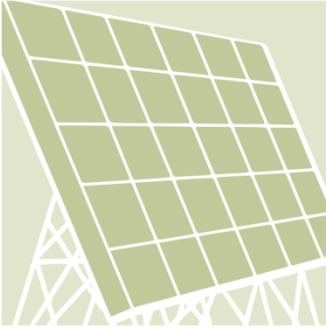


**POWERING  
AGRICULTURE:**

AN ENERGY GRAND CHALLENGE  
FOR DEVELOPMENT



# Module 1 : S'informer

La boîte à outils pour les systèmes d'irrigation à énergie solaire (*Solar Powered Irrigation Systems*, SPIS) est rendue possible grâce à l'initiative mondiale « Propulser l'agriculture : un grand défi énergétique pour le développement » (*Powering Agriculture: An Energy Grand Challenge for Development* – PAEGC). En 2012, l'Agence des États-Unis pour le développement international (USAID), l'Agence suédoise de coopération internationale au développement (SIDA), le ministère fédéral allemand de la Coopération économique et du Développement (BMZ), Duke Energy et l'Overseas Private Investment Cooperation (OPIC) ont mis leurs ressources en commun pour créer l'initiative PAEGC. Cette initiative a pour objectif d'appuyer de nouvelles approches durables afin d'accélérer le développement et le déploiement de solutions énergétiques propres visant à accroître la productivité et/ou la valeur agricole pour les agriculteurs et les agro-industries dans les pays en développement et dans les régions émergentes qui n'ont pas accès à une énergie propre, fiable et abordable.

#### Publié par :

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH au nom du BMZ en tant que partenaire fondateur de l'initiative mondiale « Propulser l'agriculture : un grand défi énergétique pour le développement » (*Powering Agriculture: An Energy Grand Challenge for Development*, PAEGC) et de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).

#### Responsable

Projet de la GIZ *Sustainable Energy for Food – Powering Agriculture* (« Énergie durable pour l'alimentation – propulser l'agriculture »)

#### Contact

[Powering.Agriculture@giz.de](mailto:Powering.Agriculture@giz.de)

#### Téléchargement

[https://energypedia.info/wiki/Toolbox\\_on\\_SIES](https://energypedia.info/wiki/Toolbox_on_SIES)

#### En savoir plus

Propulser l'agriculture : un grand défi énergétique pour le développement.

<https://poweringag.org>

#### Version

1.0 (mars 2018)

#### Avertissement

Les appellations employées dans ce produit d'information et la présentation des documents qui y figurent n'impliquent de la part de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) ou de l'un des partenaires fondateurs de l'initiative PAEGC, aucune prise de position quant au statut juridique ou au stade de développement des pays, territoires, villes ou zones ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. La mention de sociétés déterminées ou de produits de fabricants, qu'ils soient ou non brevetés, n'entraîne de la part de la GIZ, de la FAO ou de l'un des partenaires fondateurs du PAEGC aucune approbation ou recommandation desdits produits de préférence à d'autres de nature analogue qui ne sont pas cités. Les opinions exprimées dans ce produit d'information sont celles de l'auteur et ne reflètent pas nécessairement celles de la GIZ, de la FAO, ou de l'un des partenaires fondateurs du PAEGC.

La GIZ, la FAO et les partenaires fondateurs du PAEGC encouragent l'utilisation, la reproduction et la diffusion des informations contenues dans ce document. Sauf indication contraire, ces dernières peuvent être copiées, téléchargées et imprimées à des fins privées

d'étude, de recherche et d'enseignement, ou pour être utilisées dans des produits ou services non commerciaux, à condition que la GIZ et la FAO soient clairement indiquées en tant que sources des informations et détentrices du droit d'auteur.

Implemented by

© GIZ et FAO, 2018

**giz** Deutsche Gesellschaft  
für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

## ABREVIATIONS

Ah	Ampère heure
BEC	Besoins en eau des cultures
CC/CA	Courant continu / courant alternatif
ET	Évapotranspiration
FAO	Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
RGQ	Rayonnement global quotidien
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
BBEI	Besoin brut en eau d'irrigation
GPFI	Global Partnership for Financial Inclusion (Partenariat mondial pour l'inclusion financière)
HERA	Programme de la GIZ « Services énergétiques de base axés sur la pauvreté »
CT	Charge totale
CEI	Commission électrotechnique internationale
IFC	International Finance Corporation (Société financière internationale)
TRI	Taux de rendement interne
BEI	Besoins en eau d'irrigation
MPPT	Suivi du point maximal de puissance (Maximum Power Point Tracking)
ONG	Organisation non gouvernementale
BNEI	Besoins nets en eau d'irrigation
VAN	Valeur actuelle nette
m <sup>2</sup>	Mètre carré
PV	Photovoltaïque
PPV	Pompe photovoltaïque
TAS	Test d'acceptation secondaire
SPIS	Système d'irrigation à énergie solaire
CTS	Conditions de test standard
CDT	Coefficient de température
UV	Ultraviolet
BQEC	Besoins quotidiens en eau des cultures
W	Watt
Wc	Watt-crête

## S'INFORMER

1. Vue d'ensemble sur le solaire et l'irrigation



2. Générateur solaire



3. Structure de montage



4. Régulateur et onduleur



5. Pompe à eau



6. Système de suivi



7. Réservoir



8. Tête d'irrigation



9. Système de fertigation



10. Système d'irrigation

## OBJECTIF ET ORIENTATION DU MODULE

En raison d'avancées technologiques significatives et d'une baisse des prix des panneaux solaires, les pompes solaires sont devenues une alternative économique et viable sur les plans technique et écologique aux systèmes de pompage conventionnels.

Cependant, peu de personnes sont conscientes du potentiel et des risques associés à l'utilisation du pompage solaire pour l'irrigation. Souvent, la pompe solaire n'est pas intégrée de manière optimale au système d'irrigation, ce qui entraîne une perte d'efficacité. Il en résulte que la demande des exploitants agricoles est faible et que les établissements financiers sont extrêmement réticents à financer de tels systèmes.

Le module **S'INFORMER** fournit aux conseillers agricoles et aux prestataires de services financiers des informations essentielles pour comprendre le principe de fonctionnement d'un système d'irrigation à énergie solaire (SPIS) et identifier les différents éléments de ce dernier. Ce module décrit tout d'abord comment les différentes configurations des éléments sont susceptibles d'influer sur la performance de l'ensemble du système. Le module **S'INFORMER** permettra aux prestataires de services agricoles et financiers d'aider les utilisateurs potentiels d'un SPIS en leur

fournissant des informations actualisées sur les avantages et les inconvénients de cette technologie et sur les différents éléments qui la compose.

## BREVE DESCRIPTION DU MODULE

Contrairement aux systèmes énergétiques conventionnels, l'utilisation de l'énergie solaire présente des caractéristiques spécifiques dont il convient de tenir compte lors de la planification d'un SPIS (cf. le module **CONCEVOIR**).

Les étapes suivantes présentent de façon détaillée les configurations disponibles et les différents éléments d'un SPIS utilisé dans des conditions qui changent constamment en raison des variations quotidiennes et saisonnières.

La description des différents éléments d'un système d'irrigation à énergie solaire ainsi que les relations qui existent entre eux, et précédée d'informations sur les principes fondamentaux de l'énergie solaire et de l'irrigation. La combinaison de l'énergie solaire et de l'irrigation au sein d'un système de production, forme ce qui est communément appelé un système d'irrigation à énergie solaire. Les configurations types d'un SPIS sont présentées dans ce module et dans le module **CONCEVOIR**.

## 1. VUE D'ENSEMBLE SUR LE SOLAIRE ET L'IRRIGATION

### L'ALTERNATIVE SOLAIRE

Si les technologies de pompage traditionnelles, telles que les pompes manuelles ou à traction animale, atteignent leurs limites techniques, le pompage de l'eau d'irrigation se fait traditionnellement au moyen de pompes fonctionnant au diesel, au gaz ou à l'essence. Ces pompes conventionnelles présentent cependant le double inconvénient de demander beaucoup d'entretien ainsi qu'un approvisionnement régulier en combustible et une présence physique pour les faire fonctionner. C'est ainsi notamment que dans les régions excentrées des pays en développement, l'accès aux pièces de rechange, aux structures d'entretien ou aux combustibles peut être limité, ce qui entraîne des arrêts fréquents de plusieurs jours ou plus.

Le manque d'eau qui en résulte peut conduire à une baisse ou à une

insuffisance de rendement, constituant alors un risque considérable pour l'exploitation agricole.

Dans les régions non électrifiées de la planète, l'énergie solaire pourrait contribuer à permettre l'accès à un approvisionnement énergétique écologique et fiable. Mais notamment dans les pays en développement, l'extension du réseau électrique et la mise en place d'un approvisionnement en électricité fiable et sans interruption dans les zones rurales reste une perspective lointaine. L'électrification des zones rurales économiquement défavorisées d'Afrique, d'Asie et d'Amérique latine reposera en grande partie sur des investissements dans des solutions locales hors-réseau pour l'électrification des ménages (consommation de base), en tenant peu compte des utilisations productives de l'énergie.



**Accès à l'électricité partout où le soleil brille**

(Source : Lennart Woltering)



Si l'on dispose des connaissances adéquates sur le fonctionnement et l'entretien appropriés des pompes solaires photovoltaïques, les pannes sont beaucoup moins susceptibles de survenir qu'avec des systèmes de pompage conventionnels.

Depuis 2010, les pompes solaires sont de plus en plus utilisées pour l'irrigation. C'est ainsi, par exemple, que l'Inde est un important marché pour la technologie des systèmes d'irrigation à énergie solaire. Plus de 12 millions de systèmes de pompage électriques pour l'irrigation et près de 9 millions de systèmes au diesel, approvisionnent en eau quelques 39 millions d'hectares de terres irriguées. Si 50 % seulement des pompes au diesel étaient remplacées par des pompes photovoltaïques, la consommation de diesel pourrait diminuer de près de 225 milliards de litres par an dans cette région.

Mais 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 CO<sub>2</sub> 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 d'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. 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 (cf. le module **PRÉSERVER L'EAU**).



Vieille pompe au diesel

(Source : Andreas Hahn, 2015)



Ouvrier agricole ayant l'expérience des panneaux  
photovoltaïques

(Source : Andreas Hahn, 2015)

## CARACTERISTIQUES DE L'ÉNERGIE SOLAIRE

### Rayonnement solaire

L'énergie solaire présente certaines caractéristiques dont il convient de tenir compte lorsque l'on planifie l'installation d'un système d'irrigation à énergie solaire. Le rayonnement solaire capté par un panneau solaire n'est jamais constant du fait des variations quotidiennes et saisonnières du rayonnement. L'intensité du rayonnement solaire sur une surface est appelée irradiance (S). L'irradiance s'exprime en watts par mètre carré [W/m<sup>2</sup>].

L'irradiance varie au cours de la journée, les valeurs maximales étant d'environ 1 000 W/m<sup>2</sup> vers midi par temps clair sur une surface horizontale située au niveau de la mer. L'énergie transportée par rayonnement sur une surface au cours d'une période donnée est appelée rayonnement solaire global (G). Le rayonnement solaire global est spécifique à chaque endroit car il est influencé par les nuages, l'humidité de l'air, le climat, l'altitude, la latitude, etc. Le rayonnement solaire global sur une surface horizontale est mesuré via un réseau de stations météorologiques dans le monde entier et s'exprime en kilowatt-heures par mètre carré [kWh/m<sup>2</sup>].

