



State of Israel



Ministry of Economy and Industry
Foreign Trade Administration



BANQUE MONDIALE



**SOLUTIONS DE POMPAGE SOLAIRE POUR L'IRRIGATION A DES
PROFONDEURS INTERMEDIAIRES POUR LES PETITS PRODUCTEURS
DE LA REGION DES NIAYES**

Rapport final

PRACTICA
FOUNDATION

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce rapport d'étude a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui les auteurs témoignent toute leur reconnaissance.

En tout premier lieu, nous remercions Pierrick Fraval responsable de cette activité à la Banque Mondiale, pour sa confiance, son écoute, et surtout ses judicieux conseils qui ont contribué à l'amélioration de la réflexion.

Nous remercions Mamadou Ndiaye Coordinateur de l'Association des Unions Maraichères des Niayes (AUMN) pour son engagement et sa disponibilité tout au long de ce travail. J'exprime ma gratitude pour la simplicité des relations que nous avons entretenues.

Par extension nous sommes reconnaissants à tous les collaborateurs de l'AUMN pour leur dévouement et leur engagement auprès des petits producteurs de la région des Niayes.

L'équipe multidisciplinaire en charge de cette étude réalisée par PRACTICA Foundation :

- Stephan Abric, expert senior en irrigation à petite échelle, auteur principal,
- Gert Jan Bom, expert senior en technologies innovantes, et Berry van den Pol, jeune expert en irrigation solaire, en charge de l'assistance technique et de l'assurance qualité,
- Youssouf Diallo, expert senior en technologies d'irrigation, et Papa Magatte Ly, jeune expert en pompage solaire, en charge du suivi sur le terrain

Solutions de pompage solaire pour l'irrigation à des profondeurs intermédiaires pour les petits producteurs de la région des Niayes

Rapport final

Smart intermediate depth solar pumping
irrigation for Senegalese smallholders

Auteur :
Stéphan Abric

Équipe d'experts PRACTICA Foundation :
Gert Jan Bom
Youssouf Diallo
Papa Magatte Ly
Berry van den Pol

Janvier 2019

Table des matières

Remerciements	2
Acronymes	7
Résumé.....	8
1. Introduction	11
2. Méthodologie pour le test des solutions de pompage solaire	15
21. Processus de sélection des pompes et résultat des tests en laboratoire.....	15
22. Mise en œuvre opérationnelle	17
Le partenariat	17
Le choix des sites et des producteurs	17
Protocole de test	18
Élaboration de la solution d'irrigation	19
23. Suivi technico économique et suivi du processus d'adoption.....	21
Suivi technique	21
Suivi économique	21
Suivi du processus d'adoption	21
3. Performances des pompes et des solutions d'irrigation solaires.....	23
31. Le captage de l'eau.....	23
Techniques de captage de l'eau	23
Caractéristiques des forages manuel réalisés	23
Qualité de construction & qualité de l'eau.....	26
32. Les performances des pompes solaires.....	28
Preliminaires.....	28
Description	28
Débit et pression	30
Volume journalier et durée de pompage	31
Report des incidents.....	32
3.3 Application de l'eau à la parcelle.....	34
Conditions de fonctionnement.....	34
Stockage de l'eau.....	36
Durée de l'irrigation.....	36
Surface irriguée	37
4. Investissement, coûts et bénéfices du pompage solaire.....	39
4.1 Investissement dans la solution d'irrigation solaire	39
Coût total d'investissement.....	39
Coût du pompage solaire.....	40
4.2 Coûts et bénéfices de l'irrigation solaire.....	43
Charges d'irrigation	44
Charges de production	45
Analyse financière	46
Comparaison pompage thermique et solaire.....	46
5. Facteurs moteurs et barrières pour l'adoption du pompage solaire pour l'irrigation	48
51. Généralités sur le processus d'adoption	48
52. Producteurs non utilisateurs des solutions d'irrigation solaires	49
53. Producteurs pilotes	51

6.	Opportunités et difficultés de la mise en place d'une filière commerciale	53
61.	Analyse du marché	53
	Taille du marché	53
	Segment du marché.....	53
62.	Les acteurs de la filière commerciale	54
63.	Conditions pour la mise en place d'une filière de pompes solaires	55
	Pompes manufacturées en Chine.....	55
	Pompes fabriquées au Burkina Faso.....	57
7.	Quelles leçons tirées du pilote pour la mise à l'échelle au Sénégal et en Afrique de l'Ouest ?	58
	Des pompes adaptées au contexte de la petite irrigation.....	58
	Le pompage au fil du soleil, une opportunité.....	58
	Risque de marginalisation de l'accès aux solutions d'irrigation solaire	59
	Le forage manuel : porte d'entrée pour le développement du pompage solaire pour la petite irrigation individuelle	59
	Un avantage pour les pompes d'origine chinoise.....	59
	Une perception erronée du pompage solaire par les utilisateurs potentiels.....	60
	Une filière d'importation portée par les faitières agricoles	61
	 Annexes.....	 62
	Annexe 1 Liste des pompes solaires testées en laboratoire	63
	Annexe 2 Résultat des tests laboratoire : courbes d'efficience, débit, hauteur	64
	Annexe 3 Caractéristiques des systèmes de pompage solaire testés	68
	Annexe 4 Synthèse des mesures réalisées sur le terrain	69
	Annexe 5 Exemple de tableau de collecte de données techniques	70
	Annexe 6 Coût détaillé des aménagements (situation finale).....	71
	Annexe 7 Suivi détaillé de l'évolution des solutions solaires testées.....	75
	Annexe 8 Schémas de l'évolution des solutions solaires testées.....	79
	Annexe 9 Chronogramme journalier d'activités avant et après installation	83
	Annexe 10 Questionnaire sur la perception du pompage solaire avant et après démonstration	84
	Annexe 11 Fiche technique forage manuel à la tarière.....	90
	Annexe 12 Fiche technique pointe filtrante.....	91
	Annexe 13 Fiche technique goutte à goutte	92
	Annexe 14 Fiche technique mini pivot	93
	Annexe 15 Fiche technique bassin circulaire	94
	Annexe 16 Fiche technique tuyau souple	95
	Annexe 17 Fiche technique bande d'aspersion.....	96
	Annexe 18 Protocole d'accord entre l'AUMN et les producteurs pilotes	97
	Annexe 19 Termes de référence de l'étude « solutions de pompage solaire pour l'irrigation à des profondeurs intermédiaires pour les petits producteurs de la région des Niayes ».....	99

