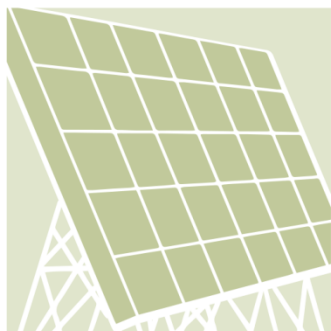


POWERING AGRICULTURE:

AN ENERGY GRAND CHALLENGE
FOR DEVELOPMENT

TOOLBOX ON SOLAR POWERED IRRIGATION SYSTEMS (SPIS)



Module 9: Irriguer



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 agroindustries 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 financier 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

Téléchargement

https://energypedia.info/wiki/Toolbox_on_SPIS

En savoir plus

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

<https://poweringag.org>

Version

1.0 (avril 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.

© GIZ et FAO, 2017

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 financière)	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 ²	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

DEFINITIONS

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 ainsi que de la gestion et des conditions environnementales. C'est la même chose que 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].
Drainage	Élimination naturelle ou artificielle de l'excédent d'eau souterraine et de surface et du sel dissout afin d'améliorer la production agricole. Dans le cas d'un drainage naturel, l'excédent d'eau s'écoule depuis les champs vers les lacs, marécages, ruisseaux et rivières. Dans le cas d'un système artificiel, l'excédent d'eau souterraine ou de surface est éliminé au moyen de canalisations souterraines ou de surface.
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. [en mm, 1 mm représentant 10 m ³ /ha]
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 de micro-irrigation.
Émetteur	Petit dispositif de distribution par micro-irrigation conçu pour dissiper la pression et libérer un petit flux uniforme ou un filet d'eau à débit constant et sans variations significatives du fait de différences mineures dans la tête de pression. Également appelé « goutteur » ou « asperseur ».
Évaporation (E)	Conversion de l'eau liquide en vapeur d'eau éliminée de la surface d'évaporation. Cette perte d'eau sous forme de vapeur se produit à la surface du sol ou au niveau de la végétation humide, [en mm, 1 mm représentant 10 m ³ /ha]

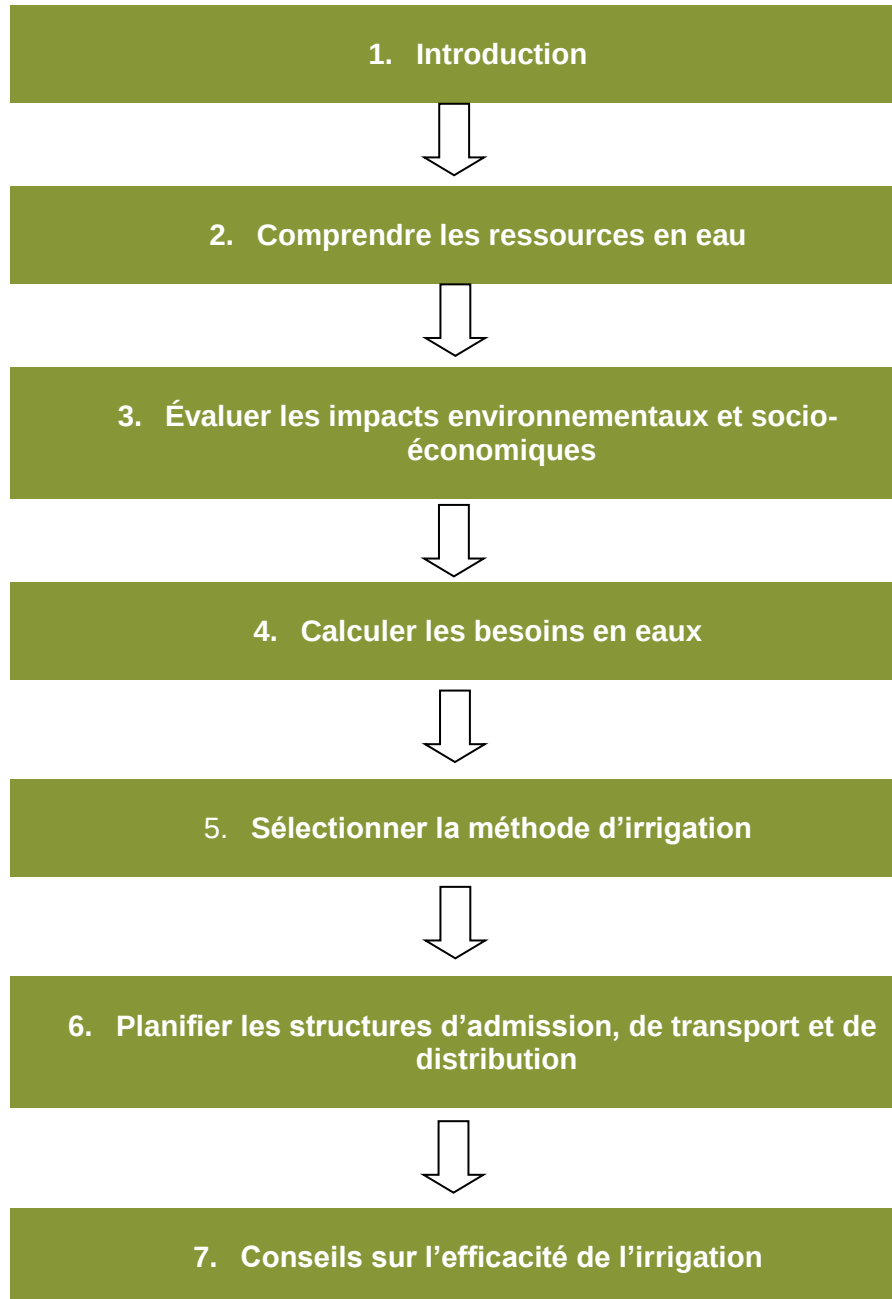
Évapotranspiration (ET)	Perte d'eau résultant de l'évaporation au niveau du sol et de la transpiration des plantes ; l'évaporation et la transpiration se produisent simultanément et il n'est pas facile de différencier les deux processus. L'ET de la culture (ETc) peut être évaluée en calculant l'ET de référence pour une culture de référence particulière (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). [en mm, 1 mm représentant 10 m ³ /ha]
BBEI	Le besoin brut en eau d'irrigation (BBEI) sert à exprimer la quantité d'eau dont le système d'irrigation a besoin [en mm, 1 mm représentant 10 m ³ /ha].
Infiltration	Action de l'eau qui pénètre dans le sol.
Fertigation	Application d'engrais via le 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 (cf. module FINANCER).
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]
Irrigation entièrement contrôlée	Expression désignant l'irrigation de surface, l'irrigation par aspersion et / ou l'irrigation localisée.
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 ²].
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]

Insolation	Quantité de rayonnement solaire touchant une surface, exprimée en watts par mètre carré [W/m ²]. 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 ²) ou en watt-heures par mètre carré [Wh/m ²].
Irrigation	L'irrigation est l'application contrôlée d'eau pour répondre aux besoins des cultures.
Efficacité de l'irrigation	Rapport de la quantité d'eau d'irrigation utile à la quantité totale d'eau d'irrigation appliquée. [%]
Collecteur d'eau surélevé	Collecteur d'eau surélevé par rapport au niveau du sol et régulant la quantité, la qualité et la pression de l'eau dans un système d'irrigation. Comporte généralement différents types de vannes, régulateurs de pression, filtres et, éventuellement, un système de chimigation.
Régime foncier	Lien juridique ou coutumier entre des personnes, en tant que particuliers ou groupes, et la terre (VGGT 2012).
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)	Permet aux panneaux solaires de tourner automatiquement sur un axe pour rester dans l'angle optimal d'irradiance solaire. 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. [en mm, 1 mm représentant 10 m ³ /ha]
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.
Photosynthèse	La photosynthèse est un processus utilisé par les plantes et d'autres organismes pour convertir l'énergie lumineuse en énergie chimique.
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) Pompe immergée : combinaison moteur/pompe conçue pour être installée entièrement sous la surface de l'eau. Pompe de surface : pompe non immergée et placée jusqu'à environ 7 mètres maximum au-dessus de la surface de l'eau.
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.
Salinisation	Se produit lorsqu'on utilise de l'eau souterraine ou de surface contenant des sels minéraux pour irriguer des cultures ; ces sels sont alors entraînés dans la zone racinaire. Le phénomène d'évapotranspiration laisse le sel dans le sol et accroît ainsi sa teneur en sel.
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	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 : 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 l'irrigation en bassin – l'eau est appliquée sur une zone complètement plane entourée de digues, et l'irrigation par ruissellement naturel – l'eau est appliquée sur la surface du sol sans éléments de contrôle du flux, par exemple sillons ou bordures.
Transpiration (T)	Eau liquide absorbée par les racines de la plante, contenue dans les tissus de la plante, et vaporisée ou transpirée dans l'atmosphère par de petites

	ouvertures naturelles sur l'épiderme des feuilles, appelées stomates. [en mm, 1 mm représentant 10 m ³ /ha)]
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].
Stagnation de l'eau	Résulte essentiellement d'un drainage insuffisant ou d'une sur-irrigation et, dans une moindre mesure, d'infiltrations depuis des canaux ou des fossés. La stagnation de l'eau concentre les sels qui se trouvent dans des couches plus profondes du profil du sol et les remontent dans la zone racinaire des plantes.
Droit d'accès à l'eau	Fait référence aux dispositions formelles et informelles déterminant comment les personnes, les communautés et les organisations peuvent accéder aux ressources en eau et les utiliser (FAO 2016b).

IRRIGUER



OBJECTIF ET ORIENTATION DU MODULE

L'irrigation est un important moyen d'améliorer la productivité agricole, mais de nombreux pays en développement ne tirent pas encore tout le potentiel de l'agriculture irriguée. L'irrigation présente des avantages évidents mais elle a aussi un impact considérable sur l'environnement (et, par extension, sur les sociétés et les économies dépendant de cet environnement). De nombreuses technologies et méthodes ont par conséquent été mises au point pour minimiser les effets négatifs qu'elle peut avoir au niveau environnemental et socio-économique.

Ce module offre une introduction aux complexités de l'irrigation. Il fait partie de la boîte à outils pour les systèmes d'irrigation à énergie solaire (*Solar Powered Irrigation Systems*, SPIS) (GIZ, FAO, 2017), qui comprend d'autres modules et outils complémentaires permettant de prendre des décisions en connaissance de cause relativement aux SPIS.

Par ailleurs, ce module est complété de deux outils Excel :

- **IRRIGUER – Outil «sol»**, permettant de déterminer un programme d'irrigation approprié pour des cultures données et de calculer les capacités de stockage d'eau
- **IRRIGUER – Outil d'évaluation de l'impact**, permettant d'examiner et de soupeser les impacts socio-économiques et environnementaux d'un projet SPIS

1 INTRODUCTION

L'IRRIGATION EST ESSENTIELLE POUR LA SECURITE ALIMENTAIRE ET LE DEVELOPPEMENT RURAL

À l'échelle mondiale, l'agriculture irriguée représente environ 70 pour cent des prélèvements d'eau, ce qui en fait le plus important utilisateur d'eau. L'agriculture irriguée produit environ 40 pour cent de l'alimentation mondiale, y compris la majeure partie de la production horticole de la planète, sur une superficie estimée à 20 pour cent des terres agricoles, soit environ 300 millions ha à l'échelle mondiale (FAO 2011). La majeure partie de l'accroissement de la production agricole dans les pays en développement viendra probablement de l'intensification de la production dans laquelle l'irrigation jouera un rôle stratégique (AQUASTAT).

Dans de nombreux pays, l'irrigation a eu des avantages directs pour la productivité et la sécurité alimentaire, contribuant généralement à produire des aliments avec une plus forte intensité de culture et au moins deux fois les rendements des cultures pluviales voisines (Faurès et al. 2007). Elle peut réduire la dépendance à l'agriculture pluviale dans les zones sujettes à la sécheresse et augmenter l'intensité de culture dans les zones humides et tropicales en 'prolongeant' la saison humide et en offrant des moyens efficaces de maîtrise de l'eau. En contribuant à la production alimentaire, en offrant des possibilités d'emplois et en générant des revenus, l'irrigation est souvent perçue comme le moteur du développement rural.

L'irrigation est néanmoins associée à des impacts environnementaux négatifs, notamment à la réduction des débits d'eau, à la modification de l'accès à l'eau en aval, à l'accroissement de la salinité du sol ou à la réduction des zones humides ayant d'importantes fonctions écologiques pour la biodiversité, la rétention des nutriments et la maîtrise des crues. Les changements

connexes d'utilisation des terres et la gestion non durable des ressources peuvent entraîner une détérioration de la qualité et un épuisement des ressources en eau et des écosystèmes associés dont dépendent les moyens d'existence.