### Angle d'inclinaison

La plupart des panneaux solaires sont installés avec un angle d'inclinaison fixe «  $\alpha$  » pour optimiser le rendement énergétique. L'angle d'inclinaison dépend de chaque site et doit être calculé. Ce

calcul peut se faire facilement au moyen d'outils logiciels tels que la base de données météorologiques METEONORM, qui fournit des données climatologiques pour la quasi-totalité des régions du monde. Une estimation rapide de l'angle d'inclinaison correct  $\alpha$  peut être réalisée en fonction de la latitude à laquelle le système de pompage est installé.

Les valeurs type de l'angle d'inclinaison peuvent être estimées ainsi :

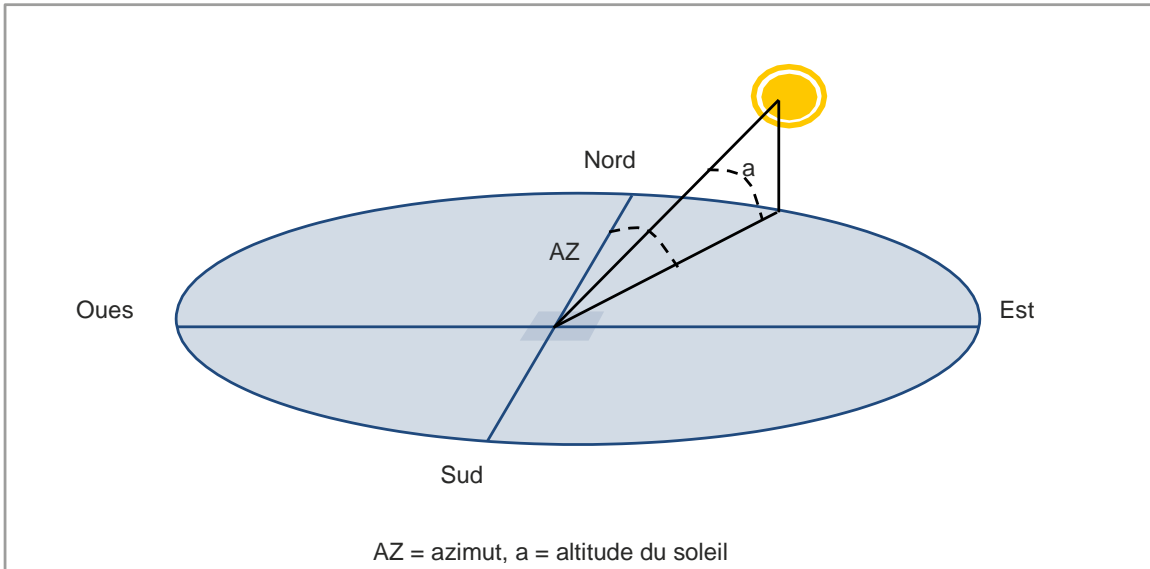
$\alpha$  = valeur absolue de la latitude géographique  
+ / - 10°

Pour permettre à l'eau de pluie et aux poussières accumulées de s'écouler de la surface du panneau, l'angle d'inclinaison doit être d'au moins 15°, même si le système est installé près de l'équateur. Pour que l'exposition des panneaux solaires soit optimale en hiver, l'angle d'inclinaison peut être augmenté jusqu'à +10°, tandis qu'en été, il peut être réduit jusqu'à -10°.

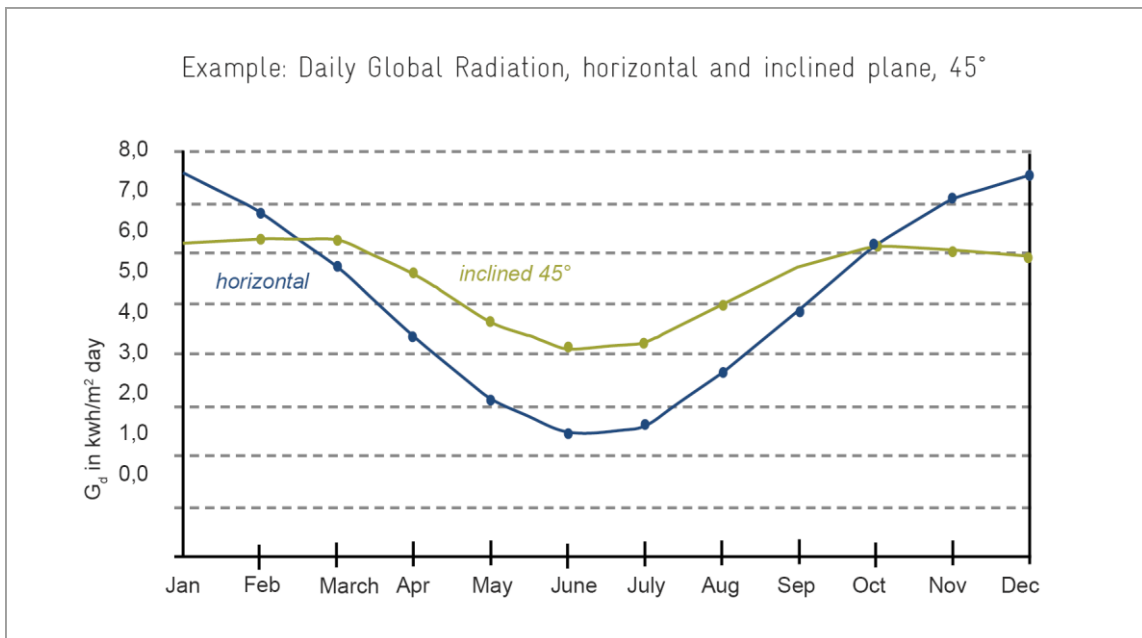
### Orientation du générateur solaire

Dans l'hémisphère nord, il convient d'orienter les panneaux vers le sud pour optimiser le rendement énergétique, tandis qu'ils doivent l'être vers le nord dans l'hémisphère sud. Des écarts sont possibles par rapport au nord/sud réel, mais ils entraînent une baisse mineure du rendement énergétique global.

Une autre manière d'améliorer le rendement énergétique d'un générateur solaire est le suivi solaire (cf. chapitre 2).



Mouvement quotidien du soleil dans l'hémisphère sud  
 (Source : Reinhold Schmidt 2012)



Variation du rayonnement global au cours de l'année sur une surface horizontale et sur une surface inclinée  
 (Source : Reinhold Schmidt, Aplicaciones de Energía Solar Fotovoltaica; Diseño, Implementación, Experiencias, juin 2012)

## PRINCIPES DE L'IRRIGATION

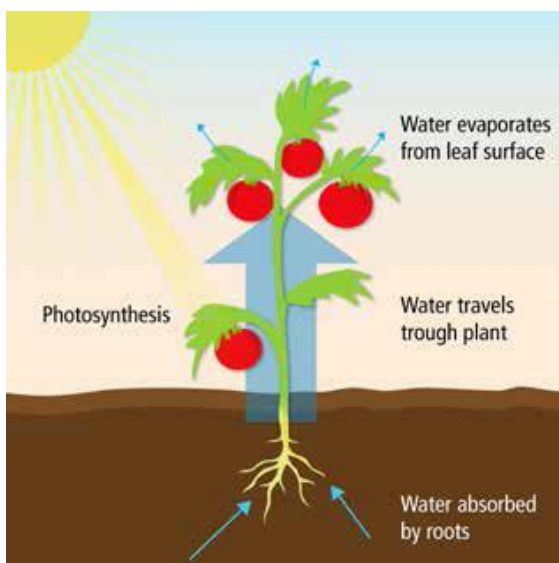
L'irrigation est l'application contrôlée d'eau pour répondre aux besoins des cultures. L'eau utilisée pour l'irrigation provient des lacs, des bassins de retenue, des rivières ou des puits (eau souterraine) avoisinants, mais également de sources non conventionnelles comme les eaux usées traitées, les eaux désalinisées ou les eaux de drainage. L'eau d'irrigation est amenée jusqu'aux terres cultivées par des canalisations, des tuyaux ou des canaux d'irrigation.

Les exploitants agricoles qui irriguent leurs terres sont moins dépendants des précipitations irrégulières pour leur production. Ils peuvent compenser le manque de pluie par l'irrigation pour apporter la quantité d'eau nécessaire aux cultures. De plus, le contrôle de l'eau améliore l'efficacité des autres intrants utilisés pour augmenter le rendement, comme les engrais et les produits phytosanitaires. La capacité des exploitants agricoles à contrôler les

rendements est ainsi renforcée. Cet aspect est important pour obtenir une productivité stable et favoriser l'intégration sur les marchés.

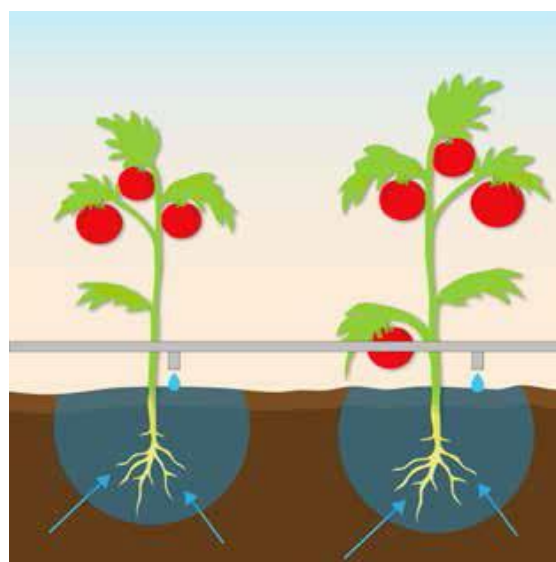
L'irrigation permet de reconstituer les réserves d'eau stockées dans le sol au niveau de la zone racinaire des plantes. Le soleil et la photosynthèse entraînent une absorption de l'humidité du sol par les racines des plantes. Cela déclenche la circulation des nutriments de la tige vers les feuilles, à partir desquelles l'eau **s'évapore** ensuite dans l'atmosphère sous l'effet de la transpiration des feuilles. Ainsi, seule l'eau absorbée par le système racinaire contribue à la croissance des plantes et des fruits.

**Important** : la majeure partie de l'eau amenée au champ par l'irrigation doit se concentrer autour de la zone racinaire de la plante, le volume d'eau irrigué ne devant pas excéder la capacité des plantes à l'absorber.



La photosynthèse transforme l'énergie du rayonnement en énergie chimique qui déclenche la circulation des nutriments dans la plante.

(Source : GFA)



Dans un système d'irrigation goutte à goutte, l'eau est amenée directement là où elle est nécessaire, c'est-à-dire au niveau de la zone racinaire.

(Source : GFA)



## BESOINS EN EAU

La quantité d'eau nécessaire aux plantes cultivées s'exprime en termes de besoins en eau des cultures (BEC). Elle dépend du climat, de la culture, de la gestion ... et des conditions environnementales. C'est dans les endroits ensoleillés, chauds, secs et venteux qu'il est le plus élevé. Les espèces cultivées, la variété de la culture et la phase de croissance déterminent la quantité d'eau que les racines doivent absorber pour assurer une croissance optimale des plantes. Les exploitants agricoles peuvent diminuer les besoins en eau des cultures en recourant par exemple au paillage, à la modification de la densité initiale des plantes et à différentes technologies d'irrigation.