Liste des figures

Figure 1 Estimation de la profondeur de l'eau en Afrique	11
Figure 2 Localisation du Sénégal sur le continent Africain, Sénégal, zones des Niayes et vue des Niayes.....	12
Figure 3 Puits profond peu productif avec une motopompe, motopompe et contre puits, contre puits.....	13
Figure 4 Planning de mise en œuvre du pilote.....	15
Figure 5 Exemple de la courbe efficacité et débit de la pompe Solartech	16
Figure 6 Données collectées par un enregistreur	21
Figure 7 Mesures de pression, de volume, de débit	21
Figure 8 Carte de localisation des jardins pilotes.....	25
Figure 9 Dépôts de boue sur les éléments de la pompe	26
Figure 10 Courbes de variation du débit horaire quotidien.....	28
Figure 11 Pompes Difful, Solartech, Mini Volanta, Sunculture	29
Figure 12 Courbes débit et pression de la pompe Solartech (pompe hélicoïdale)	31
Figure 13 Courbes débit / pression et conditions de fonctionnement du goutte à goutte	35
Figure 14 Mini pivot, bande d'aspersion, tuyau, goutte à goutte.....	38
Figure 15 Répartition du coût des investissements de la solution d'irrigation solaire	44
Figure 16 Comparaison de la répartition des charges de production de l'eau	47
Figure 17 Processus d'adoption d'une innovation	48
Figure 18 Démonstration des solutions d'irrigation solaire.....	52

Liste des tableaux

Tableau 1 Pompes sélectionnées pour les tests en laboratoire.....	16
Tableau 2 Caractéristiques des pompes solaires	18
Tableau 3 Caractéristiques des systèmes d'application de l'eau à la parcelle.....	19
Tableau 4 Performance des forages manuels	25
Tableau 5 Caractéristiques des générateurs solaires.....	29
Tableau 6 Débit et pression de pointe mesurés	30
Tableau 7 Volume de pompage	32
Tableau 8 Durée et plages de pompage.....	32
Tableau 9 Suivi des incidents	33
Tableau 10 Conditions d'utilisation des techniques d'application de l'eau	34
Tableau 11 Durée d'irrigation et volume de stockage	36
Tableau 12 Superficie irriguée mesurée	37
Tableau 13 Superficie irriguée totale par pompe solaire.....	37
Tableau 14 Coûts TTC des solutions d'irrigation solaires	39
Tableau 15 Pourcentage du coût des différentes composantes des solutions d'irrigation solaires	40
Tableau 16 Pourcentage du coût des taxes et droits de douanes	40
Tableau 17 prix de vente estimés des pompes solaires	41
Tableau 18 Comparaison des pompes solaires testées avec les pompes disponibles sur le marché local.....	42
Tableau 19 Coût du pompage solaire en fonction du volume de pompage	43
Tableau 20 Caractéristiques de la solution d'irrigation solaire	44
Tableau 21 Charges d'irrigation	45
Tableau 22 Charges de production	45
Tableau 23 Analyse financière	46
Tableau 24 Profil des producteurs enquêtés	49
Tableau 25 Chronogramme journalier d'activités avant et après installation	51
Tableau 26 Comparaison des hypothèses de prix de vente d'importation de la pompe Difful entre l'AUMN et la filière Chinoise.....	56

ACRONYMES

AT	Assistance Technique
AUMN	Association des Unions Maraichers des Niayes
CILSS	Comité permanent Inter-états de Lutte contre la Sécheresse au Sahel
CC	Courant Continu
CEDEAO	Communauté Économique des États de l’Afrique de l’Ouest
DC	Direct Current
DGPPE	Direction de la Gestion de la Planification des Ressources en Eau
GSM	Global System for Mobile communications
HCD	Human Centered Design
HMT	Hauteur Manométrique Totale
IFPRI	International Food Policy Research Institute
IMWI	International Water Management Institute
MPPT	Maximum Power Point Tracking
PME	Petites et Moyennes Entreprises
REGIS-ER	Resilience and Economic Growth in Sahel – Enhanced Resilience
TPE	Très Petite Entreprise
TVA	Taxe sur le Valeur Ajoutée
USAID	United States International Development Agency
2iS	Initiative pour l’Irrigation au Sahel

RESUME

L'activité avait pour objectif de tester la faisabilité de solutions de pompage solaire pour l'irrigation à des profondeurs intermédiaires¹ dans la région des Niayes au Sénégal, capables de répondre aux besoins, attentes et contraintes des petits producteurs pour cultiver les terres agricoles dans les zones où la nappe est trop profonde pour les motopompes.