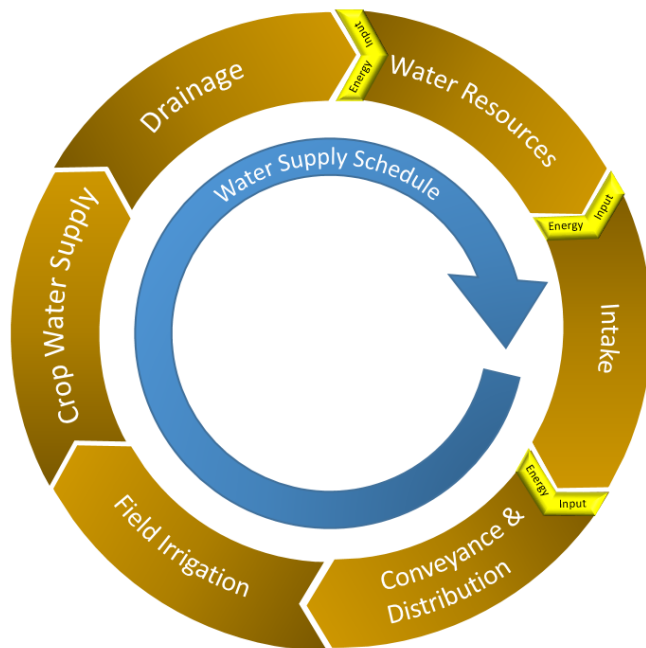
De plus, la qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation influence le rendement et la quantité des récoltes, ainsi que la perméabilité et la productivité du sol, et la santé écosystémique dans son ensemble. Malgré cela, la rareté et les niveaux de pollution de l'eau sont si importants dans certaines parties du monde que des millions d'exploitants agricoles sont poussés à irriguer avec de l'eau d'une qualité limite, par exemple des eaux usées urbaines ou de l'eau saline de drainage agricole.

Les impacts du changement climatique affectent déjà l'agriculture irriguée dans la mesure où la demande en eau augmente, la productivité agricole diminue et l'eau est de moins en moins disponible, précisément dans les parties du monde où l'irrigation est particulièrement nécessaire ou présente un avantage comparatif évident.

QU'EST-CE QUI FAIT QU'UN SYSTEME D'IRRIGATION A ENERGIE SOLAIRE EST EFFICACE ?

L'irrigation à énergie solaire est généralement présentée comme un nouveau système ou comme une solution de modernisation d'un système existant. Dans ce dernier cas, l'énergie solaire remplace des formes conventionnelles d'énergie par des solutions photovoltaïques (PV). Les pompes à énergie solaire peuvent être utilisées pour extraire des eaux souterraines ou de surface.

Lors de la conception d'un système d'irrigation à énergie solaire (SPIS), il est primordial de tenir compte du cycle complet d'alimentation en eau (figure 1). Ce cycle inclut les ressources en eau, le prélèvement, l'acheminement et la



distribution de l'eau, les méthodes d'irrigation, l'approvisionnement des cultures en eau et le drainage. L'énergie utilisée dans un système d'approvisionnement en eau concerne le prélèvement de l'eau, son élévation et sa distribution via des opérations de pompage, d'élévation et de transport.

En examinant ces éléments, ce module fournit des indications sur certaines des questions clés concernant la planification et la gestion d'un système d'irrigation à énergie solaire pour l'agriculture.

agricole, topographie, rotation de cultures souhaitée, superficie des terres à irriguer, type de sol

- Données sur l'eau, y compris sur sa qualité, sa quantité, son débit, sa profondeur et sa variabilité
- Informations sur la conception/ configuration du système d'irrigation

Figure 1 : Analyse schématique d'un système d'approvisionnement en eau pour l'agriculture, adaptée du document « Irrigation Techniques for Small-scale Farmers » (techniques d'irrigation pour les petits exploitants agricoles) (FAO 2014)

RESULTAT/PRODUIT

- Présentation générale du rôle de l'irrigation dans l'agriculture et impacts potentiels sur l'environnement
- Vue d'ensemble d'un système d'approvisionnement en eau d'irrigation et des intrants énergétiques

DONNEES NECESSAIRES

- Données sur le site, y compris prévisions climatiques, emplacement de l'exploitation

PERSONNES/PARTIES PRENANTES

- Concepteurs et gestionnaires du système d'irrigation, groupe d'utilisateurs de l'eau ou organisation d'exploitants agricoles
- Responsables du projet
- Responsables des orientations politiques

POINTS IMPORTANTS

- Bien comprendre le lien entre cycle d'approvisionnement en eau et cycle d'approvisionnement en énergie
- Évaluer les risques climatiques et comprendre les limites du système d'approvisionnement en eau

2 COMPRENDRE LES RESSOURCES EN EAU

Le type de la source d'eau, l'élévation ou la profondeur, la quantité d'eau, la responsabilité de la ressource et la qualité de l'eau ont tous une influence considérable sur l'établissement de limites dans lesquelles les choix de cultures peuvent être faits et les décisions concernant la méthode d'irrigation peuvent être prises. Tout projet de planification ou de mise en œuvre d'un SPIS est tributaire d'une bonne connaissance de ces différents aspects.

Les **sources d'eau** peuvent être de l'eau de surface, de l'eau souterraine et de l'eau non conventionnelle. D'une manière générale, l'eau d'irrigation provient de rivières, de lacs et de nappes aquifères. À l'échelle mondiale, environ 61 pour cent des surfaces irriguées utilisent de l'eau de surface et 38 pour cent de l'eau souterraine. En Asie, en Afrique du Nord et au Moyen-Orient, le recours à l'eau souterraine a rapidement progressé ces dernières années à la suite de l'adoption de la technologie du puits tubé, de l'amélioration de l'accès à l'énergie et du moindre coût de cette dernière (données de 2013, AQUASTAT 2016). Les sources non conventionnelles telles que les eaux usées traitées et l'eau désalinisée constituent une source mineure d'eau d'irrigation à l'échelle mondiale (environ 1

pour cent). L'utilisation de cette eau d'irrigation est centrée sur la région méditerranéenne, le Moyen-Orient et les Andes.

La différence de **niveau** entre la source d'eau et le champ détermine si l'eau peut être fournie sous pression. Cela est particulièrement important pour l'eau de surface pour laquelle il est important de savoir si la gravité, à elle seule, suffit pour les systèmes d'irrigation sous pression ou s'il faut ajouter des pompes. Pour l'eau souterraine, la profondeur à laquelle se trouve la nappe phréatique est déterminante pour la puissance de la pompe et les coûts associés. Aujourd'hui, les pompes à énergie solaire peuvent remonter de l'eau depuis 200 m de profondeur (et plus). Toutefois, ces pompes sont plus coûteuses et il est plus difficile de s'en procurer.

Le débit d'eau de la source (la **quantité d'eau** disponible) et sa variabilité sont également importants. Le fait de savoir quelles ressources en eau sont disponibles, et dans quelles conditions, aide à décider de la méthode d'irrigation la plus appropriée dans un contexte environnemental (climat, sols et paysage) et agricole donné. Quand pleut-il, et dans quelle quantité, chaque année ? Quelles sont les ressources en eaux de surface et

souterraines disponibles ? Quelle est la variabilité de ces ressources en eau pendant toute l'année en termes de débit, de quantité et de qualité ? Quelle est la variabilité de la disponibilité de l'eau dans le contexte du changement climatique ? Quels sont les besoins des autres utilisateurs ? Quelles sont les exigences de l'environnement en matière de débit ?

L'outil **PRESERVER L'EAU – Liste de contrôle pour la gestion des ressources en eau**, aide à se faire une idée approximative de la disponibilité des ressources en eau. Dans les régions où l'eau est d'ores et déjà rare et celles où il est prévu qu'elles viendront à manquer durant les 20 prochaines années (voir [prévisions du WRI](#)), il est conseillé d'effectuer un bilan hydrique plus approfondi et une étude de faisabilité s'appuyant sur des données tangibles avant d'installer un SPIS.

Une étude doit être réalisée sur l'aquifère pour déterminer les taux de prélèvement durable. La **responsabilité** de réalisation de cette analyse dépend de l'affectation des droits de propriété de la ressource dans le bassin hydrologique. Dans la plupart des cas, il est prudent de constituer un comité de bassin qui engage les parties prenantes concernées, assume la responsabilité de l'analyse de l'aquifère et autorise, contrôle et fait respecter les prélèvements. Lorsque les ressources sont gérées de manière plus fragmentée, les autorités chargées de délivrer les autorisations doivent tenir compte de leurs actions sur l'ensemble du bassin, les autres parties prenantes et l'écosystème. Dans un cas comme dans l'autre, la résilience aux futurs scénarios climatiques est essentielle pour la durabilité de la production agricole.

Il faut également tenir compte de la **qualité de l'eau** car elle a une incidence sur le choix de la méthode d'irrigation et les types de cultures à produire. La composition chimique de l'eau et sa charge sédimentaire peuvent influencer ce choix. La présence de certains éléments tels que le sodium (Na), le chlore (Cl) et le bore (B),

au-delà d'un certain seuil, peut occasionner des brûlures sur les feuilles et entraîner une défoliation en cas d'irrigation par aspersion. De même, la concentration totale de sels dans l'eau a une incidence sur les exigences en matière de lixiviation, ce qui fait que l'eau salée ne convient pas très bien pour l'irrigation par sillons. La charge sédimentaire de l'eau détermine la nécessité de filtrer l'eau en cas d'irrigation goutte à goutte, ainsi que le choix et le programme d'entretien des goutteurs, et par conséquent l'applicabilité de cette méthode dans certaines conditions. De même, les sédiments accélèrent l'usure des pompes et d'autres éléments des systèmes d'irrigation par aspersion.

RESULTAT/PRODUIT

- Identification des facteurs clés déterminant la méthode d'irrigation
- Aperçu général sur la quantité, la qualité et la variabilité de l'eau
- Connaissance des risques environnementaux nécessitant une attention particulière
- Création d'un comité de bassin ou de moyens structurés d'évaluer le prélèvement durable
- Conscience du besoin de gouvernance des ressources en eau
- Connaissance des risques liés au changement climatique et de la nécessité de résilience

DONNEES NECESSAIRES

- Informations sur la source d'eau (eau de surface, eau souterraine, eau non conventionnelle) et son comportement (taux de recharge, taux de prélèvement, etc.)
- Informations sur la différence de niveau entre la source d'eau et le champ
- Informations sur la disponibilité de l'eau, sa qualité et son débit

- Informations sur les futurs scénarios de disponibilité de l'eau
- Informations sur d'autres besoins des utilisateurs en amont et en aval

PERSONNES/PARTIES PRENANTES

- Organe de gestion des ressources en eau et d'octroi des licences
- Services hydrologiques
- Responsables de l'irrigation, groupes d'utilisateurs de l'eau ou organisation d'exploitants agricoles
- Exploitants agricoles
- Utilisateurs d'eau en aval
- Agences de protection de l'environnement ou organismes du même genre, ONG actives dans le domaine de l'environnement

POINTS IMPORTANTS

- Tout projet d'irrigation est assujéti à l'obtention d'un permis officiel de

prélèvement d'eau ou d'un document du même genre.

- Les quotas de prélèvement d'eau sont contraignants et constituent la disponibilité maximale de l'eau en demande de pointe.
- Évaluer les risques climatiques et avoir conscience des limites existant pour le système d'approvisionnement en eau.
- Nécessité de régulièrement contrôler les permis pour assurer la résilience et garantir une juste affectation des ressources en eau à mesure que le climat et la disponibilité de l'eau changent.
- Nécessité d'analyser l'aquifère et le bassin hydrologique pour comprendre le système hydrologique, prévoir les impacts du SPIS, et atténuer les résultats négatifs.

Les projets d'irrigation et de drainage entraînent invariablement de nombreux changements environnementaux et socio-économiques profonds. Certains de ces changements profitent à la population humaine alors que d'autres menacent la productivité à long terme des projets d'irrigation et de drainage eux-mêmes, ainsi que les ressources naturelles. Les changements négatifs ne se limitent pas à l'accroissement de la pollution ou à la perte d'habitats d'espèces végétales et animales autochtones ; ils couvrent tout l'éventail des éléments environnementaux tels que le sol, l'eau, l'air, l'énergie et le système socio-économique.

IRRIGATION ET ENVIRONNEMENT

L'irrigation rend possible l'expansion et l'intensification de l'agriculture. Toutefois, s'ils ne sont pas correctement gérés, les projets d'irrigation peuvent avoir des conséquences négatives considérables sur l'environnement.

Au niveau du bassin, les programmes d'irrigation peuvent avoir une incidence négative sur l'hydrologie. Les grands projets d'irrigation qui stockent ou détournent l'eau de leurs cours naturels peuvent être à l'origine d'importantes perturbations environnementales résultant de la modification de l'hydrologie et de la limnologie des bassins fluviaux. La réduction du débit d'un cours d'eau modifie l'utilisation des terres des plaines alluviales ainsi que l'écologie, et peut entraîner l'intrusion d'eau salée dans le cours d'eau et dans les eaux souterraines des terres adjacentes. Le détournement d'eau aux fins d'irrigation réduit par ailleurs l'approvisionnement en eau des utilisateurs en aval, qu'il s'agisse de municipalités, d'établissements industriels ou d'exploitations agricoles. Une réduction du débit de base d'un cours d'eau entraîne

également une réduction de la dilution des déchets industriels et municipaux accumulés en aval, ce qui pose des problèmes de pollution et de santé.