Les besoins en eau d'une culture donnée sont donc bien spécifiques au site et varient d'un jour à l'autre. Le calcul de ces besoins requiert la collecte de données régionales sur place, par exemple avec le soutien des services de vulgarisation agricole local (cf. le module **CONCEVOIR**). Le plus souvent, les besoins en eau des cultures s'expriment en millimètres (mm) ou en mètres cube par hectare (m<sup>3</sup>/ha). En temps normal, les cultures ont besoin de 2 à 10 m<sup>3</sup> d'eau par hectare et par jour. Des informations détaillées concernant cette évaluation figurent dans le module **CONCEVOIR**.

Il est important de noter que l'eau est un produit payant (frais d'utilisation, coût du pompage) et une ressource rare dans la mesure où d'autres utilisateurs se font concurrence pour l'utiliser (industrie, énergie, consommation domestique, etc.). Il convient d'en tenir compte dans les évaluations de faisabilité financière et écologique.

## EFFICACITE DE L'IRRIGATION

Lors de l'irrigation, il est important d'appliquer la bonne quantité d'eau au bon moment. Une trop faible quantité provoquera le flétrissement des plantes et une diminution du rendement. L'excès peut entraîner le gaspillage de l'eau, le

ruissellement et l'érosion ainsi que le lessivage des nutriments dans le sol, et la salinisation, ce qui conduit à terme à une diminution du rendement. Un système d'irrigation pleinement efficace fournira une même quantité d'eau à toutes les plantes cultivées dans le champ. Toutefois, celles qui se trouvent près de la source d'approvisionnement ont tendance à recevoir une plus grande quantité d'eau que celles qui sont situées à l'extrémité du champ. De ce fait, les rendements de l'exploitation sont compromis, car certaines plantes reçoivent trop d'eau et d'autres pas assez. Dans les grandes exploitations agricoles, cela peut avoir de graves conséquences sur les frais de fonctionnement et sur la gestion des ressources hydriques. L'uniformité de la distribution de l'eau dans le champ est déterminée par la technologie d'irrigation choisie. Les trois méthodes d'irrigation les plus souvent utilisées sont les suivantes :

- l'irrigation de surface ;
- l'irrigation par aspersion ;
- l'irrigation goutte à goutte.

Les modes d'irrigation de surface tels que l'irrigation en bassin, en rigoles et par planches n'atteignent pas plus de 60% d'efficacité des apports d'eau sur le terrain, car seule une quantité limitée d'eau s'infiltre jusqu'à la zone racinaire.

Les systèmes d'irrigation par aspersion et goutte à goutte s'appuient sur un réseau de tuyaux pour distribuer l'eau dans le champ, réduisant ainsi les pertes dues au transport, qui sont fréquentes avec les modes d'irrigation de surface. Les systèmes d'irrigation par aspersion enregistrent en moyenne une efficacité d'application sur le terrain de 75 %, tandis que les systèmes d'irrigation goutte à goutte peuvent atteindre jusqu'à 95 % d'uniformité. L'irrigation goutte à goutte permet de délivrer lentement l'eau au niveau de la zone racinaire des plantes. De ce fait, les conditions d'humidité du sol sont bonnes et il n'y a aucune « perte » d'eau entre les plantes, ou sur les plantes. Il est ainsi possible de doubler les

rendements des cultures et de réaliser des économies considérables d'eau, d'énergie et de main-d'œuvre.



## SYSTEMES D'IRRIGATION A ENERGIE SOLAIRE

L'utilisation de l'énergie solaire pour l'irrigation est extrêmement judicieuse. En premier lieu parce que l'irrigation est souvent mise en place dans des zones rurales où l'accès à des sources d'approvisionnement fiables en électricité ou en énergies fossiles est limité. Ensuite parce que le rayonnement solaire représente une ressource abondante dans de nombreux pays en développement où l'irrigation est indispensable à la sécurité alimentaire et au commerce international. Et enfin parce que les systèmes d'irrigation à énergie solaire s'autorégulent de manière passive, dans la mesure où le volume d'eau pompée augmente par temps chaud et clair, lorsque les plantes ont besoin d'une plus grande quantité d'eau, et vice versa. Il est important de noter qu'un SPIS n'est pas une simple pompe solaire utilisée pour l'irrigation. Les panneaux, les pompes et les systèmes d'irrigation sont conçus en fonction des quantités d'eau disponibles et des besoins en eau des cultures locales. Le système d'irrigation à énergie solaire est un système où les différents éléments, de la pompe à la culture, sont intégrés et harmonisés.

### Principe de fonctionnement

Le fonctionnement d'un SPIS repose sur un principe simple. Un générateur solaire alimente en électricité une pompe à moteur électrique qui distribue l'eau directement dans le système d'irrigation ou l'amène vers un réservoir surélevé. La conception d'un SPIS répond à des critères fondamentaux : entretien minimum, fiabilité maximale et utilisation rationnelle des ressources. L'une des caractéristiques spécifiques des SPIS tient au fait qu'une batterie de secours n'est en général pas nécessaire. Ce qui représente un avantage dans la mesure où les batteries demandent beaucoup d'entretien, sont onéreuses et doivent être remplacées régulièrement.

### Éléments d'un SPIS

Les différents éléments constitutifs d'un système d'irrigation à énergie solaire sont présentés dans les sections suivantes. Le tableau ci-dessous montre les différentes solutions technologiques disponibles en fonction des conditions propres au site et des capacités de l'exploitant agricole. Les éléments et les technologies alternatives peuvent être combinés les uns avec les autres de nombreuses façons, mais certaines configurations sont plus adaptées selon la situation sur le terrain.

### Principales technologies alternatives pour les principaux éléments d'un SPIS

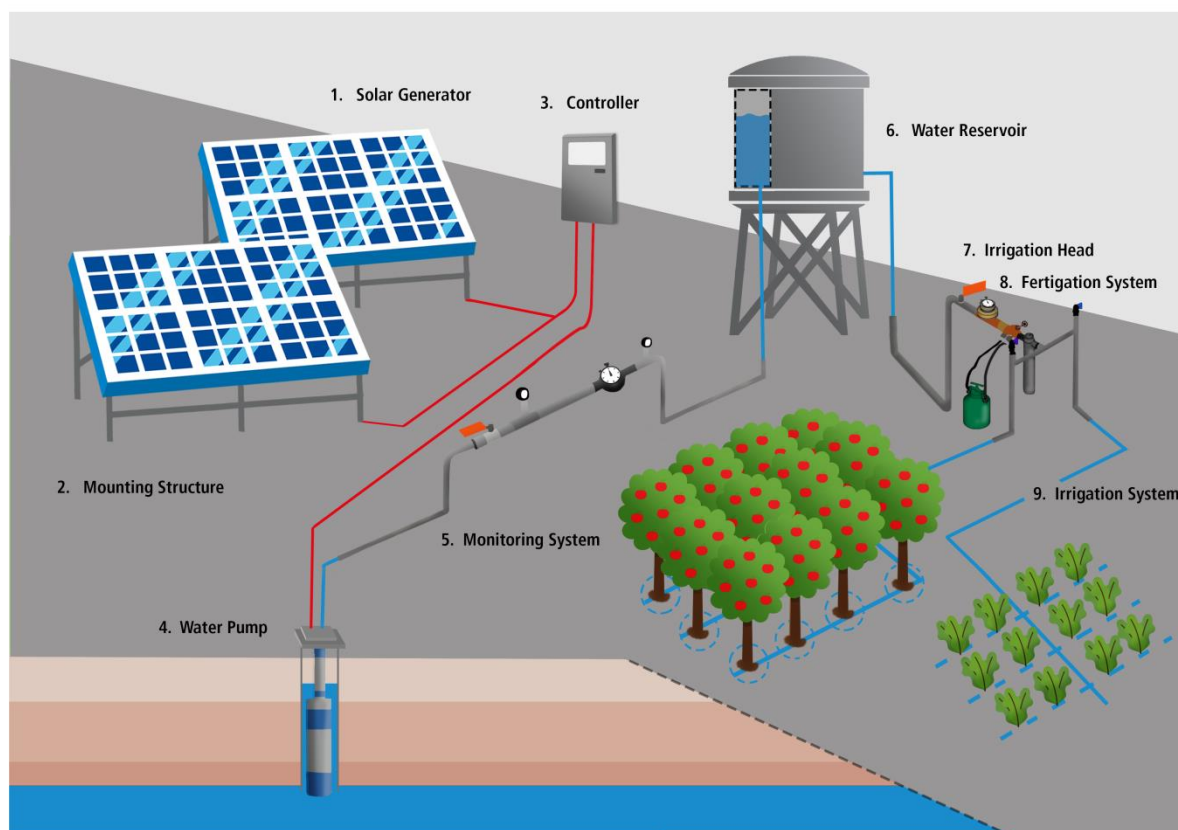
Élément	Technologies alternatives		Dépend :
<b>Système à énergie solaire</b>	fixe	avec suiveur solaire	des coûts et de l'intensité de l'entretien
<b>Pompe</b>	de surface	immergée	des coûts et de l'hydro(géo)logie
<b>Réservoir</b>	réservoir	pas de réservoir	des coûts et du système d'irrigation
<b>Système d'irrigation</b>	de surface	goutte à goutte ou aspersion	des coûts et du système de pompage

## Configurations des SPIS

Un générateur solaire sur une structure de montage fixe qui alimente en électricité une pompe immergée installée dans un forage est la configuration la plus courante des systèmes d'irrigation à énergie solaire. L'eau est pompée vers un réservoir situé à quelques mètres au-dessus du champ. Elle est stockée à une pression constante et envoyée vers un système d'irrigation goutte à goutte à basse pression, où elle est filtrée et mélangée avec de l'engrais avant d'être libérée lentement au niveau des plantes. Cette configuration est illustrée dans la figure ci-dessous.

Cependant, l'installation du filtre à eau à la sortie du réservoir peut s'avérer critique/problématique, dans la mesure où les pertes de pression dans le filtre peuvent facilement atteindre plusieurs mètres : l'eau ne s'écoule alors plus dans les réservoirs peu élevés. Il est par conséquent recommandé d'installer le filtre à l'entrée du réservoir pour maintenir l'eau propre à l'intérieur de ce dernier.

Cette configuration est également possible avec un système de suiveur solaire, mais elle demande un investissement plus important et davantage d'entretien que pour des panneaux solaires fixes. Le réservoir assure une pression et un apport d'eau stables au système d'irrigation goutte à goutte pour que la distribution d'eau soit la plus uniforme possible. Le système d'irrigation goutte à goutte est moins performant lorsque les émetteurs sont obstrués par de petites particules présentes dans l'eau. Les filtres permettent d'éviter ce problème, à condition qu'ils soient conçus spécifiquement en fonction de la qualité de l'eau et du système d'irrigation et qu'ils soient nettoyés régulièrement. Il est donc fortement recommandé de n'utiliser un système d'irrigation goutte à goutte qu'avec de l'eau souterraine, car celle-ci est généralement plus propre que celle des rivières ou des réservoirs. En outre, il est recommandé d'installer un système de contrôle entre la pompe et le réservoir afin de mesurer le débit et la pression de l'eau.