Lorsque l'eau se trouve à une profondeur limite pour le pompage de surface avec une motopompe (8 à 10 m) le producteur doit franchir une marche technologique conduisant au choix du pompage électrique solaire afin d'augmenter le potentiel de terre irrigable jusqu'alors inexploité. Toutefois les capacités financières des petits producteurs (superficie inférieure à 0,5 ha) sont trop faibles pour accéder aux solutions de pompage solaires conventionnelles disponibles sur le marché Sénégalais. Une étude réalisée par PRACTICA Foundation² en collaboration avec Global Good³ a identifié qu'il existait un marché pour des pompes solaires à faible coût capables de pomper de l'eau à des profondeurs de 7 à 20 m (potentiel de 13 000 ha), avec un investissement réduit et un faible coût de fonctionnement, possédant une capacité de pompage journalière suffisante pour assurer la rentabilité d'une superficie irriguée de cultures maraichères de 2500 à 4000 m², superficie qui s'avère correspondre au parcellaire d'un grand nombre d'agriculteurs. Pour ce segment⁴ de producteurs la quasi-totalité de l'offre de pompes solaires est d'origine Chinoise.

Des recherches sur le marché international de pompes répondant à priori aux critères issus de l'étude ont conduit à la sélection de 9 pompes solaires, disponibles sur des sites d'e-commerce asiatique, qui ont été testées en laboratoire afin de comparer leurs performances. Les résultats de laboratoire révèlent une homogénéité des performances entre les pompes, qui sont conformes aux données constructeurs. Par la suite, quatre d'entre elles représentatives d'un échantillon des techniques de pompes existantes (centrifuge, hélicoïdal, piston, diaphragme), dont une fabriquée au Burkina Faso (pompe mini volante), ont été choisies pour suivre des tests sur le terrain auprès de quatre producteurs pilotes de la région des Niayes. Les tests portaient sur ce qui constitue la solution d'irrigation, qui est composée d'un forage manuel, d'une pompe solaire au fil du soleil (sans batterie) et d'un système d'application de l'eau à la parcelle (goutte à goutte, bande d'aspersion, tuyau et pomme d'arrosoir, mini pivot).

L'Association de Unions Maraichers des Niayes (AUMN) qui regroupe 18 Unions et Fédérations (17 500 membres) était l'interlocuteur et le partenaire opérationnel principal de la mise en oeuvre des tests auprès des producteurs, qui sont placés au centre du processus de construction de la solution d'irrigation solaire. La solution n'est pas uniquement technologique mais doit intégrer les conditions d'un environnement favorable pour le développement d'une filière commerciale durable dans laquelle l'AUM est amenée à jouer un rôle de premier plan.

¹ Cette notion indique l'interface entre la limite du pompage de surface et la nécessité du recours au pompage immergé

² PRACTICA Foundation est une ONG internationale Néerlandaise spécialisée dans le développement et l'application commerciale de solutions appropriées innovantes dans les secteurs de l'eau, de l'énergie et de l'assainissement - www.practica.org

³ Global Good est le fruit d'un partenariat entre une compagnie de propriété intellectuelle et la fondation Gates pour le développement de solutions aux problèmes majeurs des pays en développement - www.intellectualventures.com

⁴ Un segment de marché représente un groupe distinct et homogène de producteurs (clients)

Les paramètres techniques (débit, pression, volume journalier, plage horaire d'irrigation et de pompage, superficie irriguée, durée de l'irrigation, tension et puissance des panneaux), économiques (coûts de production, quantité récoltée, vente des produits) et comportementaux (évolution de la perception, impact du changement) de 4 exploitations ont été suivis durant une campagne de maraichage. Les résultats, ainsi obtenus, ont permis d'apporter des éléments de réponse sur les performances des pompes solaires et plus généralement sur les solutions d'irrigation, de renseigner sur les coûts et la rentabilité des différents systèmes, d'identifier les facteurs moteurs et les barrières à l'adoption des solutions d'irrigation solaires et de définir les opportunités et les difficultés pour la mise en place d'une filière commerciale durable et inclusive.

Le choix des caractéristiques des pompes solaires (volume journalier, HMT, puissance du générateur) et les performances, qui en découlent, dépendent du débit exploitation de l'aquifère superficiel; limité dans les tests à 4 m³/h pour une profondeur de 17 m. Les forages sont réalisés avec des techniques manuelles afin de maintenir le coût d'investissement de la solution le plus bas possible. Dans ces conditions le volume journalier moyen produit est de 15 m³/jour (2,5 m³/h en débit de pointe), avec une profondeur d'eau dynamique de 11 m, pour l'irrigation d'une superficie mesurée de 3000 à 3500 m², et seulement 2000 à 2500 m² si le volume de pompage est limité à 10 m³/jour (pompe à piston mini volante). Par ailleurs, les résultats du pilote non pas permis de mettre en évidence un lien entre fiabilité et origine de fabrication de la pompe. Néanmoins, quel que soit la qualité de fabrication et son origine le choix d'une pompe doit s'orienter vers des systèmes de pompage peu sensibles à la qualité de l'eau (présence de sable en suspension), comme les pompes hélicoïdales ou à pistons. La pompe à diaphragme est déconseillée pour un usage intensif exigeant comme l'irrigation. De même, les tests ont démontré que 70% du volume produit est directement distribué avec des techniques efficaces d'application de l'eau à la parcelle sans avoir recours à un bassin de stockage surélevé (château d'eau). Durant environ 6 heures/jour le débit et la pression sont suffisamment stables pour faire fonctionner correctement le goutte à goutte et les bandes d'aspersion qui fonctionnent à faible pression (2 à 4 m). Lorsque la pression est trop faible, en début de matinée, en fin de soirée ou lors de passages nuageux, l'eau est stockée dans des petits bassins au sol pour l'irrigation à l'arrosoir.

