Ce projet est financé par le programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union Européenne dans le cadre de la convention de subvention n° 952879.

content/uploads/NOTA-DE-IMPRENSA_FENAREG_21_Maio_2018.pdf. [Accessed 25 09 2018].

[13] J. Nuncio and C. Arranja, “Regadio: água e energia,” in *VI Congresso Nacional de Rega e Drenagem*, Beja, 2016.

[14] J. Carroquino, R. Dufo-López and J. L. Barnal-Augustin, “Sizing of off-grid renewable energy systems for drip irrigation in Mediterranean crops,” *Renewable Energy,* no. 76, pp. 566-574, 2015.

[15] IRENA, “Solar pumping for irrigation: Improving livelihoods and sustainability,” The International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2016.

[16] FENACORE, “Las tarifas eléctricas del regadío. Cronología, problemática y soluciones,” FENACORE, 2017.

[17] L. Narvarte, J. Fernández-Ramos, F. Martínez-Moreno, L. M. Carrasco, R. H. Almeida and I. B. Carrêlo, “Solutions for adapting photovoltaics to large power irrigation systems for agriculture,” *Sustainable Energy Technologies and Assessments,* vol. 29, pp. 119-130, 2018.

[18] FAOSTAT, “Total area equipped for irrigation,” FAOSTAT, 2011.

[19] FAOSTAT, “FAOSTAT - Energy - Percentage of total energy used/production in agriculture and forestry,” 2009. [Online]. Available: http://www.fao.org/faostat/en/#data/EE. [Accessed 24 09 2018].

[20] M. A. Abella, E. Lorenzo and F. Chenlo, "PV Water Pumping Systems Based on Standard Frequency Converters," *Prog. Photovolt: Res. Appl.,* vol. 11, pp. 179-191, 2003.

Ce projet est financé par le programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union Européenne dans le cadre de la convention de subvention n° 952879.