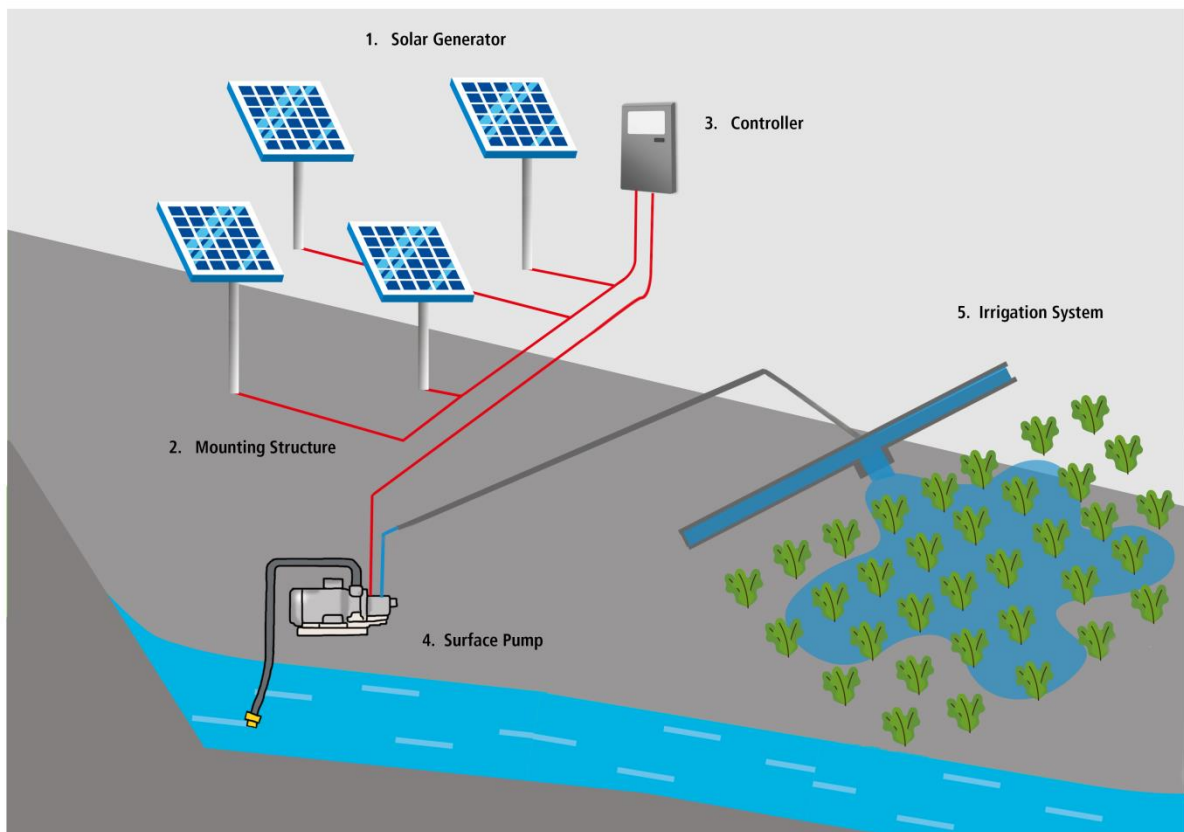


**Meilleure pratique concernant la configuration des différents éléments d'un système d'irrigation à énergie solaire**  
(Source : GFA)

Un générateur solaire sur une structure de montage fixe qui alimente en électricité une pompe de surface installée au niveau d'un bassin de retenue ou d'une rivière est la configuration la plus simple des systèmes d'irrigation à énergie solaire. L'eau est alors pompée directement vers un système d'irrigation de surface par un réseau de canaux ouverts, par exemple. Dans cette configuration, l'eau pompée ne passe pas par un réservoir surélevé. La pression et le débit de la pompe vers le système d'irrigation correspondent à l'irradiance solaire effective, qui varie au cours de la journée, notamment avec un générateur solaire fixe. La simplicité d'installation et les coûts relativement bas

sont le principal avantage de cette configuration. Il y a toutefois un inconvénient : l'exploitant agricole a peu de contrôle sur la distribution de l'eau dans le champ au fil de la journée car il n'y a pas de réservoir pour réguler le débit et la pression. L'exploitant devra utiliser des vannes volumétriques (cf. TÊTE D'IRRIGATION) ou diviser son champ en plusieurs zones pour faciliter la gestion et contrôler au mieux l'irrigation des cultures.

Il existe une autre configuration de type **hybride**, où une pompe solaire et une pompe diesel sont utilisées conjointement pour l'irrigation.



Configuration simple – avec système de suiveur solaire – des différents éléments d'un SPIS

(Source : GFA)

## 2. GENERATEUR SOLAIRE

Le générateur solaire fournit l'électricité nécessaire pour faire fonctionner l'unité pompe-moteur. Il se compose d'un ensemble de panneaux constitués de cellules solaires (ou photovoltaïques). Les cellules solaires utilisent ce que l'on appelle l'effet photovoltaïque, qui convertit directement la lumière en électricité. Les cellules solaires sont fabriquées à partir de matériaux semi-conducteurs conçus spécifiquement, tels que le silicium cristallin. Lorsque la lumière touche la surface du semi-conducteur, un champ électrique se développe. C'est lorsque le soleil atteint directement les cellules que le système fonctionne le mieux, mais il fonctionne également avec un rayonnement solaire indirect. Par temps nuageux, les panneaux solaires peuvent généralement produire 10 à 25 % de leur puissance nominale. En reliant un fil à l'arrière de la cellule photovoltaïque, la tension du champ électrique fait circuler un courant électrique.

### La cellule photovoltaïque

Afin de protéger les cellules contre les contraintes mécaniques et l'humidité, les chaînes de cellules sont intégrées dans un matériau de liaison transparent (par. ex. EVA) qui isole aussi les cellules électriquement. Pour garantir la stabilisation structurelle et l'isolation électrique, elles sont généralement placées entre un revêtement en plastique à l'arrière et en verre à l'avant. Le stratifié est ensuite protégé par un cadre en aluminium permettant le montage des panneaux sur une structure de montage.

Les panneaux solaires sont généralement certifiés par la Commission électrotechnique internationale et ce certificat de conformité est aujourd'hui reconnu partout dans le monde comme l'un des labels de qualité pour les panneaux solaires. Toutefois, les essais normalisés de l'IEC n'évaluent pas la durabilité des modules photovoltaïques

sur une période de 25 ans. Les panneaux répondant à la norme IEC s'accompagnent généralement d'une garantie produit de 10 ans et d'une garantie de performance linéaire de 25 ans assurant au moins 80 % de puissance de sortie après 25 ans d'utilisation.

**Remarque :** Les panneaux solaires sont classés en watts-crête (Wc) en fonction de leur puissance déterminée dans les conditions de test standards (CTS) définies au niveau international :

(Irradiance = 1 000 W/m<sup>2</sup>, température des cellules = 25°C, masse d'air (AM) = 1,5)

La puissance électrique des panneaux dépend principalement du rayonnement solaire capté et de la température des cellules photovoltaïques. Cette dernière augmente considérablement en mode de fonctionnement normal et peut facilement atteindre 40 à 65 °C en fonction des conditions propres au site. Cela entraîne une diminution de la puissance par rapport aux conditions de test standard. Le coefficient de température (CT) décrit la diminution de la puissance pour chaque degré d'augmentation de température, une diminution qui est d'environ 0,5 % par degré Celsius pour les cellules en silicium cristallin.

Les panneaux d'un ensemble de panneaux solaires sont reliés les uns aux autres en série, en parallèle, ou une combinaison des deux, en fonction de la production électrique requise (tension, courant et puissance). Combiner les panneaux en série signifie connecter la borne positive d'un panneau solaire à la borne négative du panneau suivant. Cela permet d'augmenter la tension au niveau désiré (contrairement à la connexion en parallèle, qui augmente le courant/l'ampérage).

### 3. STRUCTURE DE MONTAGE

En plus de l'irradiance et de la température des cellules, la puissance d'un panneau solaire dépend également de l'orientation et de l'angle d'inclinaison de la surface du panneau. Pour obtenir une puissance maximale, il faut trouver l'orientation optimale spécifique à chaque site.

#### Options de montage :

Il existe fondamentalement deux options pour installer des panneaux solaires sur une structure métallique :

- une installation avec un angle d'inclinaison fixe ;
- une installation sur un suiveur solaire à orientation variable.

**L'installation fixe** de panneaux solaires sur une structure rigide est la méthode la moins chère, la plus fiable et la plus couramment utilisée. En général, il est recommandé d'utiliser des supports métalliques qui s'enfoncent dans le sol pour les systèmes plus grands. Ils rendent inutile l'utilisation de fondations en béton et permettent d'économiser le coût de la main-d'œuvre et des matériaux. En revanche, de simples fondations en béton sont souvent utilisées pour les petites installations dans les pays en développement, où elles représentent une solution adéquate à condition que les exigences relatives à la stabilité soient satisfaites. L'installation est généralement orientée vers le nord ou le sud pour que la répartition du rendement soit relativement bonne tout au long de la journée.

Lorsque l'orientation de la structure de montage est variable sur un ou deux axes, on parle de **suiveur solaire** (cf. la figure page suivante).

Le suivi solaire présente deux avantages :

- gain en rayonnement solaire : la quantité de rayonnement solaire reçue par les panneaux augmente de 25 à 35 % (valeur moyenne

annuelle) en fonction du type de suiveur solaire et du site d'installation ;

- répartition uniforme de l'irradiance tout au long de la journée : l'électricité produite, et donc le débit d'eau de la pompe, sont quasiment constants au cours de la journée. Cet élément est important pour la configuration d'un SPIS où l'eau est pompée directement vers le champ sans passer par un réservoir.

Inconvénients du suivi solaire :

- le suivi solaire est coûteux et augmente considérablement le coût global du système ;
- les composants mécaniques et le moteur électrique du système de suivi requièrent un entretien régulier et des pièces de rechange.

Cela doit être pris en compte, en particulier pour les installations prévues dans des régions excentrées ou dans des zones où les services techniques sont limités.

Les **installations orientées vers l'est ou l'ouest** – qui sont relativement nouvelles – constituent une alternative intéressante au suivi solaire. Elles demandent toutefois davantage de panneaux pour obtenir un rendement stable au cours de la journée. Mais compte tenu de la baisse des prix des panneaux solaires, cela pourrait représenter une alternative intéressante pour les zones excentrées et les systèmes de dimensions modestes, car ces derniers sont moins chers et nécessitent moins d'entretien (à l'instar des solutions de suivi solaire).