L'irrigation faisant appel aux eaux souterraines peut accroître le risque de prélèvement excessif et se traduit par un épuisement des eaux souterraines, des affaissements de terrains, une réduction de la qualité de l'eau et l'intrusion d'eau salée dans les zones côtières.

Par ailleurs, il est important de comprendre comment les projets d'irrigation affectent la qualité de l'eau. La qualité de l'eau entrant dans la zone irriguée est influencée par l'utilisation des terres en amont, notamment quand il s'agit de sa teneur en sédiments (par exemple en raison de l'érosion due à l'agriculture) et de sa composition chimique (par exemple en raison des polluants agricoles et industriels). L'utilisation de l'eau d'un cours d'eau à forte charge sédimentaire peut entraîner le colmatage du conduit. Les flux de retour pollués, qui contiennent des concentrations nocives de sels, de déchets organiques, de résidus agrochimiques ou d'autres substances, entraînent la dégradation des écosystèmes en aval. L'augmentation des niveaux de nutriments dans l'eau d'irrigation et de drainage peut entraîner la prolifération d'algues et de mauvaises herbes aquatiques, ainsi qu'un problème d'eutrophisation dans les canaux d'irrigation et les cours d'eau en aval.

Au niveau du champ, il y a un risque important de stagnation et de salinisation de l'eau. La salinité induite par l'irrigation peut résulter de l'utilisation d'eau salée, de l'irrigation de sols salins et de l'élévation des niveaux d'eau souterraine saline associée à une lixiviation insuffisante. La salinité réduit la croissance végétale et la productivité du sol. Les sols affectés par le sel sont plus fragiles et plus sujets à l'érosion. Dans le cas de sols sodiques, la perte de matière organique entraîne un

<i>Évaporation accrue dans le système</i>
<i>Dégradation des terres irriguées</i>
• Salinisation • Alcalinisation • Problèmes accrus de recharge des eaux souterraines, de stagnation et de drainage de l'eau • Acidification du sol • Tassement du sol • Érosion du sol
<i>Mauvaise qualité de l'eau</i>
• Réduction de la qualité de l'eau d'irrigation et lixiviation • Pour les utilisateurs en aval, problèmes de qualité de l'eau dus à la qualité du flux de retour de l'eau d'irrigation
<i>Épuisement des réserves d'eau souterraine</i>
• Tarissement des puits d'eau potable et d'irrigation • Intrusion d'eau salée le long des côtes • Réduction du débit de base
<i>Réduction du débit d'eau en aval</i>
<i>Dégradation écologique</i>
• Réduction de la biodiversité dans la zone irriguée et les zones environnantes • Endommagement des écosystèmes en aval dû à la réduction de la quantité d'eau et de sa qualité
<i>Impacts négatifs sur la santé humaine</i>
• Incidence accrue des maladies hydriques

affaiblissement de la structure du sol, un accroissement des émissions de dioxyde de carbone et une réduction de l'infiltration d'eau due à l'imperméabilisation de la surface. Ces divers facteurs affectent inévitablement la productivité et les rendements agricoles, ainsi que les revenus des exploitants agricoles.

Les terres irriguées, notamment les zones où les nappes phréatiques sont à faible profondeur, nécessitent généralement un drainage pour éviter la stagnation des eaux. Le drainage des eaux souterraines étant complexe et coûteux (souvent plus coûteux que le projet initial d'irrigation lui-même), on peut être tenté de démarrer de nouveaux projets d'irrigation en ignorant la nécessité de drainer, ou en reportant

l'installation du système de drainage au moment où il sera urgent de le faire. Toutefois, lorsqu'on ne peut plus éviter le drainage, les coûts de mise en œuvre peuvent devenir prohibitifs.

Le contrôle des nappes phréatiques au moyen de puits d'observation (piézomètres) et celui de la qualité de l'eau sont primordiaux. Ils peuvent rapidement prévenir de tout danger de salinisation et d'épuisement des eaux souterraines.

Tableau 1 Impacts négatifs potentiels des systèmes d'irrigation

L'IRRIGATION A ENERGIE SOLAIRE PEUT-ELLE CONTRIBUER A AMELIORER L'EFFICACITE D'UTILISATION DE L'EAU ?

Couplée à des méthodes d'irrigation plus économiques en eau, l'adoption de la technologie solaire peut contribuer à améliorer l'efficacité d'application de l'eau sur le terrain. Néanmoins, il y a un risque : au lieu d'économiser de l'eau, cela peut entraîner une augmentation de la consommation d'eau lorsqu'il n'existe aucun garde-fou visant à encourager ou stimuler l'utilisation efficace de l'eau. Les exploitants agricoles peuvent (i) appliquer globalement plus d'eau dans leur champ (par exemple, lorsqu'ils passent d'une irrigation déficitaire à une irrigation optimale), (ii) étendre la superficie de terre irriguée, (iii) passer à des cultures à plus forte valeur ajoutée mais nécessitant souvent plus d'eau, (iv) vendre de l'eau à des communautés et exploitants agricoles voisins. Cette question se pose tout particulièrement dans les zones où les ressources en eau souterraine sont souvent surexploitées et où les taux de recharge sont lents.

Il peut être important de faire la distinction entre les concepts suivants :

Efficacité d'utilisation de l'eau : rapport entre l'utilisation effective de l'eau et le prélèvement réel d'eau. Dans un processus

spécifique, elle caractérise la mesure dans laquelle l'utilisation de l'eau est efficace. Cette efficacité dépend de l'échelle d'application et du processus.

Efficacité de l'irrigation : rapport ou pourcentage entre les besoins des cultures en eau d'irrigation, dans une exploitation ou un champ irrigué ou un programme d'irrigation, et l'eau détournée de la source d'approvisionnement.

Efficacité d'irrigation du système : l'efficacité d'irrigation du système (en %) fait référence à l'eau pompée ou détournée à l'entrée du système et effectivement consommée par les plantes.

L'efficacité d'irrigation du système peut être subdivisée en :

- **efficacité de transport**, qui est l'efficacité de transport de l'eau dans les canaux. Elle dépend essentiellement de la longueur des canaux, du type de sol ou de la perméabilité des rives des canaux, et de l'état de ces derniers ;
- **efficacité d'application sur le terrain**, qui est l'efficacité de l'application de l'eau sur le terrain.

CONSEQUENCES IMPREVUES DE L'EFFICACITE

Il est souvent avancé qu'un SPIS associé à l'irrigation goutte à goutte garantit que l'eau est utilisée efficacement au niveau du champ. Les systèmes d'irrigation goutte à goutte ou par aspersion permettent aux exploitants agricoles d'améliorer le timing et l'uniformité de distribution de l'irrigation, ce qui peut contribuer à améliorer les rendements des récoltes et accroître les pertes par transpiration à l'hectare. La perspective de meilleurs rendements à l'hectare encourage toutefois certains agriculteurs à étendre la superficie cultivée ou à passer à des cultures à plus forte valeur ajoutée mais nécessitant souvent plus d'eau (Berbel and Mateos, 2014). Partir du principe que l'irrigation goutte à

goutte entraîne automatiquement des économies d'eau au niveau de l'exploitation agricole est un faux raisonnement.

L'efficacité de l'eau au niveau du champ ou de l'exploitation agricole peut également avoir des implications au niveau du bassin. Les systèmes de ressources en eau sont très intégrés et des gains apparents (en termes d'efficacité d'utilisation de l'eau) dans une partie du système peuvent être contrebalancés par des pertes réelles dans d'autres parties du système. La pluie, l'eau de surface, l'eau souterraine, l'humidité du sol et les processus d'évaporation de différents types d'utilisation des terres font tous partie du même cycle hydrologique et ne peuvent être considérés comme des phénomènes séparés. Les changements d'utilisation de l'eau dans un domaine peuvent avoir des conséquences imprévues ou indésirables localement ou en aval.

IMPACTS SOCIO-ECONOMIQUES

Le principal objectif de l'agriculture irriguée est d'accroître la production agricole et par conséquent d'améliorer le bien-être économique et social de ceux qui la pratiquent. Toutefois, le changement des modes d'utilisation des terres du fait de l'irrigation peuvent également avoir d'autres impacts socio-économiques, par exemple en matière de régime foncier et de droit d'accès à l'eau, et des changements en matière de main-d'œuvre pour la construction, l'exploitation et l'entretien.

Les petites parcelles, les droits d'utilisation des terres communales et les droits fonciers traditionnels et légaux conflictuels créent tous des difficultés lorsque la terre est convertie de manière à irriguer l'agriculture. Les dispositions du régime foncier traditionnel ont de grandes chances d'être perturbées par les grands projets et les travaux de réhabilitation (par ex. construction de barrages, réservoirs et canaux). C'est au niveau des déplacements de population que l'impact serait le plus considérable. Cela peut

particulièrement perturber les communautés et nécessiter une préparation attentive des projets et une indemnisation adéquate. Les changements d'utilisation des terres, par exemple la mise en œuvre d'un nouveau projet d'irrigation, peuvent également avoir une incidence négative sur ceux qui utilisent les terres à d'autres fins, ainsi que sur la biodiversité locale. D'autres utilisations des terres (chasse, pâturage, collecte de bois de feu, fabrication de charbon de bois ou culture de légumes) sont négativement touchées lorsque ces mêmes terres sont ensuite utilisées pour faire de la monoculture irriguée. Dans de tels cas, les femmes, les groupes de migrants et d'autres classes sociales défavorisées n'ont plus accès à leurs ressources et leurs charges de travail augmentent. Inversement, l'augmentation des revenus et l'amélioration de l'alimentation assurées par l'agriculture irriguée peuvent bénéficier aux femmes et aux enfants, en particulier.

Des problèmes similaires peuvent se présenter à la suite de changements touchant l'accès à l'eau et l'infrastructure. De tels événements accroissent souvent l'inégalité des chances. Par exemple, ceux qui possèdent des terres bénéficient plus de la situation que ceux qui les louent ou ceux qui disposent de droits communaux à la terre.

Ces impacts socio-économiques doivent être évalués et pris en compte dans les processus de planification de systèmes d'irrigation ou de modernisation de systèmes existants. Ces précautions peuvent être moins pertinentes pour des unités de pompage individuelles ou des projets conçus, planifiés et gérés de manière communautaire. Il faut s'assurer que les besoins des communautés et des utilisateurs locaux sont pris en compte, que les problèmes potentiels ont été anticipés, et que des mesures d'atténuation sont en place au cas où ces problèmes surviendraient.

IMPACTS POTENTIELS DE L'IRRIGATION SUR LA SANTE

Les risques de maladies transmises par l'eau ou liées à l'eau augmentent dans les zones dont les canaux et le sol ne sont pas drainés, dans lesquelles la croissance de la végétation n'est pas contrôlée et où on trouve des canaux non munis d'un revêtement intérieur ainsi que des eaux stagnantes (par ex. carrières, mais aussi rizières et champs de canne à sucre). Les vecteurs de maladies telles que le paludisme, la bilharziose (schistosomiase) et la cécité des rivières (onchocercose) prolifèrent dans les eaux d'irrigation.

Parmi les autres risques pour la santé liés à l'irrigation, citons ceux qui sont associés à l'utilisation accrue de produits agrochimiques, à la détérioration de la qualité de l'eau et à l'accroissement de la pression démographique dans la région. La réutilisation des eaux usées pour irriguer peut, selon l'importance de leur traitement, transmettre des maladies contagieuses. Les groupes de population à risque sont les travailleurs agricoles, les consommateurs de produits agricoles et de viandes provenant de champs irrigués avec des eaux usées, et les personnes qui vivent à proximité.

OUTILS D'EVALUATION ENVIRONNEMENTALE

La gestion avisée de l'environnement nécessite la capacité de prévoir, suivre, mesurer et analyser les tendances environnementales et d'évaluer les capacités de la terre et de l'eau à différents niveaux, d'une petite parcelle irriguée à un bassin hydrographique. Les études d'impact environnemental (EIE) permettront aux pays de planifier l'utilisation de l'eau et de la terre de manière intégrée et d'éviter des dommages environnementaux irréversibles.

L'outil **IRRIGUER – Outil d'évaluation de l'impact**, basé sur « The ICID Environmental Check-List to Identify Environmental Effects of Irrigation, Drainage and Flood Control Projects »

(liste de contrôle de l'ICID permettant d'identifier l'incidence des projets d'irrigation, de drainage et de gestion des crues sur l'environnement) (Mock and Bolton, 1993), peut servir de point de départ.