Les solutions d'irrigation solaires (forage manuel, pompage solaire, application de l'eau) testées sont rentables pour la production maraichère, et le retour sur investissement très rapide (environ 2 à 3 campagnes) en raison de la faiblesse des coûts de production de l'eau, mais le coût d'acquisition initial demeure élevé (1,5 à 2,5 millions de FCFA / 2585 à 4374 USD). Le remplacement de la pompe représente environ 20% du coût de la solution solaire, dont la durée de vie sera inférieure à 4 années voire moins selon les conditions (durée de pompage, qualité de l'eau). Par conséquent, il est important de maintenir le coût de la pompe à un niveau le plus bas possible et inciter les producteurs à provisionner leur renouvellement. C'est pourquoi les pompes manufacturées en Chine trois fois moins chères que leurs concurrentes européennes présentent un intérêt particulier pour les petits producteurs.

Les enquêtes et discussions révèlent une perception erronée des agriculteurs locaux sur les caractéristiques et les capacités du pompage solaire, qui peut freiner son adoption. En l'absence de conseil certaines idées reçues conduisent les producteurs primo-adoptant, souvent leader communautaire, à faire le mauvais choix de la solution de pompage solaire.

L'expérience qui en découle diffusée par le bouche-à-oreille à l'ensemble d'une zone de production peut semer le doute dans la communauté de petits producteurs. En général, les utilisateurs du pompage solaire sont des innovateurs précoces qui veulent de la technologie et attendent des performances. La majorité des acheteurs potentiels restants semble convaincue que le pompage solaire est une voie intéressante, mais attend des solutions pratiques adaptées à ses besoins.

Dans les Niayes, le pompage à profondeur intermédiaire est un marché de niche intéressant (potentiel de 6500 hectares⁵) mais la dynamique porteuse incertaine peu incitatrice pour des fournisseurs ou investisseurs privés nationaux habitués aux marchés institutionnels portés par des projets et non des privés. Par contre, les faitières d'organisations de producteurs maraichers manifestent leur intérêt pour ce marché, et elles semblent en capacité de diriger une filière commerciale équitable entre les fabricants chinois et les producteurs consommateurs finaux. Ces organisations sont prêtes à travailler avec tous les partenaires du secteur dans la mesure où les services et les produits offerts répondent aux besoins et aux contraintes rencontrées par leurs membres.

Le développement et la diffusion de solutions inclusives de pompage solaire à un coût abordable pour l'irrigation à des profondeurs intermédiaires ouvre d'importantes perspectives dans les pays du CILSS pour accélérer l'augmentation des superficies irriguées soutenue par l'Initiative pour l'Irrigation au Sahel (2iS)⁶. Les eaux souterraines se situant à une profondeur n'excédant pas 20 m présentent un intérêt manifeste pour stimuler le développement des petites exploitations en agriculture irriguée en Afrique Subsaharienne (Gowing et al., 2016)

⁵ La profondeur de l'eau prise en compte pour le calcul du potentiel de terre irrigable est de 10 à 14 m. Elle tient compte de la limite de profondeur (20m) pouvant être atteinte par les techniques manuelles de forage utilisées au Sénégal

⁶ <http://pariis.cilss.int/>

1. INTRODUCTION

Dans les zones arides en Afrique, l'accès à l'irrigation est considéré comme un moyen pour améliorer la productivité des terres, augmenter la résilience des exploitations agricoles face aux conséquences croissantes du changement climatique, stabiliser et augmenter les revenus des agriculteurs, renforcer la sécurité alimentaire et la diversité nutritionnelle, ainsi que créer des emplois. En outre, les terres irriguées représentent une part marginale de la superficie irriguée en Afrique Subsaharienne, où seulement 5% des terres agricoles sont irriguées (IMWI 2010) et où la pénurie d'eau constitue un obstacle à la croissance et au bien-être.

En Afrique Subsaharienne au moins 10 millions d'agriculteurs sont situés sur des terres où l'eau souterraine est inaccessible à un coût raisonnable en raison d'une profondeur trop importante pour les motopompes de surface. Selon une étude conduite par PRACTICA et Global Good (2015) une estimation de 60 000 petits producteurs dans l'ensemble de 6 pays du Sahel (Burkina Faso, Mali, Mauritanie, Niger, Sénégal, Tchad) auraient des terres irrigables disposant d'eau souterraine entre 10 et 20 m de profondeur. L'impossibilité d'avoir accès à cette eau en toute saison et à un coût abordable freine le potentiel de production de cultures maraichères à haute valeur ajoutée.