Pour ces deux options de montage, il est important d'éviter la corrosion galvanique lors du raccordement des structures métalliques. Cela peut se faire en sélectionnant des matériaux présentant

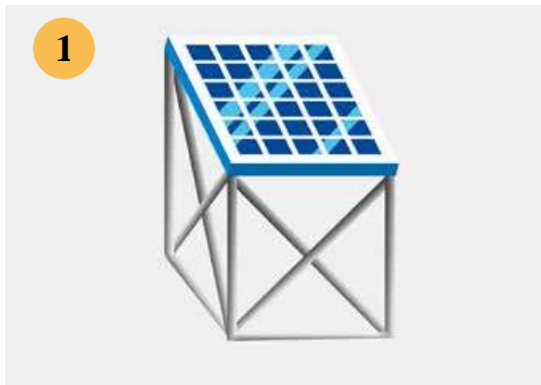


des potentiels de corrosion similaires ou en coupant la connexion électrique en isolant les deux métaux l'un de l'autre.

### Structure de montage et système antivol

Le type et la qualité de la structure de montage sont également des facteurs déterminants compte tenu du risque de vol des panneaux solaires. L'utilisation accrue d'installations photovoltaïques pour produire de l'électricité augmente les risques de vol. Les mesures de prévention d'usage contre le vol consistent à :

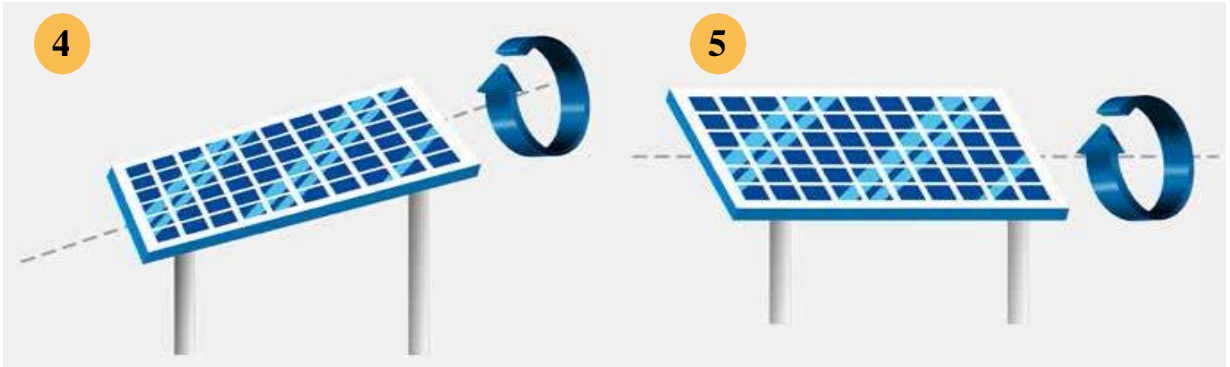
- utiliser des contre-écrous ;
- marquer l'identifiant du propriétaire avec une peinture en aérosol indélébile à l'arrière des panneaux ;
- intégrer les panneaux solaires dans la structure de montage (non détachable) ;
- placer la structure de montage hors de portée en utilisant des structures surélevées, des barrières ou des systèmes de panneaux solaires flottants.



Systèmes solaires (Source : Reinhold Schmidt, 2015) :

1. installation fixe
2. suiveur solaire 1 axe, azimut
3. suiveur solaire 2 axes, azimut et inclinaison
4. suiveur solaire 1 axe, inclinaison de l'axe sud + nord
5. Suiveur solaire 1 axe horizontal, axe sud/nord.







## 4. REGULATEUR ET ONDULEUR

### Régulateur

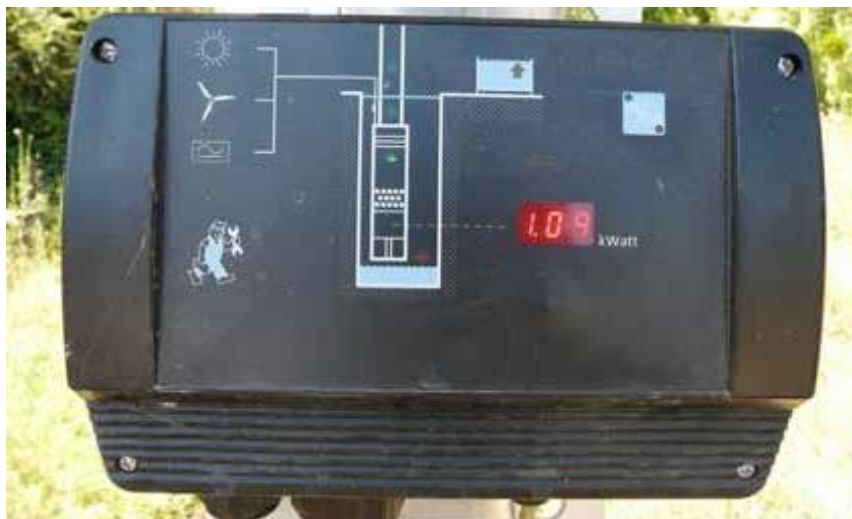
Le régulateur, qui constitue le lien entre le générateur solaire et la motopompe, joue un rôle essentiel pour la fiabilité du système. Il permet d'ajuster les fluctuations de la fréquence de sortie du générateur solaire résultant des différents niveaux du rayonnement solaire. Les régulateurs modernes intègrent de l'électronique de puissance extrêmement efficace et utilisent la technologie de suivi du point maximal de puissance (Maximum Power Point Tracking, MPPT) pour optimiser la consommation d'énergie du générateur solaire. Le régulateur régule le nombre de tours du moteur et protège la pompe contre les surtensions et les sous-tensions, les inversions de polarité, les surcharges et les surchauffes.

### Onduleur

Les générateurs solaires fournissent toujours un courant continu (CC). La plupart des moteurs électriques des pompes à eau solaires sont alimentés par un courant continu. Les moteurs à courant continu ayant généralement un rendement supérieur à celui des moteurs à courant alternatif (CA) de même taille, ils tendent à être préférés par les fabricants de pompes solaires. Les moteurs à courant continu sans balais remplis d'eau sont de plus en plus utilisés car ils ne demandent aucun entretien et ne sont pas affectés par les

démarrages/arrêts fréquents caractéristiques des systèmes à énergie solaire.

Certaines pompes solaires sont encore équipées de moteurs CC à balais relativement bon marché. Le principal inconvénient de ce type de moteurs est que les balais sont sujets à l'usure et doivent être régulièrement remplacés (tous les deux ans environ). Les moteurs à courant continu sont principalement utilisés pour les systèmes d'irrigation de petite taille et de taille moyenne, tandis que les moteurs à courant alternatif sont de plus en plus utilisés dans les cas où des combinaisons rendement/hauteur de charge plus élevées sont requises. Le régulateur doit être équipé d'un onduleur si le moteur de la pompe est à courant alternatif. Les innovations réalisées dans la technologie des onduleurs CC/CA ont conduit au développement d'onduleurs de pompes conçus spécifiquement pour commander les moteurs à courant alternatif conventionnels. Des combinaisons onduleur/moteur non compatibles peuvent réduire la durée de vie prévue du moteur à courant alternatif conventionnel. C'est la raison pour laquelle il est recommandé d'adopter des combinaisons régulateur/moteur bien adaptées et testées pour améliorer la fiabilité du système.



**Contrôleur avec affichage et indicateur LED de défauts**  
(Source : Andreas Hahn, 2015)

## 5. POMPE A EAU

Selon la source d'approvisionnement en eau, deux systèmes de pompe différents peuvent être installés : pompe immergée ou pompe de surface. Les pompes de surface sont souvent installées près de la source d'eau et aspirent l'eau par un côté avant de l'expulser par l'autre côté de la pompe. Les pompes de surface peuvent pomper l'eau jusqu'à 6 mètres de profondeur. Les pompes immergées sont installées sous l'eau, dans les puits et forages, et « repoussent » l'eau vers le haut.

Les pompes immergées sont installées à des profondeurs variant de 10 à 120 mètres de profondeur. Grâce à l'utilisation d'interrupteurs de commande (comme les interrupteurs à flotteur dans les réservoirs et les puits), les pompes immergées peuvent fonctionner en mode automatique. En revanche, les pompes de surface requièrent généralement la présence d'un opérateur qui vérifie régulièrement le comportement d'amorçage de la pompe. L'utilisation de chambres primaires et de clapets anti-retour permet d'éviter le désamorçage.

Les pompes de surface présentent plusieurs avantages par rapport aux pompes immergées : elles sont moins chères, plus faciles à installer, plus aisément accessibles pour l'entretien, et peuvent être utilisées pour une fertigation simple et aisée du côté admission/aspiration.

Les pompes à eau solaires sont généralement fabriquées avec de l'acier inoxydable non corrosif et conçues pour pomper de l'eau propre sans corps solides ni fibres. La durée de vie d'une pompe immergée dépend fortement de la qualité de l'eau et de l'installation. Si elle est installée dans un puits foré avec un tubage adéquat (et donc un dépôt réduit de sédiments), sa durée de vie peut atteindre 7 à 10 ans. Dans les puits et les forages mal construits présentant une

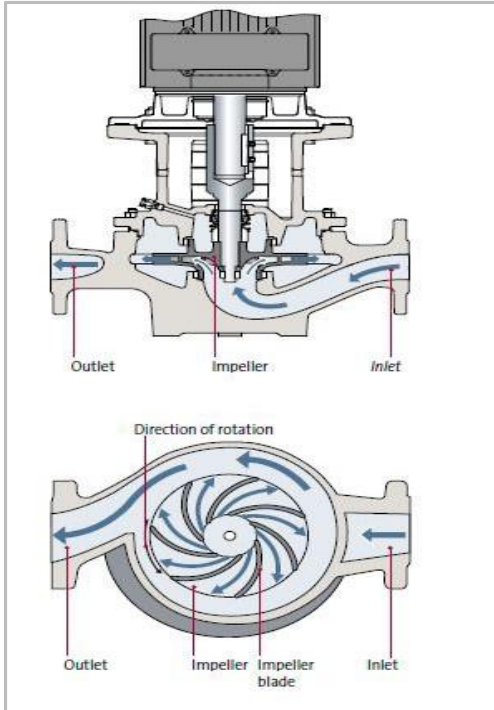
teneur en sédiments élevée, il est possible que la partie hydraulique de la pompe à eau doive être remplacée après 2 ou 3 ans d'utilisation. Afin de garantir un fonctionnement sûr du système, deux dispositifs de sécurité sont nécessaires :

- un capteur de niveau d'eau installé dans le réservoir de stockage qui arrête la pompe afin d'éviter tout débordement ;
- un deuxième capteur de niveau d'eau installé vers la base du puits pour éviter le fonctionnement à vide de la pompe.

On retrouve généralement deux types de pompes dans les systèmes de pompage solaires actuels : les pompes centrifuges et les pompes à rotor hélicoïdal.

### Pompe centrifuge

Une pompe centrifuge crée une augmentation de pression en transférant l'énergie mécanique du moteur vers le fluide à travers la turbine. Le fluide s'écoule par l'entrée de la pompe vers le centre de la roue, puis le long de ses aubes. La force centrifuge augmentant la vitesse du fluide, l'énergie cinétique est transformée en pression. La pression peut être augmentée en ajoutant simplement plusieurs étages en série. Les pompes centrifuges sont généralement utilisées lorsque les hauteurs de pompage sont faibles et la demande en eau élevée. C'est pourquoi les pompes centrifuges constituent l'option de prédilection pour les systèmes d'irrigation.



**Pompe centrifuge**

(Source : Grundfos).