COMPTABILITÉ DES RESSOURCES HYDRIQUES

Il est important de systématiquement étudier la situation courante et les tendances de l'approvisionnement en eau, de la demande, de son accessibilité et de son utilisation (FAO 2012). C'est ce qu'on appelle la comptabilité de l'eau. En évaluant les flux de retour, en mesurant l'efficacité au niveau du bassin et du champ, et en faisant une distinction entre les économies d'eau destinée à la consommation et d'eau non destinée à la consommation, la comptabilité de l'eau aide à répondre à des questions telles que celles-ci : quelles sont les causes sous-jacentes des déséquilibres entre l'approvisionnement en eau (quantité et qualité) et la demande d'eau de différents utilisateurs et de différents types d'utilisation ? Le niveau actuel d'utilisation d'eau destinée à la consommation est-il durable ? Comment peut-on faire en sorte que l'utilisation de l'eau soit plus équitable ou durable (FAO 2016) ? Cette évaluation doit être faite avant l'installation du SPIS, pour définir une valeur de référence, puis périodiquement après sa mise en œuvre pour mesurer les changements dus à l'irrigation.

Lorsqu'on évalue les impacts de l'irrigation à énergie solaire sur l'efficacité d'utilisation de l'eau, il est important de faire la distinction entre ces différents niveaux d'analyse (champ/ exploitation agricole/ système/ bassin) et d'effectuer une comptabilisation systématique de l'eau pour savoir quelles sont les possibilités d'optimisation globale de l'utilisation de l'eau.

Ces efforts doivent être complétés par une réglementation et une politique appropriées. Les subventions peuvent

s'appuyer sur des critères spécifiques (par ex. seulement dans les zones où l'eau souterraine n'est pas surexploitée) ou inciter à utiliser l'eau, les offres peuvent fixer des normes (par ex. intégration d'un système de mesure de l'eau souterraine dans la pompe solaire), la réglementation peut limiter l'utilisation du SPIS à certains moments ou certains lieux. Si tous ces facteurs sont pris en considération, le SPIS peut fondamentalement améliorer l'existence de nombreuses personnes. Pour en savoir plus à ce sujet, se reporter au rapport 2017 de la FAO « *The Benefits and Risks of Solar Powered Irrigation – A Global Overview* » (avantages et risques de l'irrigation à énergie solaire – aperçu de la situation mondiale).

OUTILS DE GESTION ENVIRONNEMENTALE

Il est possible d'éviter bon nombre de ces impacts négatifs sur l'environnement en planifiant et mettant efficacement en œuvre des mesures de protection et de préservation de l'environnement.

Non seulement les impacts négatifs peuvent être inversés, mais en adoptant une approche de gestion intégrée, d'autres avantages sont possibles. L'irrigation, par exemple, peut jouer un rôle positif dans la gestion de l'utilisation des terres. En intensifiant la production alimentaire et fourragère sur les terres les plus favorables, par exemple, on peut réduire la pression sur les terres peu productives en les utilisant pour la production agricole pluviale ou comme pâturages. Les barrages et les réservoirs offrent des moyens d'atténuer les impacts négatifs potentiels des fluctuations des débits d'eau, mais ils nécessitent une planification attentive afin de ne pas perturber le débit pour les utilisateurs et environnements en aval. L'intégration de plaines alluviales désignées et d'infrastructures naturelles telles que des zones humides dans la planification des systèmes d'irrigation peut améliorer la recharge des eaux souterraines et atténuer les pics de débit de décharge.

Pour en savoir plus sur les pratiques de gestion durable des terres, du sol et de l'eau, consulter :

<http://www.fao.org/land-water/land/sustainable-land-management/slm-practices/en/>

EVALUATION DE LA SALINITE DU SOL

Soil Salinity Assessment. Document FAO Irrigation et drainage n° 57.

www.fao.org/docrep/019/x2002e/x2002e.pdf

Visual Soil Assessment Field Guides (guide pratique d'évaluation visuelle des terres), FAO <http://www.fao.org/3/a-i0007e.pdf>

EVALUATION DE LA DEGRADATION DU SOL

Land Degradation Assessment in Dry Lands (évaluation de la dégradation des terres dans les zones sèches), FAO

www.fao.org/fileadmin/templates/nr/kagera/Documents/LADA_manuals/MANUAL2_final_draft.pdf

QUALITE DE L'EAU

USGS Water Quality Assessment – Field Methods and Techniques (USGS – évaluation de la qualité de l'eau – méthodes et techniques) :

<https://water.usgs.gov/owq/methods.html>

LISTE DE CONTROLE SOCIO-ECONOMIQUE

IRRIGUER – OUTIL D'EVALUATION DE L'IMPACT

RESULTAT/PRODUIT

- Compréhension des liens entre irrigation, environnement et société
- Connaissance des risques que le SPIS présente pour les flux environnementaux et des options d'atténuation des risques
- Connaissance de l'efficacité des systèmes d'irrigation à énergie solaire

- Connaissance du rôle des droits à l'eau, des droits à la terre et de l'égalité de genre dans le système socio-économique et de leur impact sur lui
- Connaissance des impacts sur la santé et des coûts différés des systèmes d'irrigation mal planifiés et du manque de drainage approprié
- Compréhension de la comptabilité de l'eau et connaissance des politiques, subventions et systèmes de gouvernance potentiels permettant de produire des systèmes d'irrigation responsables
- Connaissance des outils disponibles pour gérer l'environnement

DONNEES NECESSAIRES

- Données nécessaires pour les outils de gestion environnementale
- Données de référence pour suivre les impacts socio-économiques et environnementaux de l'irrigation (données sur le genre, données sur les revenus, données sur la biodiversité, données sur l'emploi, sur l'utilisation et la qualité de l'eau, données sur la santé, données sur le comportement après des interventions du gouvernement, un changement d'utilisation des terres, données sur le sol, etc.)

PERSONNES/PARTIES PRENANTES

- Planificateurs de systèmes d'irrigation/ gestionnaires de systèmes
- Décideurs politiques
- Organe de gestion des ressources en eau et d'octroi des licences
- Responsables de l'irrigation, groupes d'utilisateurs de l'eau ou organisation d'exploitants agricoles

- Agences de protection de l'environnement ou organismes similaires, ONG actives dans le domaine de l'environnement

POINTS IMPORTANTS

- Les impacts profonds, positifs et négatifs des systèmes d'irrigation à énergie solaire
- L'importance de la planification pour le drainage, la santé publique et le développement inclusif de tout le bassin
- La nécessité de collecter des données de référence
- Comprendre les différents avantages du SPIS et reconnaître les conséquences négatives potentielles
- Utiliser des solutions axées sur la nature pour comprendre l'impact de l'irrigation sur l'utilisation des terres, sur la biodiversité, sur l'atténuation du changement climatique et sur l'adaptation et la résilience à ce dernier
- Comprendre que les droits à la terre, les droits à l'eau et les questions de genre interagissent avec l'utilisation des terres et la productivité agricole

4 CALCULER LES BESOINS EN EAU

Pour une gestion efficace de l'eau, il est primordial de savoir quand, où et quelle quantité d'eau est nécessaire pour la production agricole et d'autres utilisations.

BESOINS EN EAU DES CULTURES

Les besoins en eau des cultures sont définis comme étant la quantité totale d'eau nécessaire pour compenser la perte d'eau par évapotranspiration. Autrement dit, c'est la quantité d'eau nécessaire pour la croissance optimale des diverses cultures.

Les besoins en eau des cultures s'appliquent toujours aux conditions optimales de croissance des cultures concernées, c'est-à-dire à des cultures uniformes, dont la croissance est active, dont l'ombre couvre complètement le sol, qui sont exemptes de maladies et pour lesquelles les conditions du sol sont favorables (notamment en ce qui concerne la fertilité et la teneur en eau). Les cultures concernées atteignent ainsi leur plein potentiel de production dans un environnement donné.

Les besoins en eau des cultures dépendent essentiellement du :

- *Climat* : dans un climat chaud et ensoleillé, les plantes ont besoin de plus d'eau par jour que dans un climat froid et nuageux.
- *Type de culture* : des cultures telles que le maïs ou la canne à sucre ont plus besoin d'eau que des cultures telles que le millet ou le sorgho.
- *Stade de développement de la culture* : les cultures ayant atteint leur pleine croissance ont plus besoin d'eau que celles qui viennent d'être plantées.

Tableau 2 Impact des conditions climatiques sur les besoins en eau des cultures (Source : FAO 1989)

Facteur climatique	Besoins en eau des cultures	
	Élevés	Faibles
Température	chaud	froid
Humidité	faible (sec)	élevée (humide)
Vitesse du vent	venteux	calme
Soleil	Ensoleillé (absence de nuages)	Nuageux (absence de soleil)

Néanmoins, les conditions réelles ne sont que rarement optimales et de nombreux autres facteurs ont également une influence sur les taux d'évapotranspiration. Ainsi, la salinité du sol, la faible fertilité du sol, l'utilisation limitée d'engrais et de produits chimiques, le manque de moyens de lutte contre les nuisibles et les maladies, la mauvaise gestion du sol et la quantité limitée d'eau disponible dans la zone racinaire peuvent limiter la croissance des cultures et réduire l'évapotranspiration.

La couverture végétale et la densité de plantation sont d'autres facteurs ayant une incidence sur l'évapotranspiration. Les pratiques culturales et le type de système d'irrigation peuvent modifier le microclimat et affecter les caractéristiques des cultures, ainsi que la teneur en eau du sol et de la surface cultivée.

BESOINS EN EAU D'IRRIGATION

Les besoins en eau d'irrigation font référence à la quantité d'eau qui doit être fournie par le système d'irrigation pour que la plante reçoive toute l'eau dont elle a besoin. Si l'irrigation est la seule source d'approvisionnement de la plante en eau, le besoin en eau d'irrigation est toujours plus grand que le besoin de la plante en eau

pour tenir compte des pertes dans le système d'irrigation. Si la plante reçoit une partie de l'eau dont elle a besoin d'autres sources (pluie, eau stockée dans le sol, infiltration d'eau souterraine, etc.), le besoin en eau d'irrigation peut être considérablement moindre que le besoin de la plante en eau.

Dans les climats humides, les précipitations et l'humidité du sol peuvent suffire pour assurer une croissance satisfaisante dans le cadre d'une agriculture pluviale. Toutefois, dans les climats arides ou lors de saisons sèches prolongées, il est nécessaire d'irriguer pour compenser le déficit d'eau dû à l'évapotranspiration (transpiration de la plante et évaporation de l'eau du sol) résultant de précipitations insuffisantes ou erratiques.

Pour savoir quelle quantité d'eau d'irrigation est nécessaire, une analyse du bilan hydrique est nécessaire. Une telle analyse comporte trois niveaux.

Le premier concerne l'équilibre entre les demandes agricoles et autres dans un bassin hydrologique. Il contribue à déterminer la quantité d'eau provenant de diverses sources sur laquelle on peut compter, et par conséquent l'intensité d'irrigation possible de façon durable – voir le module **PRESERVER L'EAU**.

Un autre aspect de l'équilibre hydrique se situe au niveau de l'exploitation agricole (ou de la zone de commande). Souvent, les champs ne sont pas irrigués individuellement mais collectivement, par l'intermédiaire d'un canal ou d'un puits. Ils ont souvent aussi les mêmes canaux de drainage. Un bilan hydrique réalisé au niveau de l'exploitation agricole examine l'accès à l'eau, les utilisations prioritaires, le moment et la durée de l'irrigation. Il constitue la base d'une conception efficace du système et de la prestation de services.

Un troisième niveau examine les besoins des plantes en eau dans un champ.

L'irrigation d'une culture au moment opportun et en quantités appropriées nécessite de l'expérience et dépend du climat, des précipitations, du sol et du stade de développement des plantes, ainsi que du système et de la technologie d'irrigation utilisés.

Des programmes d'irrigation informatisés, tels que le programme CROPWAT de la FAO, peuvent être utilisés pour conseiller les agriculteurs sur l'approvisionnement en eau et le programme d'irrigation pour des conditions climatiques, une culture, un sol et une méthode d'irrigation donnés.

Différents outils, **PRESERVER L'EAU – Outils d'évaluation des besoins en eau** et **IRRIGUER – Outil « Sol »**, peuvent servir à faire une évaluation approximative des besoins des plantes en eau.

PROGRAMME D'IRRIGATION

Lorsque les besoins des plantes en eau et les besoins en eau d'irrigation ont été calculés, l'étape suivante consiste à préparer le programme d'irrigation du champ. Trois paramètres doivent être pris en compte lors de la préparation d'un programme d'irrigation :

- les besoins quotidiens de la plante en eau ;
- le sol, en particulier son humidité disponible totale, ou la capacité de rétention d'eau ,
- la profondeur effective de la zone racinaire.