Plusieurs publications récentes mettent en avant le potentiel d'exploitation des eaux souterraines pour l'extension des surfaces irriguées en Afrique subsaharienne :

- Les eaux souterraines jusqu'à 20 m de profondeur ont le potentiel le plus élevé pour stimuler les petites exploitations agricoles en Afrique Subsaharienne (Gowing et al., 2016).
- Les aquifères renouvelables sont sous-exploités au Sahel et en Afrique de l'Est (Altchenko & Villholth, 2015)
- Les ressources en eaux souterraines peu profondes représentent une opportunité négligée pour l'intensification durable de la petite agriculture ; et les préoccupations concernant la faible transmissivité des aquifères, les faibles rendements des puits, la vulnérabilité des aquifères et les conflits de ressources sont exagérées (Gowing et al., 2016).
- 83% du potentiel de développement de l'irrigation concerne la petite irrigation, plus rentable, s'appuyant largement sur le captage des eaux souterraines (African Dryland report, World Bank / IFPRI, 2014)

Le pompage solaire est considéré comme une voie très prometteuse pour permettre aux agriculteurs de réduire leurs coûts de production et ainsi améliorer leurs conditions de vie. À l'heure actuelle, mis à part les pompes manuelles, la quasi-totalité de la surface irriguée à partir d'eaux souterraines est pompée à l'aide de motopompes à essence de surface à une profondeur ne dépassant pas 10 mètres. Cependant, les cartes hydrogéologiques révèlent de vastes aquifères productifs, légèrement plus profonds (profondeur intermédiaire, de 7 à 20 m), mais atteignables uniquement avec des pompes immergées dont le coût est prohibitif sur le marché local.