### **Pompe à rotor hélicoïdal**

Une pompe à rotor hélicoïdal est un type de pompe à cavité progressive fonctionnant grâce à la rotation d'un rotor hélicoïdal disposé de manière étanche par rapport à une paroi hélicoïdale et poussant des sections discrètes de fluide à travers le dispositif.

Cette action de type tire-bouchon assure un écoulement sans pulsations et sans qu'il y ait besoin de valves, car le rotor hélicoïdal sépare de manière étanche les sections discrètes de fluide. Le débit est déterminé par la vitesse du rotor et est indépendant de la pression de sortie. Les pompes à rotor hélicoïdal se trouvent généralement dans des applications présentant des hauteurs de pompage élevées et de faibles débits d'eau, par exemple pour l'approvisionnement en eau potable.



**Pompe de surface sur structure mobile**  
(Source : Lennart Woltering)

## 6. SYSTEME DE CONTROLE

Géré par l'exploitant agricole sur le terrain ou en ligne, le système de contrôle permet de mesurer la pression, le débit et le niveau d'eau et d'évaluer la performance du système.

Il est utilisé pour :

- observer et effectuer le suivi du fonctionnement et de la performance du système ;
- contrôler les quantités d'eau pompée vers le système d'irrigation ;
- fournir des données sur le système pour le test d'acceptation après l'installation ;
- éviter les impacts négatifs sur l'environnement (par exemple l'épuisement des eaux souterraines).

Enfin, le contrôle est important pour veiller à ce que le système fonctionne de manière à assurer la durabilité de la productivité à long terme de l'exploitation agricole.

Certains fabricants de pompes solaires ont inclus des systèmes de contrôle dans leurs gammes de produits. Chaque SPIS devrait disposer d'un système de contrôle de base comprenant des manomètres, un débitmètre et une sonde de niveau d'eau. Cette dernière est un outil simple permettant de vérifier le niveau d'eau dans un puits. Lorsque l'électrode métallique atteint la nappe phréatique, une lumière clignote et la valeur exacte peut être lue sur le ruban de la sonde. Contrôler le niveau d'eau plusieurs fois par jour permet d'obtenir une indication sur le comportement dynamique du puits. Le niveau d'eau dynamique est un paramètre important pour déterminer la hauteur de pompage totale (se reporter au module **CONCEVOIR**).

Lorsque l'eau est pompée directement vers le système d'irrigation sans passer

par un réservoir surélevé, il est important de surveiller le débit et la pression de l'eau dans le système d'irrigation, car la quantité d'eau distribuée aux plantes peut varier considérablement dans un même champ. La photo ci-dessous montre un système de contrôle composé d'un débitmètre et de manomètres de chaque côté du filtre permettant de contrôler la perte de pression à travers le filtre.

Un système de contrôle plus perfectionné comprendrait des capteurs pour mesurer

- l'irradiance solaire (par ex. sur des surfaces horizontales et inclinées) ;
- les précipitations, l'humidité relative et la vitesse du vent ;
- la hauteur de pompage totale.



Système de suivi

(Source : Reinhold Schmidt, 2015)

En outre, le système de contrôle peut comporter des capteurs dans le réservoir et dans le système d'irrigation lui-même.

Des dispositifs de contrôle plus sophistiqués (et plus coûteux) peuvent comprendre l'enregistrement automatique des données. L'enregistreur de données enregistre et stocke en continu tous les paramètres du système sur une période relativement longue. Un logiciel d'évaluation spécial permet une analyse rapide des données sur le terrain. Dans les régions excentrées non raccordées au réseau public, les enregistreurs de données fonctionnent généralement à

l'énergie solaire et peuvent même inclure des dispositifs de communication modernes (GSM) dotés de la possibilité de vérifier la performance du système à l'aide d'un smartphone (cf. également le module **ENTREtenir**).



## 7. RESERVOIR

Un réservoir peut exercer plusieurs fonctions pour un système d'irrigation : il permet d'accumuler et de stocker l'eau pompée au cours de la journée, de générer de la pression pour que le système d'irrigation distribue l'eau sur l'ensemble du champ et, dans les petits systèmes d'irrigation goutte à goutte, il peut être utilisé pour le mélange d'engrais solubles. La production des pompes solaires variant au cours de la journée en raison de l'irrégularité du rayonnement solaire, un réservoir peut être utilisé pour préserver la quantité d'eau disponible pour l'irrigation.



### Réservoir surélevé

(Source : Andreas Hahn)

Il existe de nombreuses manières de stocker l'eau, qui vont des simples réservoirs creusés à ciel ouvert jusqu'aux coûteuses citernes métalliques surélevées, en passant par les réservoirs en béton et en plastique.

Les **réservoirs à ciel ouvert** sont peu coûteux et relativement faciles à construire, mais présentent des inconvénients majeurs : les pertes élevées d'eau par évaporation, l'accumulation rapide de débris et de sédiments et la prolifération des algues. Ces effets peuvent être réduits de manière significative en couvrant le réservoir d'une

bâche en plastique, par exemple. L'installation des panneaux solaires sur des structures de montage flottantes permet de diminuer l'évaporation de l'eau et la prolifération des algues.

**Réservoirs surélevés** : il s'agit de la configuration classique d'un SPIS. L'eau pompée est stockée dans un réservoir d'eau surélevé et l'irrigation fonctionne par gravité. Le réservoir surélevé joue le rôle d'une batterie où l'énergie est stockée sous forme d'eau. La pression du système d'irrigation dépend de la hauteur du niveau d'eau dans le réservoir de stockage. Ce dernier permet également d'irriguer avant le lever du soleil. Les réservoirs en plastique prêts à l'emploi sont disponibles dans différentes tailles, faciles à installer et ne se corrodent pas, contrairement aux réservoirs en métal ou en ciment.

Afin d'assurer un fonctionnement sûr du système, il convient d'installer, dans le réservoir, un capteur de niveau d'eau qui arrête la pompe pour éviter tout débordement. (Dans le cas où une pompe immergée est installée dans un puits, un deuxième capteur de niveau d'eau devra être installé pour éviter le fonctionnement à vide de la pompe. Ces capteurs sont souvent intégrés par défaut dans la motopompe). Les réservoirs d'eau stockant généralement d'énormes quantités d'eau, il est important que leurs fondations et leur structure de soutien répondent aux exigences d'ordre statique.





Réservoir à ciel ouvert avec bâche

(Source : Jan Sass, 2014)

## 8. TETE D'IRRIGATION

La tête d'irrigation est la partie du système d'irrigation où sont gérées la quantité, la qualité et la pression de l'eau. Elle est indispensable dans les systèmes d'irrigation qui fonctionnent sous pression, comme l'irrigation par aspersion et l'irrigation goutte à goutte.

Une tête d'irrigation se compose habituellement des éléments suivants :

- des **vannes** permettant de contrôler la quantité d'eau qui s'écoule vers les différentes sections d'un système d'irrigation ;
- des **filtres** permettant d'éliminer les particules susceptibles d'obstruer les émetteurs ou les buses de l'aspersion ;
- un **système de fertigation** permettant de mélanger des engrais hydrosolubles dans l'eau d'irrigation ;
- des **régulateurs de pression**.

Dans les systèmes d'irrigation de surface, la tête d'irrigation peut être composée

uniquement de vannes. La tête d'irrigation des systèmes goutte à goutte et par aspersion contient au moins une vanne et un filtre.

### Vannes

Le système d'irrigation est généralement divisé en plusieurs sections pour améliorer le contrôle de la quantité et de la pression de l'eau dans le champ. L'eau circulant dans chaque section est contrôlée par des vannes manuelles ou automatiques. Les vannes automatiques peuvent être contrôlées en fonction du volume ou de la durée. L'exploitant agricole détermine le volume d'irrigation requis par section et la vanne automatique se ferme dès que la valeur cible est atteinte. Il est recommandé d'utiliser des vannes volumétriques, en particulier lorsque l'eau est directement pompée vers le système d'irrigation sans passer par un réservoir. Les vannes automatiques ont pour inconvénients leur coût élevé et la nécessité d'un remplacement régulier, elles ont également besoin d'électricité pour faire fonctionner le dispositif.



Photo: Lemnart

Tête d'irrigation avec un filtre à disques et plusieurs vannes qui guident l'eau vers différentes sections du système d'irrigation

(Source : Lennart Woltering).

## Filtre

Un filtre est un élément essentiel dans tout système d'irrigation par aspersion ou goutte à goutte, car il réduit le risque d'obstruction des buses et des émetteurs. L'obstruction est causée par des matières inorganiques comme le sable et l'argile, ainsi que par des matières organiques comme les algues et les bactéries, qui s'accumulent et bloquent l'émetteur. Les filtres doivent être nettoyés plusieurs fois par jour en fonction de la qualité de l'eau d'irrigation (sédiments, sels dissous, etc.).

Une première analyse de l'eau peut renseigner, sur la taille et la quantité des particules, des informations permettant d'identifier la technologie nécessaire pour le filtre. Cette solution n'est toutefois pas réalisable par toutes les exploitations agricoles, car certaines n'ont pas accès aux kits de test ou aux laboratoires. L'eau de surface d'un réservoir ou d'une rivière doit être filtrée beaucoup plus fréquemment que l'eau d'un puits ou d'un forage, qui est filtrée naturellement dans le sol.

En choisissant un filtre pour un système d'irrigation à énergie solaire, il est important d'avoir à l'esprit que :

- les filtres doivent être adaptés au débit de la pompe ;
- la perte de pression à travers le filtre doit être réduite au minimum et contrôlée ;
- l'entretien doit être facile et la durée de vie assez longue.

Il existe trois principaux systèmes de filtre :

1. filtre à tamis : filtre utilisant un tamis en acier inoxydable (maillage), en polypropylène, en nylon ou en polyester pour séparer les particules de l'eau. La perte de pression dans les filtres à tamis tendant à être assez élevée, il n'est pas recommandé de les utiliser dans les systèmes d'irrigation à énergie solaire.

2. filtre à disques : un filtre à disques comprend une pile de disques comprimés présentant des rainures qui se chevauchent. L'eau non filtrée passe à travers la pile de disques étroitement comprimés et elle est obligée de s'écouler à travers les rainures d'emboîtement des bagues de disques où les débris sont piégés. Les impuretés sont retenues sur une très grande surface, ce qui explique une perte de pression relativement faible. Pour le nettoyage manuel, les bagues du filtre doivent être retirées et rincées à l'eau claire. Lors de l'utilisation de filtres à disques pour SPIS, il est conseillé d'installer le modèle de taille supérieure pour réduire la chute de pression caractéristique, proportionnelle au débit, ou d'installer deux filtres opérant en parallèle. L'entretien doit être effectué à intervalles rapprochés afin de réduire de manière significative la perte de pression accumulée. Les systèmes de rétro-rinçage automatique fonctionnent avec une pression beaucoup plus élevée et ne sont donc pas adaptés au concept de réduction au minimum de la pression des SPIS.
3. filtre à granulés/sable : ces filtres ont une grande capacité d'élimination des particules de l'eau. Cette dernière est acheminée à travers un réservoir métallique rempli de sable, lequel retient les grosses et les petites particules. La saleté s'accumule dans l'espace se trouvant entre les particules de sable, ce qui requiert un rétro-rinçage à l'eau claire. Le filtre à sable demande des pressions élevées pour le fonctionnement et le rétro-rinçage, ce qui le rend moins adéquat pour un SPIS.