La réaction de la plante à l'irrigation dépend de l'état physique, de la fertilité et de l'état biologique du sol. L'état, la texture, la structure, la profondeur, la matière organique, la masse volumique, la salinité, la sodicité, l'acidité, le drainage, la topographie, la fertilité et les caractéristiques chimiques du sol ont tous une incidence sur la mesure dans laquelle le système racinaire d'une plante pénètre dans le sol et utilise l'humidité et les nutriments qu'il contient. Bon nombre de ces facteurs influencent la circulation de l'eau dans le sol, la capacité de rétention

d'eau du sol et la capacité des plantes à utiliser cette eau. Le système d'irrigation utilisé doit pouvoir fonctionner dans toutes ces conditions ou la plupart d'entre elles.

Sur le terrain, la valeur réelle peut varier d'un site à l'autre, d'une saison à l'autre, voire au cours d'une même saison. Dans ce dernier cas, elle varie en fonction du type de matériel agricole, du nombre d'opérations de travail du sol, de la gestion des résidus, du type de culture et de la qualité de l'eau.

Les sols à irriguer doivent également bénéficier d'un drainage souterrain et en surface approprié, notamment en cas d'irrigation de surface. Le drainage interne, dans la zone racinaire de la plante, peut être naturel ou assuré par un système de drainage souterrain installé.

QUELLES CULTURES SONT LE MIEUX ADAPTEES A L'IRRIGATION A ENERGIE SOLAIRE ?

Aucune culture n'est particulièrement adaptée (ou inadaptée) à l'irrigation à énergie solaire ; ce qui compte, c'est que la méthode d'irrigation puisse répondre aux besoins de la plante en eau et soit compatible avec les pratiques agricoles, le climat, les ressources en eau et d'autres aspects agronomiques.

Le modèle de culture doit être tel que la plante choisie puisse être cultivée dans les conditions climatiques et pédologiques dominantes et que le système d'irrigation soit compatible avec les plantes cultivées et les pratiques agricoles. Par ailleurs, un intérêt suffisant doit être accordé au choix et au calendrier des cultures. Les produits récoltés doivent pouvoir être commercialisés à prix compétitifs.

SELECTION DE CULTURES ADAPTEES A L'IRRIGATION

Les aspects agronomiques spécifiques à prendre en considération sont les suivants :

- Calendrier cultural des cultures courantes actuelles dans la région

pendant la saison humide et la saison sèche, indication des risques saisonniers (sécheresse, inondations, nuisibles et maladies)

- Nouvelles cultures présentant un bon potentiel grâce à l'irrigation
- Cultures permettant d'assurer l'autosuffisance et la sécurité alimentaire (ménage/ niveau national)
- Cultures destinées au marché
- Expérience, motivation et priorités des agriculteurs dans le choix des cultures.

Il est préférable de choisir des espèces ou des variétés offrant une bonne résilience aux périodes de sécheresse. Cela peut également aider les agriculteurs à s'adapter aux fluctuations de température et de pluviométrie. Une plus grande diversification agricole, y compris une meilleure intégration d'arbres, de cultures, des poissons et du bétail, peut réduire les risques et accroître la résilience des systèmes agricoles.

Certaines cultures sont sensibles à la façon dont l'eau leur est appliquée. Les systèmes qui arrosent l'ensemble de la culture, entre autre l'irrigation par aspersion, peuvent avoir des conséquences indésirables (brûlures sur les feuilles, taches sur les fruits, déformation des fruits, pourriture du collet, etc.). Ces considérations ont une influence sur le choix de la méthode d'irrigation (Savva and Frenken 2004).

D'une manière générale, la zone racinaire efficace de la plupart des cultures maraîchères (et autres cultures en lignes) est peu profonde et ces plantes réagissent mieux à de faibles niveaux de diminution de l'humidité. Elles sont par conséquent bien adaptées aux systèmes d'irrigation localisée, goutte à goutte, qui sont souvent raccordés à des pompes à énergie photovoltaïque.

Il est important de noter que la sélection des végétaux et la biotechnologie peuvent apporter leur contribution en augmentant les parties récoltables de la biomasse, en réduisant les pertes de biomasse grâce à

une meilleure résistance aux nuisibles et aux maladies, en réduisant l'évaporation du sol grâce à une croissance précoce vigoureuse qui accélère la couverture végétale, et en réduisant la susceptibilité à la sécheresse (FAO 2012).

Lorsqu'ils choisissent des cultures adaptées, les agriculteurs doivent s'assurer qu'ils ont accès à des intrants agricoles, par exemple des semences de qualité, des engrais, des pesticides et des outils, ainsi qu'au crédit pour acheter les intrants nécessaires.

PRATIQUES ET INTRANTS AGRICOLES ADAPTES

- Pratiques agricoles actuelles pour des cultures courantes en termes d'intrants, de main-d'œuvre et d'outils ;
- Pratiques agricoles nouvelles ou améliorées à adopter pour les cultures irriguées de manière à assurer des niveaux de production optimaux
- Évaluation des intrants nécessaires pour une production optimale en termes de semences de qualité, d'engrais organiques et inorganiques, d'outils, de disponibilité des intrants et d'accès au crédit.

RESULTAT/PRODUIT

- Connaissance de ce qui affecte les besoins des plantes en eau
- Reconnaissance de la différence entre besoins des plantes en eau et besoins d'eau d'irrigation
- Prise en compte des différents aspects des besoins en eau dans le plan d'irrigation
- Intégration des paramètres nécessaires dans le programme d'irrigation et la conception du drainage

DONNEES NECESSAIRES

- Rotations de cultures prévues
- Calendrier de plantation et de récolte
- Besoins de consommation des autres utilisateurs d'eau du bassin
- Futurs scénarios climatiques pour la région

PERSONNES/PARTIES PRENANTES

- Conseillers SPIS
- Exploitants agricoles
- Gestionnaires du système d'irrigation, groupes d'utilisateurs de l'eau ou organisation d'exploitants agricoles

POINTS IMPORTANTS

- Les BEC et les BEI doivent être résilients aux futurs scénarios climatiques
- Les systèmes d'irrigation doivent être planifiés selon de multiples échelles, du bassin à la ferme et à la culture individuelle
- Le type et la santé du sol sont essentiels pour calculer les besoins en eau
- Les limites de disponibilité saisonnière de l'eau doivent influencer le choix des cultures en tenant compte des BEC, des autres besoins des utilisateurs et de la disponibilité de l'eau
- Le problème de drainage du sol doit être pris en considération à l'avance
- Le choix des récoltes doit également tenir compte de la disponibilité d'autres intrants tels que la main-d'œuvre, les engrais, les outils, les herbicides, etc.

5 SELECTIONNER LA METHODE D'IRRIGATION

À l'échelle mondiale, dans leur grande majorité, les zones irriguées sont équipées pour une irrigation entièrement contrôlée. Les méthodes d'irrigation entièrement contrôlée diffèrent quant à leur mode de distribution de l'eau (AQUASTAT)

Une fois que les besoins des récoltes, les ressources en eau et l'impact de la mise en œuvre d'un SPIS sont connus, les méthodes d'irrigation appropriées peuvent être sélectionnées.

QUELLES SONT LES METHODES D'IRRIGATION ?

L'irrigation de surface utilise la gravité pour déplacer l'eau sur le sol. Cette catégorie peut être subdivisée en irrigation par petits canaux (sillons), bandes de terre (bordures) et en bassin (y compris l'irrigation du riz par submersion).

L'irrigation de surface est très utilisée ; elle est par conséquent bien connue et peut fonctionner sans applications de haute technologie. En général, elle nécessite plus de main-d'œuvre que les autres méthodes d'irrigation. Lorsqu'on conçoit un système d'irrigation de surface, il faut tenir compte du type de sol (texture et taux d'infiltration), de la pente et de la planéité du champ, de la taille du cours d'eau et de la longueur du parcours. Dans des champs de grande longueur, il est généralement plus difficile d'obtenir une bonne uniformité de distribution de l'eau sur un sol à texture grossière (gravier et sable) que sur un sol à texture fine (limoneux et argileux). Le nivellement du terrain et la construction de fossés et de réservoirs peuvent être coûteux, mais une fois ces travaux réalisés, les coûts sont faibles et l'agriculteur dispose de plus de moyens pour répondre aux fluctuations de la demande d'irrigation.

L'irrigation par aspersion comprend un réseau de tuyaux dans lequel l'eau coule sous pression avant d'être livrée aux plantes cultivées au moyen de buses d'arrosage. Fondamentalement, le système simule la pluie en ceci que l'eau est appliquée par aspersion, par le haut.

La pompe est généralement une pompe centrifuge qui aspire l'eau à la source et produit une pression suffisante pour l'envoyer dans le réseau de tuyaux. Les tuyaux principaux et secondaires conduisent l'eau de la pompe aux tuyaux latéraux qui la conduisent ensuite aux arroseurs. Ces derniers peuvent être permanents mais sont le plus souvent mobiles et en matériau léger (par ex. aluminium) facilitant leur déplacement.

Les arroseurs à rotor fonctionnent en envoyant de l'eau sous forme de jets rotatifs sur une surface de terre. Appartiennent également à cette catégorie les arroseurs à impact et les arroseurs à engrenage, qui produisent des jets d'eau dispersée, et les buses d'arrosage qui pulvérisent l'eau selon une configuration donnée.

Compte tenu des coûts élevés d'investissement en capitaux, les systèmes les plus élaborés (par ex. système central à pivots, système mobile, etc.) sont généralement utilisés pour des cultures à forte valeur ajoutée, par exemple les légumes. Des connaissances spécialisées de haut niveau sont nécessaires pour faire fonctionner ces systèmes, même si le besoin général de main-d'œuvre est limité en raison du niveau élevé d'automatisation. Les moteurs, les tuyaux et les autres éléments mécaniques doivent tous faire l'objet d'un entretien systématique pour éviter leur endommagement et les coûts élevés de réparation ou de remplacement.

L'irrigation par aspersion convient pour la plupart des cultures en lignes, des cultures de plein champ et des cultures arbustives, et l'eau peut être pulvérisée par-dessus ou par-dessous le couvert végétal. Toutefois, les grands arroseurs sont déconseillés pour les cultures délicates, la laitue par exemple, car les grosses gouttes d'eau produites par l'arroseur risquent d'endommager les cultures.

L'**irrigation localisée** consiste à distribuer de l'eau sous faible pression dans un réseau de tuyaux, selon une configuration prédéterminée, cette eau étant appliquée en petite quantité à chaque plante ou à proximité immédiate (AQUASTAT 2016).

Un système type **d'irrigation goutte à goutte** comporte une pompe, une tête de commande, des conduits principaux et secondaires, des conduits latéraux et des émetteurs ou goutteurs. Il peut également comporter des réservoirs, des filtres et des dispositifs de fertigation.

Avec l'irrigation goutte à goutte, l'eau est délivrée plus fréquemment (généralement 1-3 fois par jour) qu'avec les autres méthodes et elle assure un niveau élevé d'humidité du sol. Tant que le taux d'application de l'eau reste inférieur à la capacité d'infiltration du sol, ce dernier reste sous-saturé et il n'y a pas d'eau qui coule ou stagne à la surface. Il est ainsi possible d'utiliser l'eau de manière très efficace et de réduire au minimum les pertes d'eau.

Par ailleurs, les engrais et les nutriments peuvent être utilisés très efficacement dans la mesure où l'eau est appliquée localement et où la lixiviation est réduite. Enfin la croissance des mauvaises herbes est freinée par le fait que l'eau et les nutriments sont appliqués uniquement à la plante cultivée.

Néanmoins, l'irrigation goutte à goutte nécessite un investissement initial élevé,

ainsi que des connaissances techniques de haut niveau et des investissements réguliers pour le remplacement du matériel qui est vulnérable au colmatage et au dysfonctionnement, notamment lorsque la qualité de l'eau n'est pas optimale. Il existe également un risque d'accroissement de la salinité du sol.

La méthode convient pour la plupart des sols. Sur les sols argileux, l'eau doit être appliquée lentement pour éviter la formation de flaques et tout ruissellement de surface. Sur les sols sableux, des débits plus importants sont nécessaires pour assurer une humidification latérale suffisante du sol.

L'irrigation convient particulièrement bien aux cultures en lignes, par exemple celles de légumes et de fruits, d'arbres et de vigne. Compte tenu de l'investissement qui est élevé, l'irrigation goutte à goutte a tendance à être utilisée pour les cultures à forte valeur ajoutée.

Autres types d'irrigation :

Zones de plaine équipées, par exemple (i) zones humides cultivées et fonds de vallées ayant été équipées d'ouvrages de régulation des eaux pour l'irrigation et le drainage ; (ii) zones le long des cours d'eau dans lesquelles la culture utilise les structures construites pour retenir les eaux après une crue ; (iii) mangroves développées et zones de deltas aménagées.

Irrigation par épandage des eaux de crue, utilisant les eaux de crue de cours d'eau éphémères et la canalisant au moyen de courts canaux escarpés jusqu'aux lieux de culture. Des barrages sont souvent construits le long de ces cours d'eau pour stocker l'eau lorsqu'elle arrive.