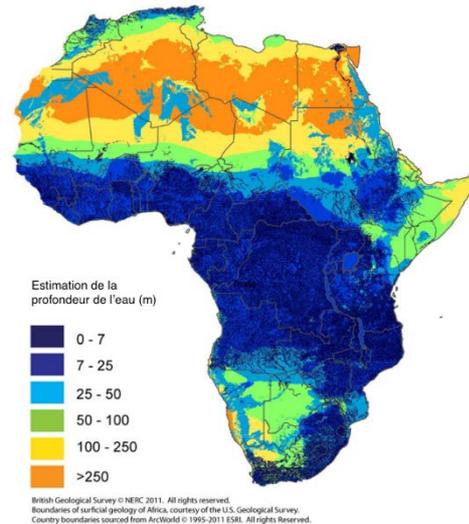


Figure 1 Estimation de la profondeur de l'eau en Afrique

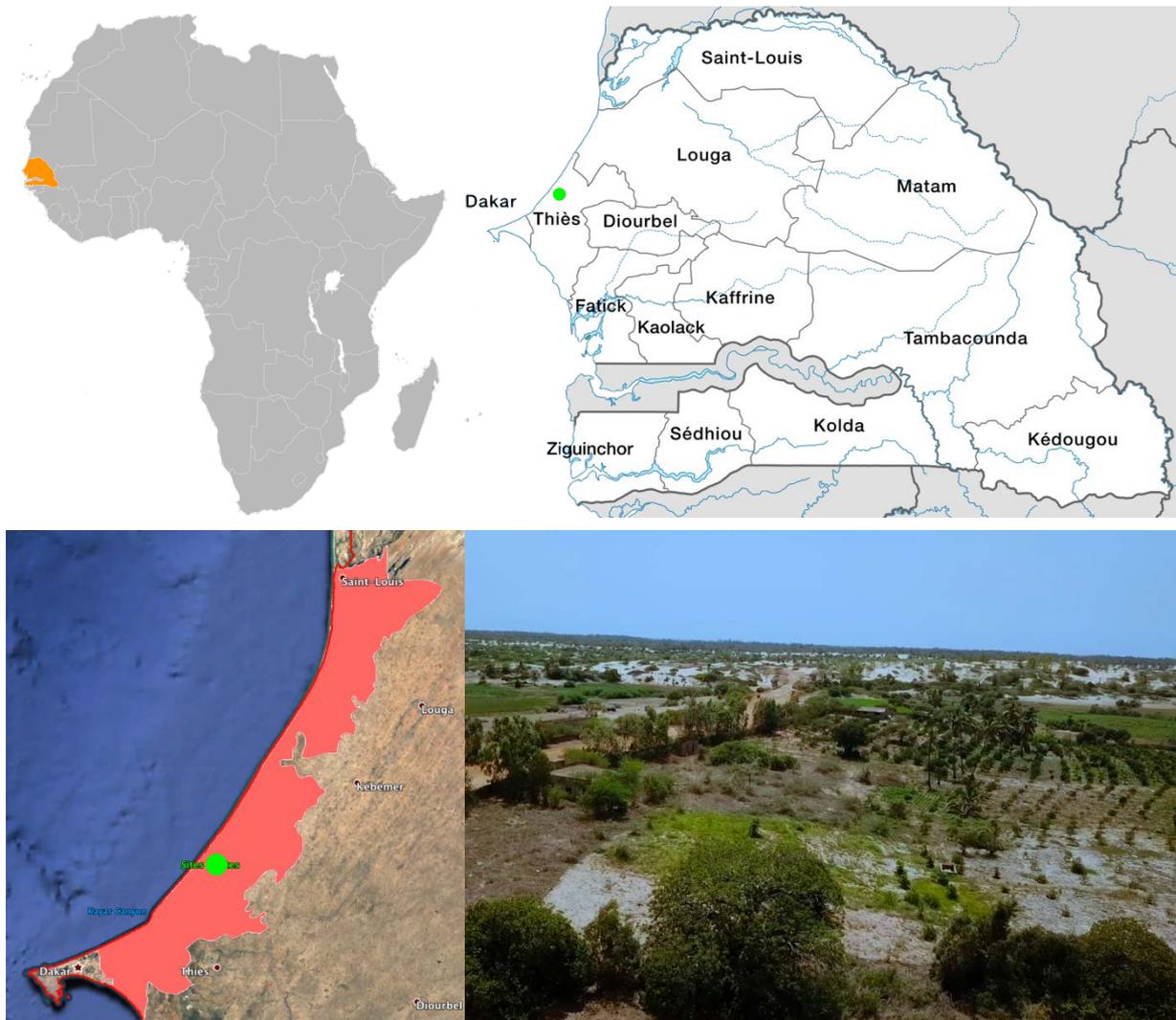


Figure 2 Localisation du Sénégal sur le continent Africain, Sénégal, zones des Niayes et vue des Niayes

Le Sénégal est un pays très aride avec une population en croissance rapide, dont une grande partie se trouve déjà dans les villes, notamment la capitale, Dakar, qui dépasse 2,4 millions d'habitants. La région des Niayes est une étendue de terre de 10 km de large et de 150 km de long composée de dunes et de dépressions recouvrant des aquifères productifs. Quelque 17 500 petits agriculteurs cultivent des légumes sur des parcelles individuelles ne dépassant pas un hectare, et généralement inférieures à un demi-hectare, mais totalisent 5 000 ha mis en valeur. Ces agriculteurs dynamiques et orientés vers le marché fournissent 80% des produits maraichers consommés dans la capitale Dakar.

La quasi-totalité d'entre eux prélève de l'eau en utilisant des pompes de surface à essence ou à diesel. Les motopompes utilisées ont une profondeur de pompage limitée en pratique à 7 m. Au-delà de cette profondeur certains producteurs réalisent un contre puits⁷ pour se retrouver dans des conditions favorables de pompage. L'utilisation de la motopompe avec contre puits (voir figure 3) jusqu'à 10 m est contraignante avec un coût de fonctionnement élevé. La seule alternative est le pompage électrique immergé alimenté avec un générateur

⁷ C'est une excavation réalisée à côté d'un puits qui permet de diminuer la hauteur d'aspiration d'une pompe de surface (motopompe) à un niveau inférieur à 7 m.

thermique ou solaire. Le coût des pompes solaires sur le marché local et le niveau de technicité requis pour le choix et l'installation de l'équipement sont une barrière à l'adoption de solutions appropriées pour l'irrigation.



Figure 3 Puits profond peu productif avec une motopompe, motopompe et contre puits, contre puits

En Décembre 2015, PRACTICA en collaboration avec Global Good a réalisé une étude au Sénégal pour connaître le marché et définir les critères de conception d'une pompe solaire pour l'irrigation lorsque l'eau se situe à une profondeur intermédiaire de 7 à 20 m. Cette étude était motivée par le constat de l'absence de solution de pompage solaire appropriée et abordable pour les petits producteurs cultivant une surface maraichère irriguée inférieure à 0,5 ha. Lors de son évaluation, PRACTICA a mis en évidence, sur la base des cartes hydrogéologiques locales, un potentiel de 13 000 hectares de terre irrigable s'il était possible de pomper à une profondeur d'eau intermédiaire. De plus, des entretiens menés avec des agriculteurs et des représentants d'organisations de producteurs ont confirmé un fort intérêt pour les solutions d'irrigation solaire à profondeur intermédiaire. Enfin, les critères de conception définis par l'étude indiquent que la pompe solaire doit être en mesure de produire 10 à 12 m³/jour à une hauteur de 15 m, avec un coût d'investissement de 600 euros (pompe et générateur solaire) pour l'irrigation d'une superficie de 2000 à 4000 m², selon la saison et la fréquence d'irrigation.

Suite à cette étude, les Niayes semblaient être la zone la plus prometteuse pour expérimenter des solutions de pompage solaire pour l'irrigation à des profondeurs intermédiaires pour les petits exploitants, avec des perspectives de développement dans d'autres régions d'Afrique. Le pilotage de la faisabilité des différentes solutions d'irrigation a permis d'apporter des éclairages développés dans ce rapport dont les parties principales présentées ci-dessous renseignent les questions que posent le pompage solaire à ces profondeurs :

- Les performances des pompe solaires et des solutions d'irrigation – Plusieurs techniques de pompage solaires existent mais qu'elles sont les solutions les mieux adaptées aux conditions de pompage des petits producteurs ? Par ailleurs, la connaissance de la variabilité des performances journalières de chaque pompe (débit, pression, volume journalier) permet de choisir et d'adapter les techniques d'application de l'eau à la parcelle qui font parties de la solution d'irrigation solaire. Ces techniques efficaces à faible pression sont-elles compatibles avec le pompage solaire, et doit-on avoir recours ou non au stockage de l'eau ?

- Investissement, coûts et bénéfices du pompage solaire – La solution solaire doit être abordable aux petits producteurs, mais à quel prix et pour quelle rentabilité ? Sur quels maillons de la filière commerciale de distribution peut-on agir pour diminuer le coût du pompage solaire ? Les pompes solaires manufacturées en Chine sont-elles une alternative à leurs concurrentes européennes pour les petits producteurs ?