## 9. SYSTEME DE FERTIGATION

La fertigation est l'injection d'**engrais** dans un système d'irrigation. Ce terme est formé des mots « fertilisation » et « irrigation ». Le système de fertigation est relié à la tête d'irrigation.

La fertigation est très répandue dans l'agriculture commerciale et l'horticulture et sert principalement à apporter des nutriments supplémentaires aux plantes. Elle est généralement pratiquée sur des cultures à forte valeur ajoutée telles que les légumes et les arbres fruitiers. Du fait de leur fréquence d'utilisation et de la possibilité pour l'exploitant agricole de contrôler facilement l'application d'eau, les systèmes d'irrigation goutte à goutte sont particulièrement bien adaptés à la fertigation. Les engrais liquides présentent souvent un risque d'obstruction attribuable à l'occurrence fréquente d'une réaction chimique entre les matières organiques et inorganiques présentes dans l'eau d'irrigation. Pour réduire cet effet d'obstruction, il est conseillé de rincer le système avec de l'eau pure après avoir utilisé de l'engrais liquide. Les engrais livrés sous forme de solution peuvent être injectés directement dans le système d'irrigation. En revanche, les engrais sous forme de granulés secs (par exemple l'urée) ou de cristaux doivent être mélangés avec de l'eau pour former une solution. Compte tenu de la pression de fonctionnement relativement faible (0,2-0,5 bar) d'un SPIS, les options de fertigation suivantes peuvent être envisagées :

1. réservoirs à pression différentielle ;
  2. buses de type Venturi ;
  3. pompes doseuses électriques ;
  4. pompes doseuses hydrauliques.
1. Les **réservoirs à pression différentielle**, souvent appelées « réservoirs de charge », sont des dispositifs d'injection simples où la quantité d'engrais injectée diminue

lentement au fil du temps, comme si un seau se vidait. Si la concentration chimique doit rester relativement constante pendant l'injection, les réservoirs de charge ne sont pas appropriés.

2. La **buse de type Venturi** utilise « l'effet Venturi ». En raison de la perte de pression élevée des buses Venturi et du fait que la pression fournie par une pompe à eau photovoltaïque n'est pas constante (ce qui entraînerait une forte variation de la concentration d'engrais), la buse Venturi n'est pas recommandée pour les systèmes d'irrigation à énergie solaire.
3. Les **pompes doseuses électriques** sont les dispositifs d'injection les plus onéreux, mais elles assurent une concentration constante et précise et sont des systèmes robustes.
4. Pour les applications hors réseau, les **pompes doseuses hydrauliques** installées directement dans la conduite d'alimentation en eau peuvent être utilisées dans les SPIS. Elles fonctionnent à des pressions relativement faibles et la dose sera directement proportionnelle au volume d'eau entrant dans la pompe de dosage, indépendamment des variations de débit et de pression qui peuvent se produire dans la canalisation principale.

En outre, la forme la plus simple de fertigation consiste à mélanger un engrais soluble (par exemple de l'urée) dans le réservoir surélevé d'un système d'irrigation goutte à goutte à basse pression.

La difficulté de la fertigation consiste à contrôler la concentration au fil du temps. Un surdosage aura un impact négatif sur l'environnement et sur les coûts de production.

Dans les cas où des pompes de surface sont utilisées pour la fertigation, il est

recommandé d'injecter l'engrais par le côté aspiration : c'est là un moyen bon marché, facile et fiable de pratiquer la fertigation.

La chimigation est le terme général utilisé pour désigner l'injection **d'engrais**, d'amendements du sol et d'autres produits hydrosolubles dans un système d'irrigation. Dans un système d'irrigation goutte à goutte, la chimigation peut être utilisée pour injecter des produits chimiques destinés à diluer les débris et autres matières qui ont tendance à obstruer les sorties ou les coudes étroits. Après un certain temps, l'eau traitée, y compris la matière dissoute, est évacuée de chaque ligne de goutte à goutte. Il est nécessaire de faire appel à des hydrauliciens qualifiés pour élaborer un plan de chimigation adapté aux besoins de l'exploitant agricole et correspondant à la qualité de l'eau de l'exploitation.



## 10. SYSTEME D'IRRIGATION

L'eau est l'intrant le plus important pour la croissance des plantes dans la production agricole. L'irrigation consiste dans l'application contrôlée d'eau par des systèmes artificiels afin de satisfaire les besoins en eau des plantes auxquels les seules précipitations ne peuvent pas répondre. Différentes méthodes peuvent être utilisées pour l'irrigation (à commencer par le simple arrosage des plantes avec un pot ou un seau). Le choix d'un système d'irrigation particulier dépend principalement des cultures à irriguer, de la disponibilité de l'eau, des besoins en eau d'irrigation, de l'approvisionnement en énergie ainsi que de la capacité financière de l'exploitant agricole. Les pompes solaires pompent l'eau vers l'exploitation agricole, d'où elle peut être collectée pour être distribuée manuellement. L'eau peut également être pompée directement vers le champ grâce à un système de canaux (irrigation de surface) ou de tuyaux (irrigation par aspersion et goutte à goutte). En principe, les pompes solaires peuvent être utilisées pour fournir de l'eau à n'importe quel type de système d'irrigation. La taille (et le coût) du générateur photovoltaïque est déterminée en grande partie par les besoins en eau et

en pression du système d'irrigation. Il convient toutefois de tenir compte du fait que les SPIS sont relativement chers, ce qui oblige les exploitants agricoles à cultiver des denrées à haute valeur ajoutée pour garantir leur viabilité financière. Par ailleurs, les économies d'eau ont des répercussions positives sur les coûts d'investissement du système de pompage solaire et sur l'environnement.

Les systèmes d'irrigation de surface ne conviennent pas toujours à une production agricole à haute valeur ajoutée et leur efficacité hydrique laisse à désirer. Toutefois, les SPIS comportant des systèmes d'irrigation de surface sont largement utilisés car ils ne nécessitent pas l'adoption d'une nouvelle méthode d'irrigation par le producteur. Les SPIS sont rarement associés à l'irrigation par aspersion du fait que le fonctionnement de cette dernière demande des pressions d'eau relativement élevées, ce qui nécessite des générateurs photovoltaïques coûteux.

Les technologies d'irrigation économes en eau qui fonctionnent à des pressions de service relativement basses sont la solution privilégiée en ce qui concerne les systèmes de pompage photovoltaïques.



Émetteur externe

(Source : Andreas Hahn, 2015)



Les systèmes d'irrigation goutte à goutte fonctionnent normalement à des pressions élevées de 1 à 10 bars. Heureusement, la technologie a été adaptée pour tenir compte des basses pressions et permettre un fonctionnement plus simple. Ces systèmes d'irrigation goutte à goutte à basse pression peuvent assurer une application d'eau uniforme à 80 %, même à partir de quelques bars de pression. La performance du système dépend

fortement de la pression, de la taille et de la forme du champ irrigué. L'irrigation goutte à goutte à énergie solaire est le résultat du « mariage » de deux systèmes qui vont très bien ensemble. L'irrigation goutte à goutte est idéale pour la production de cultures à haute valeur ajoutée telles que les légumes et les fruits, et en raison de son rendement élevé, la pompe solaire peut avoir une taille assez classique.

#### Adéquation des méthodes d'irrigation au pompage photovoltaïque

Mode de distribution	Efficacité habituelle de l'application d'eau	Hauteur habituelle	Adéquation d'utilisation avec des pompes photovoltaïques
Irrigation par submersion	40–50 %	0,5 m	peu rentable
Canaux ouverts	50-60%	0,5-1 m	dépend des conditions locales
Pulvérisateur	70-80%	10-20 m	Non
Irrigation goutte à goutte à basse pression	80%	1-10 m	Oui
Irrigation goutte à goutte à haute pression	85-95 %	10-100m	Non

## LECTURES, LIENS ET OUTILS COMPLEMENTAIRES

### Autres lectures :

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. & Smith M. (1998) : Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements (« Évapotranspiration des cultures - Orientations pour calculer les besoins en eau des cultures »). Dans : *FAO Irrigation and drainage paper 56*. Extrait de [https://appgeodb.nancy.inra.fr/biljou/pdf/Allen\\_FAO1998.pdf](https://appgeodb.nancy.inra.fr/biljou/pdf/Allen_FAO1998.pdf)

Burney, J., Woltering, L., Burke, M., Naylor, R. & Pasternak, D. (2009) : Solar-powered drip irrigation enhances food security in the Sudano–Sahel (« L'irrigation goutte à goutte solaire améliore la sécurité alimentaire dans la région Soudan-Sahel »). Dans : *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107 (5), 1848–1853. doi: 10.1073/pnas.0909678107. Extrait de <http://www.pnas.org/content/107/5/1848.abstract>

Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie (DGS) (2008) : Planning and Installing Photovoltaic Systems: A Guide for Installers, Architects and Engineers (« Planification et installation de systèmes photovoltaïques: Guide à l'intention des installateurs, architectes et ingénieurs ») : Earthscan (Planning and Installing Series). Extrait de [https://books.google.de/books?id=fMo3jJZDkpUC&printsec=frontcover&hl=de&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.de/books?id=fMo3jJZDkpUC&printsec=frontcover&hl=de&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Hahn, A., Sass, J. & Fröhlich, C. (2015) : Manual and tools for promoting SPIS. Multicountry - Stocktaking and Analysis Report (« Manuel et outils de promotion des SPIS. Bilan et rapport d'analyse multinational »). GFA Consulting Group. Extrait de [http://energypedia-uwe.idea-sketch.com/wiki/File:Stocktaking\\_and\\_Analysis\\_Report\\_-\\_Final\\_Draft.pdf](http://energypedia-uwe.idea-sketch.com/wiki/File:Stocktaking_and_Analysis_Report_-_Final_Draft.pdf)

KPMG (2011) : The Rising Sun. A point of View on the Solar Energy Sector in India (« Le Soleil Levant. Un point de vue sur le secteur de l'énergie solaire en Inde »). Inde. Extrait de <https://www.kpmg.de/docs/The-Rising-Sun.pdf>

Laboratoire national des énergies renouvelables (NREL) (2012) : Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Solar Photovoltaics (« Émissions de gaz à effet de serre lors du cycle de vie des dispositifs solaires photovoltaïques »). Extrait de <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/56487.pdf>

Raghavan, S. V., Bharadwaj, A., Thatte, A. A., Harisch S., Iychettira, K.K., Perumal, R. & Nayak, G. (2010) : Harnessing solar energy: Options for India (« Exploiter l'énergie solaire : options pour l'Inde »). Center for Study of Science, technology and Policy (CSTEP). High Grounds, Bangalore. Extrait de <https://www.slideshare.net/abyshares24/harnessing-solar-energyoptionsforindiafull-report>

Schmidt, R. (2012) : Aplicaciones de Energía Solar Fotovoltaica; Diseño, Implementación, Experiencias (« Applications de l'énergie solaire photovoltaïque : conception, mise en œuvre, expériences »).