QUELLE METHODE D'IRRIGATION CONVIENT LE MIEUX POUR LES SYSTEMES A ENERGIE SOLAIRE ?

Les systèmes de pompage à énergie photovoltaïque ont fait des progrès considérables au cours de la dernière décennie. Les problèmes de conception des pompes solaires à partir des années 1970 – par exemple bornes n'assurant pas une bonne connexion électrique ou surchauffe des circuits électroniques – ont été résolus et les pompes solaires sont aujourd'hui bien plus efficaces et fiables.

Actuellement, elles sont compatibles avec les technologies d'irrigation goutte à goutte, par aspersion, sur pivot ou par submersion. Les systèmes vont d'installations informatisées sophistiquées, dont les coûts d'installation sont élevés, à des systèmes d'irrigation à coût modéré (irrigation par barboteurs, par mini-arroseurs et goutte à goutte).

Généralement, la puissance – et le coût – d'un système de pompage solaire est déterminée par les exigences du système d'irrigation en matière d'eau et de pression. Les méthodes fonctionnant avec des pressions relativement basses sont souvent la solution préférée, en association avec des pompes PV.

Méthode d'irrigation	Efficacité d'application type	Compatibilité avec les pompes solaires
Submersion	40-50%	Dépend des conditions locales
Canaux ouverts	50-60%	Dépend des conditions locales
Aspersion	70-80%	Oui
Goutte à goutte	85-95%	Oui

L'irrigation par aspersion nécessite une pression relativement forte, ce qui exige un SPIS spécifique composé de modules solaires de haute qualité et une capacité intégrée de stockage de l'énergie (batterie). En revanche, l'irrigation goutte à goutte nécessite une faible pression et peut distribuer l'eau plus efficacement.

L'irrigation goutte à goutte – également appelée micro-irrigation ou irrigation localisée – utilise des réseaux de tuyaux et de tubes pour appliquer directement l'eau à la surface du sol ou dans la zone racinaire des plantes. Elle peut potentiellement réduire la consommation d'eau par plante en minimisant les pertes non productives par évaporation (par ex. Narayanamoorthy, 2004; Rijsberman, 2006). Autre avantage : elle peut utiliser de l'eau modérément saline. Les parcelles peu productives peuvent avoir un bon rendement car les techniques d'irrigation goutte à goutte apportent directement l'eau et les nutriments aux plantes.

L'irrigation goutte à goutte est idéale pour la production agricole à forte valeur ajoutée (légumes, fruits, arbres et vigne, par exemple) et compte tenu de sa grande efficacité, la pompe solaire n'a pas besoin d'être très puissante.

Néanmoins, l'irrigation goutte à goutte a un coût initial élevé et exige une eau de suffisamment bonne qualité (pour éviter le colmatage des gouteurs) ou un système de prétraitement. Il faut par ailleurs assurer une bonne gestion du système d'irrigation pour garantir l'efficacité du système, appliquer la fertigation et entretenir le matériel.

Tableau 3 Compatibilité des méthodes d'irrigation avec les pompes solaires, adaptation de « Manual and Tools for promoting SPIS – Stocktaking and Analysis Report » (manuel et outils de promotion des SPIS – rapport d'évaluation et d'analyse) (2015).

Au-delà de ces considérations techniques, d'autres facteurs déterminent la pertinence des méthodes d'irrigation, indépendamment de la source d'énergie des pompes. Il s'agit de conditions naturelles telles que :

- *le type du sol*, qui détermine la capacité de stockage de l'eau et le taux d'infiltration ;
- *la pente du terrain*, qui a une influence sur le drainage de l'eau et détermine si le terrain doit être nivelé ;
- *le climat*, notamment les vents (par ex. susceptibles de perturber la pulvérisation de l'eau par les arroseurs), le rayonnement solaire, les précipitations et la température ;
- *la disponibilité de l'eau*, voir la section 2 ;
- *la qualité de l'eau*, voir la section 2 ;
- les exigences de *résilience*, voir la section 2.

Il est également important de tenir compte du type de plante cultivée, aussi bien du point de vue économique que du point de vue agronomique. Compte tenu de l'investissement initial plus élevé par hectare, l'irrigation par aspersion et goutte à goutte est généralement utilisée pour des cultures à forte valeur ajoutée tels que les légumes, les arbres fruitiers et les épices. L'irrigation goutte à goutte convient mieux pour les plantes individuelles, les arbres ou les cultures en lignes.

D'autres aspects socio-économiques entrent également en ligne de compte lorsqu'on sélectionne la méthode d'irrigation. La main-d'œuvre en est un. La construction, l'utilisation et l'entretien d'un système d'irrigation de surface exigent souvent plus de main-d'œuvre que l'irrigation par aspersion ou goutte à

goutte. L'irrigation de surface nécessite un nivellement précis du terrain, un entretien régulier et un niveau élevé d'organisation des agriculteurs pour faire fonctionner le système. Les complications imprévues lorsqu'on adopte de nouvelles méthodes d'irrigation sont un autre aspect à prendre en compte. Faire en sorte que les agriculteurs changent leurs pratiques et entretiennent le matériel peut poser des problèmes.

Lorsqu'on sélectionne une méthode d'irrigation, il faut tenir compte de ces aspects et effectuer une analyse coût-bénéfice des solutions disponibles. Les coûts incluent l'investissement en capitaux, la construction, l'installation, l'utilisation et l'entretien, ainsi que l'énergie. Ces coûts doivent être comparés aux bénéfices attendus, notamment en matière de rendement, de prix du marché, de coûts de fonctionnement évités et d'économies de main-d'œuvre. Cette analyse coût-bénéfice est présentée plus en détail dans la section sur le [financement](#) de la boîte à outils SPIS.

RESULTAT/PRODUIT

- Connaissance des différentes méthodes d'irrigation et de leurs avantages / inconvénients respectifs
- Capacité d'intégrer les conditions naturelles ayant une incidence sur l'irrigation dans le choix de la méthode d'irrigation
- Application appropriée de l'analyse coût-bénéfice
- Connaissance des compromis inhérents aux différentes méthodes d'irrigation concernant les investissements et les coûts d'exploitation, l'utilisation rationnelle de l'eau, et l'accroissement de la production et des revenus agricoles.

DONNEES NECESSAIRES

- Pression de l'eau
- Disponibilité saisonnière de l'eau (niveaux acceptables de captage)
- Qualité de l'eau
- Type de sol
- Pente du terrain
- Investissements, coûts d'exploitation et d'entretien
- Efficacité et puissance photovoltaïque disponible
- Besoins en électricité pour différentes méthodes d'irrigation

PERSONNES/PARTIES PRENANTES

- Décideurs politiques

- Conseillers/ planificateurs en irrigation
- Responsables de l'irrigation, groupes d'utilisateurs de l'eau ou organisation d'exploitants agricoles
- Exploitants agricoles

POINTS IMPORTANTS

- Il existe différentes méthodes d'irrigation qui présentent différents avantages et inconvénients
- La décision finale quant à la méthode d'irrigation à utiliser doit résulter d'un compromis entre les coûts / bénéfices financiers et environnementaux pendant la durée de vie du bien

6 PLANIFIER LES STRUCTURES D'ADMISSION, DE TRANSPORT ET DE DISTRIBUTION

La principale difficulté technique de tout système d'irrigation consiste à prélever de l'eau dans une source, la livrer sur le terrain en temps et en quantités utiles, la distribuer entre des exploitations agricoles individuelles et des champs où on pratique la rotation des cultures, et à assurer l'humidité du sol nécessaire aux plantes. Tout cela nécessite de l'énergie pour déplacer l'eau, maintenir sa pression et assurer sa qualité.

Le fonctionnement du système doit offrir suffisamment de flexibilité pour fournir l'eau aux plantes cultivées en quantité et à des moments variables et laisser à l'irrigant une certaine latitude pour gérer l'humidité du sol afin d'optimiser les rendements, la consommation d'eau, la main-d'œuvre et les économies d'énergie.

L'eau peut être fournie de manière continue ou en rotation, de sorte que le débit et la durée soient relativement constants. Dans de tels cas, la flexibilité est limitée à ce sur quoi les exploitants ou groupes d'exploitants peuvent se mettre mutuellement d'accord. Au stade préliminaire de conception, les limites d'approvisionnement en eau répondant au programme d'irrigation optimale doivent être évaluées (voir section 1).

STRUCTURE D'ADMISSION

La *structure d'admission* sert à extraire l'eau d'irrigation d'une source d'irrigation et à la livrer à un réseau d'irrigation. Elle peut fonctionner par gravité ou par pompage.

Les pompes à énergie solaire peuvent être utilisées pour extraire de l'eau de surface et de l'eau souterraine. Il existe deux types principaux de pompes : les pompes centrifuges et les pompes à mouvements rectilignes. Les deux peuvent être utilisées pour un système SPIS.

Les pompes solaires doivent être surdimensionnées pour répondre à la demande de pointe, ce qui veut dire qu'elles ont tendance à être sous-utilisées en contre-saison. Dans une certaine mesure, cette variabilité saisonnière de la demande d'eau peut être contrebalancée par une rotation adaptée des cultures (y compris des cultures permanentes) et une bonne gestion de l'irrigation.

Les caractéristiques d'une pompe solaire dépendent des besoins de la culture en eau, du volume de stockage de l'eau, de la hauteur manométrique totale de la pompe (m), du volume d'eau à pomper (m³), de l'énergie virtuelle de l'installation de panneaux PV (kWh), de l'énergie à la pompe (kWh), de l'énergie solaire non utilisée (kWh), du rendement de la pompe (%), du rendement du système (%), des variations diurnes de la pression de la pompe dues aux fluctuations de l'irradiance et de la compensation de pression. Tous ces facteurs doivent être pris en compte lorsqu'on conçoit un SPIS et ce travail doit être confié à un spécialiste.

Les fluctuations de l'irradiance solaire, l'accumulation de poussière sur les modules PV et les fortes températures ont une incidence sur le rendement des systèmes PV et par conséquent de la pompe. En nettoyant et rafraîchissant les modules, la pulvérisation d'eau propre sur les modules PV améliore leur efficacité et par conséquent le débit d'eau. Il faut donc que l'accès aux modules PV soit facile pour faciliter leur maintenance.

L'outil **CONCEVOIR – Outil de dimensionnement de la pompe** peut être utile pour s'assurer que le système de pompage est conforme à ce qu'on attend de lui et éviter d'inutiles pertes de pression.

TRANSPORT ET DISTRIBUTION

Une fois entrée dans la structure d'admission, l'eau doit être livrée aux plantes par les *systèmes de transport et de distribution*. Les principaux types de systèmes de transport et de distribution sont les barrages de dérivation, les canaux et les fossés revêtus ou partiellement revêtus, les pipelines, les prises d'eau et autres équipements.

On peut faire une distinction entre l'approvisionnement en eau des terres d'une seule exploitation agricole (système d'irrigation sur l'exploitation) ou de plusieurs exploitations agricoles (système d'irrigation interexploitations), d'associations d'exploitations agricoles et d'entreprises agricoles, voire de plusieurs centres administratifs.

Un système de transport et de distribution mal conçu peut entraîner des pertes d'eau considérables, une mauvaise efficacité du système d'irrigation et une réduction des superficies qu'il était prévu d'irriguer.

Des logiciels permettent de concevoir des systèmes d'irrigation. Par exemple, GESTAR est un logiciel développé par la faculté de la mécanique des fluides de l'université de Saragosse ; il permet de concevoir des systèmes d'irrigation à moyenne et grande échelle. Les outils et méthodes de GESTAR sont spécialement conçus pour l'irrigation sous pression (par exemple l'irrigation par aspersion et goutte à goutte). Il existe également des outils de planification spécifiques à une méthode d'irrigation.

QUELLES IMPLICATIONS L'IRRIGATION A ENERGIE SOLAIRE A-T-ELLE POUR L'ENERGIE ?

Dans les zones rurales, un SPIS peut fournir une source fiable et abordable d'énergie et peut potentiellement réduire les coûts de l'énergie nécessaire pour l'irrigation ainsi que les émissions de gaz à

effet de serre associées aux systèmes de pompage à combustible fossile.

Les systèmes d'irrigation utilisent de l'énergie pour pomper l'eau d'un puits ou d'un réservoir, pour exercer une pression sur l'eau afin de compenser les pertes par frottement dans les canalisations et de distribuer l'eau de manière uniforme sur le sol. Les pompes fonctionnent généralement avec un moteur diesel ou électrique, l'électricité étant, dans ce cas, fournie par le réseau ou par des sources d'énergie décentralisées.