- Facteurs moteurs et barrières pour l'adoption du pompage pour l'irrigation - Le pompage solaire pour la petite irrigation tout le monde en parle mais très peu franchissent le pas. Le marché peine à se développer et fonctionne en marche forcée. Quelle est la compréhension, la perception et les attentes des petits producteurs ?

- Opportunités et difficultés de la mise en place d'une filière commerciale – La solution ne doit plus être uniquement technologique mais doit intégrer les conditions d'un environnement favorable pour le développement de filières commerciales durables, à la demande, et à un coût abordable. Qui sont les acteurs de cette filière prêt à offrir ce service ? Est-ce que les organisations de producteurs peuvent jouer, et sont-elles prêtes à jouer un rôle moteur dans le développement d'une filière commerciale équitable ?

Enfin, le rapport conclut sur les leçons tirées du pilote et décrit les pistes à suivre pour la mise à l'échelle au Sénégal et en Afrique de l'Ouest des solutions de pompage solaire pour l'irrigation à des profondeurs intermédiaires pour les petits exploitants.

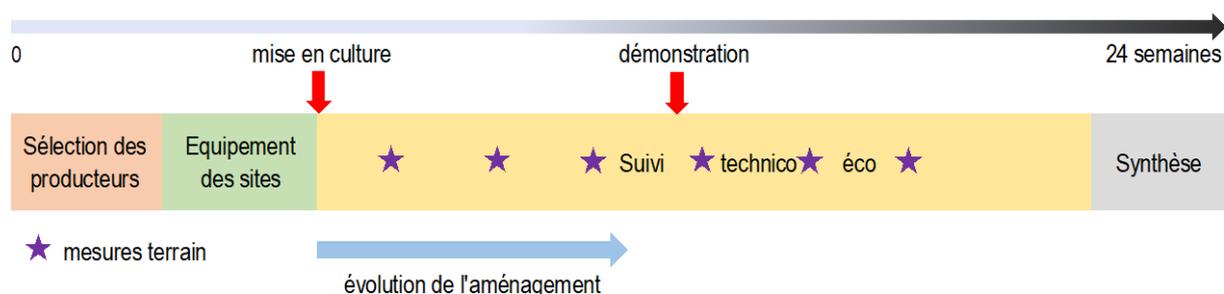
2. METHODOLOGIE POUR LE TEST DES SOLUTIONS DE POMPAGE SOLAIRE

Le projet pilote s'est déroulé sur une durée de 6 mois de mi-avril à mi-October 2018.

L'équipe mobilisée était composée :

- d'un chef de mission spécialiste sénior en irrigation et technologies innovantes : 30 jours d'AT sur 6 mois
- d'un spécialiste junior en pompage solaire et irrigation : 10 jours
- d'un spécialiste sénior en technologies de l'irrigation impliqué à mi-temps sur 5 mois
- d'un spécialiste junior en pompage solaire 5 mois à temps plein
- d'un technicien sénior spécialiste en conduite de cultures maraichères irriguées, mis à disposition par le partenaire local durant 5 mois

Figure 4 Planning de mise en œuvre du pilote



21. Processus de sélection des pompes et résultat des tests en laboratoire

Les résultats de tests en laboratoire réalisés entre 2017 et début 2018 ont été exploités pour la sélection des pompes testées sur le terrain au Sénégal.

Durant cette période une revue du marché international (E-commerce) a permis de sélectionner 10 pompes solaires se rapprochant des critères identifiés dans l'étude de marché réalisée fin 2015 avec l'appui financier de Global Good :

- Volume 10 à 12 m³/ jour
- Hauteur totale 15 m (profondeur de l'eau + hauteur disponible pour l'irrigation)
- Prix 600 euros (pompe et générateur solaire)

Toutes les pompes sélectionnées sont d'origine asiatique, hormis la pompe volante fabriquée au Burkina Faso.

Les performances de l'ensemble des pompes (annexe 2) ont été comparées en laboratoire pour une partie aux États-Unis et pour l'autre aux Pays-Bas :

- Courbe de l'efficacité⁸ du système de pompage
- Courbe hauteur en fonction du débit⁹

⁸ L'efficacité appelée aussi rendement du système de pompage = rendement moteur X rendement de la pompe).