Woltering, L., Pasternak, D. & Ndjeunga, J. (2011) : The African Market Garden: The Development of an Integrated Horticultural Production System for Smallholder Producers in West Africa (« Le jardin maraîcher africain : développement d'un système intégré de production horticole pour les petits producteurs en Afrique de l'Ouest »). Dans : *Irrigation and Drainage* 60 (5), 613-621. doi: 10.1002/ird.610.

### Liens

Centre commun de recherche (CCR) de la Commission européenne (2012) : Système d'information géographique sur l'énergie photovoltaïque (Photovoltaic Geographical Information System, PVGIS). Geographical Assessment of Solar Resource and Performance of Photovoltaic Technology (« Évaluation géographique des ressources solaires et des performances de la technologie photovoltaïque »). Extrait de <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>.

Irrigation Association (2017) : Glossaire de l'irrigation. Extrait de <http://www.irrigation.org/IAGlossary>.

Meteonorm : Logiciel Meteonorm. Irradiation data for every place on Earth (« Données concernant l'ensoleillement de chaque endroit de la Terre »). Extrait de <http://www.meteonorm.com/en/>.

NASA (2016) : Surface meteorology and Solar Energy (« Météorologie de surface et énergie solaire »). Avec la collaboration du Centre de données des sciences atmosphériques (« Atmospheric Science Data Centre »). Extrait de <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse>.

Certains fabricants de systèmes de montage/suiveurs proposent des outils de conception spécifiques aux produits, que l'on peut généralement trouver sur le site Web du fabricant.

### **Outils SPIS**

Aucun outil pour ce module.

## GLOSSAIRE TECHNIQUE

Aquifère	Formation(s) géologique(s) souterraine(s) contenant des quantités exploitables d'eau souterraine qui peuvent alimenter des puits ou des sources à des fins domestiques, industrielles et d'irrigation.
Chimigation	Processus d'application de produits chimiques (engrais, insecticides, herbicides, etc.) sur les cultures ou le sol au moyen de l'eau diffusée par un système d'irrigation.
Perte de transport	Perte d'eau d'une conduite ou d'une canalisation au cours du transport, y compris les pertes dues à des déperditions, des fuites, l'évaporation et autres pertes.
Coefficient de récolte	Rapport entre l'évapotranspiration réelle de la culture et son potentiel (ou sa référence) d'évapotranspiration. Il est différent pour chaque culture et varie au fil du temps en fonction du stade de croissance.
Besoin en eau des cultures (BEC)	Quantité d'eau nécessaire à une plante. Dépend du climat, de la culture, de la gestion et des conditions environnementales. S'apparente à l'évapotranspiration des cultures.
Courant (I)	Le courant est le flux électrique créé lorsqu'un conducteur est sous tension, ou le débit de la charge électrique, exprimé en ampères [A].
Percolation profonde	Déplacement de l'eau vers le bas à travers le profil du sol sous la zone racinaire. Cette eau est perdue pour les plantes et finit par se retrouver dans les eaux souterraines. [mm]
Rabattement	Abaissement du niveau d'eau résultant du pompage.
Irrigation goutte à goutte	L'eau est appliquée à la surface du sol à des débits extrêmement faibles (gouttes ou faible écoulement) par des émetteurs. Également connu sous le nom d'irrigation goutte à goutte ou de micro-irrigation.
Émetteur	Petit dispositif de distribution de la micro-irrigation conçu pour diminuer la pression et laisser s'écouler un petit flux ou un filet d'eau uniforme à débit constant et sans variations significatives du fait de différences mineures dans la tête de pression. Également appelé « goutteur » ou « asperseur ».
Évaporation	Perte d'eau sous forme de vapeur provenant de la surface du sol ou de feuilles humides. [mm]
Évapotranspiration (ET)	Perte d'eau résultant de l'évaporation au niveau du sol et de la transpiration des plantes. L'ET des cultures (ETc) peut être évaluée en calculant l'ET de référence pour une culture de référence spécifique (ETo pour l'herbe coupée) à partir des données météorologiques et en multipliant ce résultat par un coefficient cultural. L'ETc, ou perte d'eau, est égale au BEC (soit l'eau nécessaire à la plante). [mm]
BBEI	Le besoin brut en eau d'irrigation (BBEI) sert à exprimer la quantité d'eau dont le système d'irrigation a besoin. [mm]

Fertigation	Application d'engrais par l'intermédiaire d'un système d'irrigation. Une forme de chimigation.
Viabilité financière	Capacité à générer des revenus suffisants pour faire face aux dépenses de fonctionnement, répondre aux besoins de financement et, dans l'idéal, générer des profits. La viabilité financière est habituellement évaluée à l'aide des approches de la valeur actuelle nette (VAN) et du taux de rentabilité interne (TRI) ainsi que d'une estimation de la sensibilité des éléments de coût et de revenu.
Perte de charge	Perte de pression due au débit d'eau dans le tuyau. Elle dépend de la taille du tuyau (diamètre intérieur), du débit et de la longueur du tuyau. Elle est déterminée en se référant à un tableau des pertes de charge par frottement disponible dans un livre de référence en ingénierie ou auprès d'un fournisseur de tuyaux. [m]
Rayonnement solaire global (G)	Énergie transportée par rayonnement sur une surface pendant un certain temps. Le rayonnement solaire global est spécifique à chaque endroit car il est influencé par les nuages, l'humidité de l'air, le climat, l'altitude, la latitude, etc. Le rayonnement solaire global sur une surface horizontale est mesuré via un réseau de stations météorologiques dans le monde entier et s'exprime en kilowatt-heures par mètre carré [kWh/m <sup>2</sup> ].
Écoulement par gravité	Utilisation de la gravité pour produire une pression et un débit d'eau, par exemple en élevant un réservoir de stockage au-dessus du point d'utilisation pour que l'eau s'écoule sans pompage supplémentaire.
Hauteur de charge	Valeur de la pression atmosphérique à un endroit et dans des conditions spécifiques. [m]:  Hauteur de charge totale (dynamique) : somme de la charge statique, de la pression, du frottement et de la charge de vitesse exercée par la pompe lorsqu'elle fonctionne à un débit spécifique. [m];  Perte de charge : perte d'énergie dans l'écoulement d'un fluide. [m]
Infiltration	Action de l'eau qui pénètre dans le sol.
Insolation	Quantité de rayonnement solaire touchant une surface, exprimée en watts par mètre carré [W/m <sup>2</sup> ]. Également appelée rayonnement solaire.
Irradiance	Intégration ou somme de l'insolation (équivalente au rayonnement solaire) sur une période donnée, exprimée en joules par mètre carré (J/m <sup>2</sup> ) ou en watt-heures par mètre carré [Wh/m <sup>2</sup> ].
Irrigation	L'irrigation est l'application contrôlée d'eau pour répondre aux besoins des cultures.

Effacité de l'irrigation	Rapport de la quantité d'eau d'irrigation utile à la quantité totale d'eau d'irrigation appliquée. [%]
Tête d'irrigation	Unité de contrôle pour réguler la quantité, la qualité et la pression de l'eau dans un système d'irrigation utilisant différents types de vannes, régulateurs de pression, filtres et éventuellement un système de chimigation.
Canalisation latérale	Tuyau(x) allant des vannes de contrôle aux gicleurs ou aux tubes à goutteurs.
Latitude	La latitude indique la position nord-sud d'un point à la surface de la Terre. C'est un angle qui va de 0° à l'équateur jusqu'à 90° (nord ou sud) aux pôles. Les lignes de latitude constante, ou parallèles, s'étendent d'est en ouest sous forme de cercles parallèles à l'équateur. La latitude est utilisée avec la longitude pour indiquer l'emplacement précis d'éléments à la surface de la Terre.
Lessivage	Dissolution et transport par l'eau des matières solubles à travers le profil du sol.
Suivi du point maximal de puissance (MPPT)	Fonction importante dans de nombreux boîtiers de commande permettant de prélever la bonne quantité de courant afin de maintenir une tension élevée et d'obtenir une efficacité maximale du système.
Besoins nets en eau d'irrigation (BNEI)	La somme des besoins de chaque plante en eau d'irrigation pour une période donnée. Les BNEI déterminent la quantité d'eau qui doit atteindre la culture pour satisfaire son besoin en eau dans le sol. [mm]
Puissance (P)	La puissance est la vitesse à laquelle l'énergie est transférée par un circuit électrique, exprimée en watts. La puissance dépend de la quantité de courant et de la tension dans le système. La puissance est égale au courant multiplié par la tension ( $P=I \times V$ ). [W]
Photosynthèse	La photosynthèse est un processus utilisé par les plantes et d'autres organismes pour convertir l'énergie lumineuse en énergie chimique, laquelle peut ensuite être libérée pour alimenter les activités des organismes (transformation énergétique).
Pression	Mesure de la force au sein d'un système. C'est la force qui fait circuler l'eau dans les tuyaux, les gicleurs et les émetteurs. La pression statique est mesurée lorsque l'eau ne coule pas, la pression dynamique lorsque l'eau coule. La pression et le débit s'influencent mutuellement. [bars, psi, kPa]
Amorçage	Remplissage manuel d'un tuyau d'aspiration et alimentation d'une pompe de surface. L'amorçage est généralement nécessaire lorsqu'une pompe doit être installée au-dessus de la source d'eau.
Pompe	Convertit l'énergie mécanique en énergie hydraulique (pression et/ou débit)

	<p>Pompe immergée : combinaison moteur/pompe conçue pour être installée entièrement sous la surface de l'eau.</p> <p>Pompe de surface : pompe non immergée et placée jusqu'à environ 7 mètres maximum au-dessus de la surface de l'eau.</p>
Zone racinaire	Profondeur ou volume du sol d'où les plantes puisent efficacement l'eau. [m]
Salinité	La salinité désigne la quantité de sels dissous dans l'eau du sol.
Efficacité des panneaux solaires	L'efficacité des panneaux solaires consiste dans le rapport entre la lumière qui brille sur le panneau et la quantité d'électricité produite. Elle est exprimée en pourcentage. La plupart des systèmes sont efficaces à environ 16 %, ce qui signifie que 16 % de l'énergie lumineuse est transformée en électricité.
Hauteur d'aspiration	Distance verticale entre la surface de l'eau et la pompe. Cette distance est limitée par la physique à environ 7 mètres et doit être réduite au minimum pour obtenir les meilleurs résultats. Ce principe s'applique uniquement aux pompes de surface.
Irrigation de surface	<p>Méthode d'irrigation dans laquelle la surface du sol sert à transporter l'eau par gravité de la source jusqu'aux plantes. Les méthodes communes d'irrigation de surface sont :</p> <p>l'irrigation par sillons : l'eau est acheminée entre les lignes de culture dans des petits fossés ou rigoles creusés par les instruments de préparation du sol ;</p> <p>l'irrigation en bassin : l'eau est amenée sur une surface entièrement plane entourée de digues et</p> <p>l'irrigation par inondation : l'eau est amenée à la surface du sol sans dispositifs permettant de contrôler le débit comme les sillons ou les bordures.</p>
Transpiration	Eau absorbée par les racines de la plante et exsudée par les feuilles. [mm]
Tension électrique (U ou V)	La tension électrique est le potentiel électrique entre deux points ou la différence entre les potentiels électriques de deux points dans un circuit. Elle s'exprime en volts [V].