- **Efficacité énergétique :** l'efficacité d'utilisation de l'eau et de l'énergie par les systèmes d'irrigation dépend avant tout du type de système et de la façon dont il est exploité, entretenu et géré. Lorsqu'ils spécifient la taille d'une pompe et conçoivent des systèmes de distribution d'eau, les ingénieurs tiennent compte de la hauteur sur laquelle l'eau doit être relevée et transférée, de la profondeur à partir de laquelle l'eau doit être acheminée, et du frottement à l'intérieur des canalisations et canaux, qui dépend de la configuration, du diamètre et des pressions de service. Ils doivent également tenir compte de la résilience du système aux futurs scénarios climatiques et aux fluctuations des niveaux d'eau souterraine pouvant résulter de la mise en œuvre à grande échelle du SPIS.

Des économies d'énergie sont possibles grâce à une conception de qualité (par ex. disposition des canalisations), à l'utilisation de pompes de taille appropriée, et à l'optimisation du matériel (par ex. vitesses de fonctionnement variables). Il importe également de tenir compte du compromis entre l'efficacité d'application de l'eau et l'efficacité énergétique. Par exemple, l'utilisation d'eau sous pression dans un réseau d'irrigation goutte à goutte utilise plus d'énergie qu'en la laissant s'écouler

dans des canaux et sillons, mais ce type de système applique l'eau plus efficacement qu'un système d'irrigation à pivot central moins consommateur d'énergie.

- **Coûts de l'énergie**: les systèmes sous pression sont généralement plus efficaces mais ont des besoins énergétiques supérieurs et sont donc plus coûteux en énergie. Ces coûts dépendent de la source d'énergie, du prix de l'énergie à l'unité, ainsi que d'autres facteurs tels que la profondeur de l'aquifère dans lequel l'eau est pompée. Les coûts de l'énergie peuvent ainsi annuler les économies d'énergie anticipées lorsqu'on investit pour rendre les systèmes d'irrigation plus efficaces. Cela laisse une marge d'intervention au niveau de la technique et de la gestion pour améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau et de l'énergie et réduire les coûts d'exploitation.

Les systèmes à énergie solaire (PV) peuvent offrir une source d'énergie alternative économiquement viable, et sans émissions de gaz à effet de serre. Ils ont également l'avantage de ne pas dépendre de la disponibilité et des coûts des carburants fossiles.

Ils nécessitent néanmoins des connaissances préalables permettant d'installer et d'utiliser des pompes solaires de manière optimale. Contrairement aux motopompes, le dimensionnement des systèmes d'irrigation PV est une décision stratégique à prendre par les exploitants agricoles, compte tenu des coûts d'investissement initiaux plus élevés et de la complexité de conception, d'exploitation et de maintenance du système. Cette responsabilité est généralement confiée à des spécialistes. Pour utiliser un système PV et en tirer le meilleur parti, les exploitants agricoles doivent suivre une formation appropriée.

Bien que les coûts aient considérablement diminué ces dernières années, la viabilité économique des systèmes PV varie, notamment pour les petits exploitants agricoles pour qui l'acquisition d'une pompe solaire représente un investissement considérable. Il faut par conséquent évaluer la viabilité économique d'un tel investissement pour savoir si le choix d'adopter des pompes PV est économiquement pertinent.

L'outil **FINANCER – Outil de calcul du remboursement** permet d'évaluer les coûts des systèmes solaires par rapport à des systèmes d'irrigation faisant appel à d'autres sources d'énergie.

RESULTAT/PRODUIT

- Connaissance des différents aspects d'un système d'irrigation
- Aperçu de la façon de dimensionner les pompes et autres éléments d'un SPIS
- Reconnaissance des économies à long terme que permet de réaliser l'installation d'un SPIS
- Connaissance de la nécessité d'intégrer la résilience et l'adaptabilité dans la conception du système

DONNEES NECESSAIRES

- Volume et pression de l'eau nécessaires
- Dimension, coût et besoins en électricité de la pompe
- Dimensionnement et coût du système PV
- Structures et systèmes auxiliaires, dimensions et coûts

PERSONNES/PARTIES PRENANTES

- Planificateurs de systèmes d'irrigation

- Gestionnaires du système d'irrigation, groupes d'utilisateurs de l'eau ou organisation d'exploitants agricoles
- Exploitants agricoles
- Financiers

POINTS IMPORTANTS

- Une analyse coût-bénéfice rigoureuse du cycle de vie doit être effectuée

- La résilience et l'adaptabilité doivent être intégrées dans la conception du système
- Un système mal conçu peut être préjudiciable à l'environnement et à d'autres utilisateurs du bassin hydrologique
- Le dimensionnement, l'installation et la maintenance de tels systèmes doivent être confiés à des spécialistes

7 CONSEILS SUR L'EFFICACITE DE L'IRRIGATION

L'eau d'irrigation est une ressource précieuse. Ce constat vaut, directement, pour la production agricole, mais aussi, indirectement, pour l'écosystème dans son ensemble. L'utilisation rationnelle de l'eau d'irrigation et sa conservation sont donc essentielles. Un certain nombre de bonnes pratiques et de conseils peuvent réduire la consommation globale d'eau, améliorer la croissance végétale et entraîner une augmentation des rendements.

DRESSER UN PLAN

Examiner la configuration du terrain et dresser un plan de l'emplacement optimal des canalisations d'irrigation, en veillant à réduire le nombre de raccords (propices aux fuites) utilisés. Garder à l'esprit que les pentes entraînent une répartition non uniforme de l'eau et peuvent être la cause de ruissellement. Il est par conséquent conseillé de niveler le terrain et d'aménager des terrasses lorsqu'on veut utiliser un système d'irrigation par submersion ou par aspersion (les lignes d'irrigation doivent être perpendiculaires à la pente). L'irrigation par aspersion projette l'eau selon un cercle autour de la buse centrale. Déterminer le rayon du cercle et placer les arroseurs de telle sorte que les zones de chevauchement soient minimales, tout en veillant à couvrir une superficie maximale (c'est-à-dire qu'il reste peu de zones sèches).

CONSERVER LES ARBRES

Idéalement, les grands arbres doivent rester dans la zone de culture. Non seulement leur ombre se déplace, mais en plus certaines espèces/variétés (par ex. l'acacia) abritent des bactéries fixatrices d'azote qui améliorent la fertilité du sol.

APPROCHE AGROECOLOGIQUE

Les [dix principes agroécologiques](#) présentés par la FAO mettent en lumière des aspects ayant trait aux ressources en

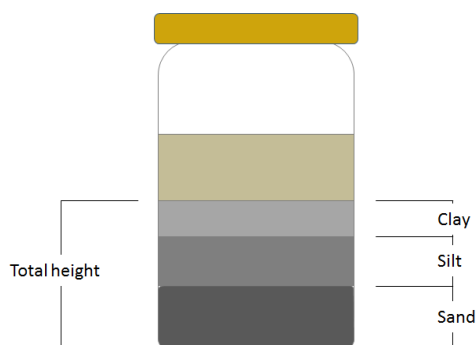
eau, à son utilisation, à sa réutilisation, à sa gouvernance et aux droits à l'eau. Ces principes offrent également un moyen de percevoir l'intervention au-delà du niveau de l'exploitation agricole et de prendre conscience de ses impacts dans la communauté en général et sur le système alimentaire.

L'outil **IRRIGUER – Outil d'évaluation de l'impact** intègre, dans une certaine mesure, ces principes.

ANALYSE DU SOL

L'humidité du sol disponible au niveau des racines des plantes dépend du type de sol. Le type de sol peut être déterminé en laboratoire en réalisant une analyse granulométrique. Les particules de sable, de limon et d'argile n'ont pas le même diamètre ; en les tamisant, leur distribution donne des informations sur le type du sol. L'essai de floculation (jar test) est un autre moyen de déterminer le type du sol.

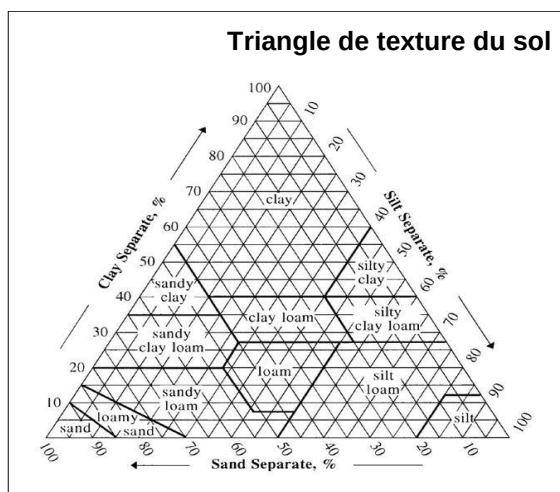
1. Prendre un échantillon de sol dans la zone à irriguer
2. Le mettre dans un bocal (jusqu'à mi-hauteur), ajouter de l'eau (jusqu'à ce que le bocal soit aux deux tiers plein) et fermer le bocal
3. Secouer le bocal et laisser reposer pendant deux heures. Les particules se déposent au fond en formant différentes couches
4. Mesurer la hauteur totale de toutes les couches, puis l'épaisseur de chaque couche
5. Diviser l'épaisseur de chaque couche par la hauteur totale, ce qui donne le pourcentage d'argile, de limon et de sable.



Couches de sédiments – essai de floculation du sol

(Source: K Blumenthal)

Après report des pourcentages d'argile, de limon et de sables obtenus, un triangle de texture du sol (voir figure ci-dessous) donne le type de sol présent.



Triangle de texture du sol

(Source : ministère de l'Agriculture des États-Unis)

L'outil **IRRIGUER – Outil « Sols »** décrit les différentes propriétés du type de sol et permet d'établir un programme d'irrigation basé sur le sol pour différentes cultures

PROGRAMME D'IRRIGATION

L'établissement d'un programme d'irrigation en fonction de la relation sol-plante cultivée ou de mesures atmosphériques peut réduire la consommation d'eau tout en améliorant les rendements. Des logiciels peuvent collecter les données atmosphériques (température, précipitations, humidité et

évapotranspiration) pour faire des recommandations sur un programme d'irrigation optimal (voir le [document FAO Irrigation et Drainage n° 56](#)). L'outil **IRRIGUER – Outil « Sols »** permet d'établir un programme d'irrigation basé sur le sol pour différentes cultures.

PAILLAGE

Le paillage est une technique efficace de réduction de l'évaporation de l'humidité du sol, d'isolation contre le froid et d'amélioration progressive de la composition organique du sol. Il contribue à empêcher le tassement du sol, agit comme conditionneur de sol (amendement) et encourage la présence d'aérateurs naturels tels que les vers de terre. Il ajoute des nutriments en contribuant à la disponibilité du potassium et peut également ajouter de l'azote, du phosphore et des oligoéléments au sol. C'est par ailleurs un moyen idéal d'utiliser les déchets agricoles recyclés.

Le paillage consiste à déposer des couches de matières organiques (paille, écorce d'arbre, débris de feuilles, tiges de maïs) ou inorganiques (bâches de PVC) sur la surface cultivée, et à travers lesquelles les plantes peuvent pousser. On peut également obtenir un paillage par culture intercalaire, par exemple en cultivant des plantes rampantes (pastèque, citrouille) entre les rangs de maïs. Points importants à prendre en considération concernant le paillage :

- Dès lors qu'on a commencé à pailler, il ne faut pas revenir dessus. Le fait d'enlever une couche de paillage assèchera le sol et endommagera potentiellement les racines qui se trouvent en-dessous.
- Le paillage appliqué contre le tronc d'un arbre peut entraîner la pourriture de l'écorce, l'apparition de maladies et des problèmes d'insectes. Il faut par conséquent laisser plusieurs centimètres d'espace libre entre la base du tronc et la couche de paillis.

- Éviter de trop pailler. En raison d'un paillage trop épais, les racines peuvent se développer à faible profondeur, ce qui les rend plus susceptibles de dépérir pendant les périodes de sécheresse prolongées. En règle générale, l'épaisseur du paillage ne doit pas dépasser 5 cm.
- Utiliser du paillis ligneux ou d'écorce dans les zones où il ne faut pas beaucoup creuser, par ex. autour des arbres ou des parterres de fleurs. Un paillis plus léger, par exemple de la paille, qu'il est facile d'intégrer dans le sol, convient mieux pour les cultures saisonnières et pour les jardins potagers où la replantation est régulière.
- Avant d'appliquer une nouvelle couche de paillis, ratisser et mélanger l'ancienne couche. Le paillis, en particulier le paillis ligneux, peut se tasser avec le temps et empêcher l'aération du sol et la pénétration de l'eau.

CULTURE INTERCALAIRE

La culture intercalaire est une pratique de polyculture selon laquelle deux cultures ou plus sont pratiquées les unes à proximité des autres. L'objectif le plus courant de la culture intercalaire est d'obtenir un rendement plus important, sur une parcelle de terre, en utilisant les ressources ou en faisant appel à des processus écologiques qu'en d'autres circonstances une seule culture n'utiliserait pas (*Ouma, George; Jeruto, P (2010)*). Les éléments de la culture intercalaire (*Wikipedia, « Intercropping », janvier 2018*) sont les suivants :

- **partitionnement des ressources** : une planification rigoureuse, tenant compte du sol, du climat, des cultures et des variétés, est nécessaire. Il est particulièrement important que les cultures ne soient pas en concurrence pour un espace physique, les nutriments, l'eau ou la lumière solaire.

À titre d'exemple de stratégie de culture intercalaire, une culture à racines profondes sera associée à une culture à racines peu profondes, ou une culture haute à une culture basse ayant partiellement besoin d'ombre ;

- **mutualisme** : la culture de deux espèces végétales à proximité l'une de l'autre peut être particulièrement bénéfique lorsque les deux espèces interagissent de sorte qu'elles se renforcent mutuellement (et améliorent par conséquent leur rendement mutuel). Par exemple, des plantes sujettes à verser par grand vent ou forte pluie (plantes sujettes à la verse) peuvent bénéficier d'un soutien structurel offert par les plantes à proximité desquelles elles sont cultivées. Les plantes grimpantes peuvent également bénéficier d'un support structurel. Certaines plantes sont utilisées pour éliminer les mauvaises herbes ou fournir des nutriments. Des plantes délicates ou sensibles à la lumière peuvent bénéficier de l'ombre ou d'une protection et on peut également utiliser des espaces qui, autrement, seraient inutilisés. À titre d'exemple, citons le système tropical à plusieurs niveaux dans lequel la noix de coco occupe le niveau supérieur, la banane le niveau intermédiaire, et l'ananas, le gingembre, des légumineuses fourragères, des plantes aromatiques ou médicinales le niveau inférieur. La culture intercalaire de plantes compatibles peut également favoriser la biodiversité en offrant un habitat à divers insectes et organismes du sol qui ne seraient pas présents dans le cas d'une monoculture. Ces organismes peuvent offrir de précieux nutriments aux cultures, par exemple grâce à la fixation de l'azote ;
- **gestion des nuisibles** : il existe plusieurs moyens grâce auxquels l'accroissement de la diversité des cultures peut contribuer à améliorer la gestion des nuisibles. Par exemple, de

telles pratiques peuvent limiter les foyers de nuisibles des récoltes en accroissant la biodiversité des prédateurs. De plus, en réduisant l'homogénéité de la culture on peut potentiellement accroître les obstacles à la dispersion biologique des organismes nuisibles dans la culture. La culture intercalaire peut contribuer à lutter contre les nuisibles de plusieurs façons :

- une culture-piège est une culture qui, plantée à proximité de la culture principale, attire plus les nuisibles que cette dernière ; ainsi les nuisibles visent cette culture-piège et ne touchent pas, ou peu, à la culture principale ;
- les cultures intermédiaires répulsives ont tendance à repousser certains nuisibles. Avec ce système, la culture répulsive masque l'odeur de la culture principale pour en éloigner les nuisibles ;
- la méthode stimulo-dissuasive de diversion (ou méthode « push-pull ») est un mélange de culture piège et de culture intercalaire répulsive. Le nuisible est repoussé de la culture principale par une culture répulsive et attiré par une culture-piège.

Les vulgarisateurs et conseillers agricoles doivent être en mesure de donner des conseils sur la culture intercalaire et le compagnonnage des plantes.

CAPTAGE DE L'EAU DE PLUIE

En veillant à ce que l'eau de pluie ne ruisselle pas mais s'infiltre au contraire dans les couches profondes du sol, on évite l'érosion de la couche arable et on peut contribuer à recharger la nappe souterraine et améliorer l'humidité du sol en profondeur. Des sillons tracés à des endroits stratégiques peuvent retenir l'eau de pluie et la détourner vers des zones cultivées (ou le puits de pompage), alors

que les gouttières de toit raccordées à des réservoirs de stockage peuvent constituer des réserves pour la saison sèche.

CONTROLE

Le contrôle régulier de la consommation d'eau et des niveaux d'humidité du sol permet de mieux se faire une idée des ressources en eau nécessaires pour assurer la bonne santé des cultures. Les débitmètres d'eau et les humidimètres de sol portables sont d'importants appareils qui permettent de collecter des données aux fins d'analyse.

SILLONS AMELIORES

De nombreuses techniques permettent d'optimiser l'écoulement de l'eau dans les sillons. On peut recouvrir les sillons de film PVC ou de dalles de pierre pour réduire l'évaporation, revêtir ou consolider les principaux sillons pour réduire le taux d'infiltration d'eau à l'extrémité la plus élevée du champ (une plus grande quantité d'eau est ainsi disponible dans la partie plus basse du sillon, si bien que l'eau progresse plus vite vers l'autre bout du champ et que la distribution de l'eau est meilleure) ou optimiser les angles de pente pour assurer un bon écoulement de l'eau.

EVITER L'EVAPORATION

L'évaporation de l'eau dans les zones de stockage et les systèmes de transport non couverts entraîne une perte directe des ressources en eau dans l'atmosphère. Cette perte a des implications financières lorsque des dépenses ont été engagées pour pomper l'eau dans un puits ou se la procurer auprès d'un prestataire de services. Pour stopper l'évaporation, il faut limiter l'énergie solaire à la disposition de l'eau (pour énergiser les molécules d'eau) et diminuer l'exposition de l'eau à l'air sec. En s'évaporant, l'eau forme, à sa surface, une couche d'air humide qui abaisse la capacité de l'air à accepter plus de molécules d'eau du liquide. Le déplacement de l'air éloigne la vapeur

d'eau de la surface où elle s'est formée et la remplace par de l'air sec qui augmente l'évaporation. Il est conseillé d'utiliser des réservoirs hermétiquement fermés ou de couvrir les réservoirs et les canaux ouverts. Pour les grands réservoirs d'irrigation ou les barrages, l'utilisation de couvertures flottantes ou de brise-vent (par ex. haies et arbres) peut être envisagée sur tout le périmètre. Cette dernière solution peut contribuer à ombrager la surface de l'eau et, ainsi, à réduire l'énergie cinétique disponible pour les molécules d'eau.

A QUEL MOMENT IRRIGUER ?

En principe, il est préférable d'irriguer le matin, juste avant le lever du soleil. L'air plus frais et la faible vitesse du vent réduisent les pertes par évaporation et les cultures reçoivent une quantité d'eau suffisante au niveau des racines, en attendant les températures plus élevées de la journée. Il est déconseillé d'arroser en fin d'après-midi et le soir car les cultures ne peuvent pas absorber l'eau disponible et l'eau stagnante constitue un véritable bouillon de culture pour les nuisibles et les champignons.

RESULTAT/PRODUIT

- Connaissance d'approches pratiques visant à réduire la demande d'eau d'irrigation

DONNEES NECESSAIRES

- Informations sur la culture intercalaire et le compagnonnage végétal
- Propriétés du sol dans les zones de culture

PERSONNES/PARTIES PRENANTES

- Agents de vulgarisation et conseillers agricoles

- Planificateurs de systèmes d'irrigation et prestataires de services
- Spécialistes en horticulture et en permaculture

POINTS IMPORTANTS

- Seul un contrôle actif et régulier peut garantir l'efficacité d'un système d'irrigation. Toute mesure d'amélioration doit être soigneusement examinée avant sa mise en œuvre et des informations de base doivent être recueillies au préalable (par ex. quantité d'eau consommée, quantité d'engrais utilisée). La comparaison des informations de base avec les nouvelles données consécutives aux mesures permet de dire si l'opération a été un échec ou une réussite. Cela permet de mieux comprendre la situation.

LECTURES, LIENS ET OUTILS COMPLÉMENTAIRES

Allen, R. 1998. Crop Evapotranspiration (Évapotranspiration des cultures). *Document FAO Irrigation et drainage n° 56*. Rome: Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).

FAO. 2016. *Site AQUASTAT*. Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). Site consulté le 27/03/2018.

Berbel, J. & Mateos, L., 2014. Does investment in irrigation technology necessarily generate rebound effects? A simulation analysis based on an agro-economic model (Est-ce qu'investir dans les technologies d'irrigation a nécessairement un effet de rebond ? Analyse de simulation basée sur un modèle agro-économique) *Agricultural Systems*, Elsevier, Vol. 128, pg 25-34.

FAO. 2016. *Water accounting and auditing: A sourcebook (comptabilité et audit de l'eau : recueil)*. Rome : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.

FAO. 2016b. *Exploring the Concept of Water Tenure (examen du concept d'accès à l'eau)*. Rome : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).

FAO. 2013. *Multiple uses of water services in large irrigation systems (utilisations multiples des services de l'eau dans les grands systèmes d'irrigation)*. Rome : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).

FAO. 2012. *Voluntary Guidelines on the Responsible Governance of Tenure of Land, Fisheries and Forests in the context of national food security (directives volontaires pour une gouvernance responsable en termes d'administration des terres, de la pêche et des forêts dans le contexte de la sécurité alimentaire nationale)*. Rome: Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).

FAO. 2011. *État des ressources mondiales en terres et en eau pour l'alimentation et l'agriculture (SOLAW) – Gestion des systèmes en danger*. Rome : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture et Londres, Earthscan.

FAO. 2007. *Modernisation de la gestion de l'irrigation – l'approche MASSCOTE*. Rome : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).

FAO. 2006. *Plant nutrition for food security: A guide for integrated nutrient management (nutrition des plantes pour la sécurité alimentaire : guide de gestion intégrée des nutriments)*. Rome : Guide sur les engrais et la nutrition des plantes n° 16.

Faurès, J.-M., Svendsen, M. & Turrall, H. 2007. Re-inventing irrigation (réinventer l'irrigation). Dans : D. Molden (éditeur). *Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture (de l'eau pour l'alimentation, de l'eau pour la vie : évaluation complète de la gestion de l'eau dans l'agriculture)*. Earthscan, Londres, UK, et International Water

Management Institute, Colombo, Sri Lanka. HR. Hudson. 2005. *Sustainable*

Drainage Management (gestion durable du drainage). New Zealand Water Environment Research Foundation.
http://www.wet.org.nz/wp-content/uploads/2012/03/fieldguide_final.pdf

Moriarty, P. et al. 2007. Approche EMPOWERS à la gouvernance de l'eau : recommandations, méthodes et outils.
http://waterwiki.net/images/d/d2/EMPOWERS_Guidelines%2C_Methods_and_Tools.pdf

Narayanamoorthy, A. 2004. Impact Assessment of Drip Irrigation in India: The Case of Sugarcane (évaluation de l'impact de l'irrigation goutte à goutte en Inde : la canne à sucre), *Development Policy Review*, Vol. 22, n° 4, pp. 443-462.

Rijsberman, Frank. 2006. Water Scarcity: Fact or Fiction (la rareté de l'eau : réalité ou fiction) ? *Agricultural Water Management*, Vol 80, n° 1-3, pg. 5-22.

Salinity Management Handbook (manuel de gestion de la salinité) 2011. Gouvernement du Queensland, Australie.
<https://publications.qld.gov.au/storage/f/2013-12-19T04%3A10%3A23.754Z/salinity-management-handbook.pdf>

Savv AP, Frenken K. 2002. *Irrigation manual : planning, development, monitoring and evaluation of irrigated agriculture with farmer participation (manuel d'irrigation : planification, mise au point, contrôle et évaluation de l'agriculture irriguée avec la participation des agriculteurs)*. Vol. I, Modules 1-6.

Sustainable Agriculture Information Initiative. 2010. *Technical Manual – Soil and Water Conservation (manuel technique – conservation du sol et de l'eau)*.
[https://wocatpedia.net/images/1/18/Technical](https://wocatpedia.net/images/1/18/Technical_Manual-Soil_and_Water_Conservation.pdf)

[Manual-Soil and Water Conservation.pdf](https://wocatpedia.net/images/1/18/Technical_Manual-Soil_and_Water_Conservation.pdf)

Sustainable Agriculture Information Initiative. 2010. *Technical Manual – Conservation Agriculture (manuel technique – agriculture de conservation)*.
http://www.fao.org/ag/ca/CA-Publications/Technical_Manual_Conversation_Agriculture.pdf

Walker, W.R. 2003. Surface irrigation simulation evaluation and design. Guide and technical documentation (simulation de l'irrigation de surface – évaluation et conception). Logan : Université de l'Utah.
http://ocw.usu.edu/biological_and_irrigation_engineering/surface_irrigation_design/simod_iii_manual.pdf

Comptabilité de l'eau :
<http://wateraccounting.org/>

WOCAT *Global Database on Sustainable Land Management (base de données mondiale sur la gestion durable des terres)* : <https://qcat.wocat.net/en/wocat/>

Outils SPIS

IRRIGUER – Évaluation de l'impact

IRRIGUER – Outil «sol»

CONCEVOIR – Outil de dimensionnement de la pompe

Les outils suivants associés à d'autres modules sont également pertinents :

PRÉSERVER L'EAU – Outil de gestion des besoins en eau

FINANCER – Outil de calcul du remboursement

FINANCER – Outil d'analyse de l'exploitation

CONCEVOIR – Outil de collecte des données du site