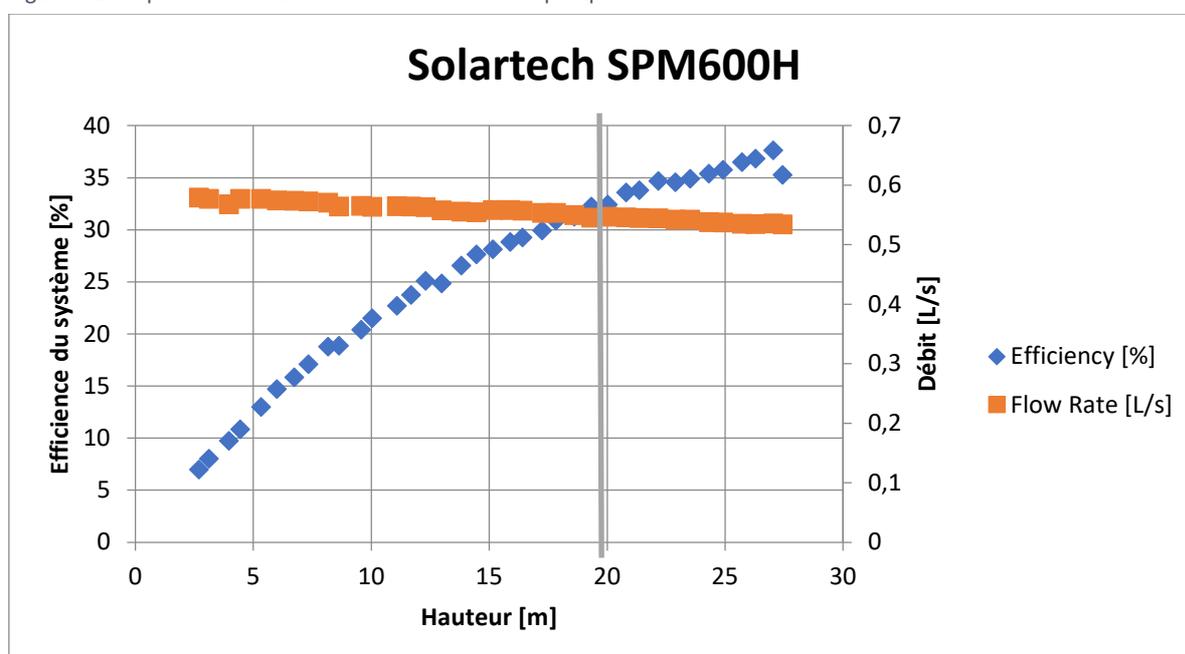
Rendement moteur = puissance mécanique / puissance thermique. Rendement de la pompe = puissance utile / puissance absorbée

⁹ Cette courbe indique pour chaque point de fonctionnement la valeur du débit et de la hauteur obtenue

Tableau 1 Pompes sélectionnées pour les tests en laboratoire

Marque	Modèle	Type de pompe
DingFeng	3SSW4-33-48-550	Centrifuge
Jintai	JS4-3.0-60	Hélicoïdal
SolarTech	SPM600H	Hélicoïdal
Taifu	4TSC2.5-70-48/500	Centrifuge
Xinya	4SPS3/60-D36/500	Hélicoïdal
Zhejiang Feili	4FLS1.5/25D36/500	Centrifuge
Difful	3DPC3-25-24-200	Centrifuge
Sunculture - Rainmaker	SP300	Diaphragme
Kerry	M123T-20	Centrifuge
Mini volanta		Piston

Figure 5 Exemple de la courbe efficacité et débit de la pompe Solartech



Le choix final des pompes sélectionnées pour le pilote au Sénégal s'est porté en priorité sur une représentation dans l'échantillon des différentes technologies de pompage existantes (diaphragme, piston, centrifuge, rotor hélicoïdal) et non sur les performances des pompes. Hormis la pompe à diaphragme les performances des pompes testées en laboratoire sont relativement proches et conformes à celles indiquées par les différents constructeurs.

La pompe mini volanta

En 2017 avec l'appui du programme REGIS-ER (USAID) PRACTICA a développé une pompe solaire fabriquée au Burkina Faso par le Centre Sainte Famille. La conception de cette pompe s'est faite à partir des critères définis lors de l'étude de marché au Sénégal. La mini volanta est une pompe à piston dépourvue de dispositif électronique de régulation de la puissance (MPTT) ce qui la rend moins sensible aux pannes et plus facilement réparable. En cas de dysfonctionnement ou de panne les autres pompes solaires immergées sont difficilement réparables dans le contexte rural Ouest Africain.

Quatre pompes issues de ces tests ont été sélectionnées pour les tests de terrain au Sénégal :

- La pompe immergée à diaphragme Rain Maker SP300 distribuée par Sunculture au Kenya, mais fabriquée en Chine
- La pompe à piston Mini Volanta fabriquée et distribuée par le Centre Sainte Famille au Burkina Faso
- Une pompe immergée centrifuge d'origine chinoise marque Difful 3DPC3-25-24-200, disponible sur le marché Sénégalais
- Une pompe immergée à rotor hélicoïdal d'origine chinoise marque Solartech SPM600H

22. Mise en œuvre opérationnelle

Le partenariat - Afin de faciliter l'exécution des activités sur le terrain une convention de partenariat est signée entre PRACTICA et **l'Association des Unions Maraichers des Niayes (AUMN)**, dont le siège est situé à Thiès. L'AUMN joue le rôle de représentation auprès des producteurs et des autres partenaires associés aux activités.

PRACTICA est responsable de l'atteinte des résultats du pilote et apporte l'assurance qualité des activités confiées à l'AUMN.

Un partenaire incontournable

L'AUMN regroupe 18 Unions et Fédérations de producteurs et de productrices (17 500 membres) évoluant dans les domaines du maraîchage, de l'arboriculture et de la foresterie. C'est un acteur incontournable du milieu horticole Sénégalais : cadre de concertation, de coopération et de négociation entre les professionnels de l'horticulture et de l'agroforesterie. Au-delà de sa mission de structure fédératrice, syndicale et de lobbying, l'AUMN appuie l'entrepreneuriat paysan pour l'accroissement de la rentabilité et de l'efficacité des filières horticole et agroforestière

Le choix des sites et des producteurs – 4 jardins pilotes sont sélectionnés en fonction de plusieurs critères spécifiques :

- La profondeur de l'eau entre 7 et 20 m
- Le régime foncier du jardin : être propriétaire et exploitant privé individuel
- La situation et l'accès au jardin afin de faciliter le suivi et les démonstrations
- Le statut d'exploitant privé individuel du producteur
- La superficie minimale aménageable de 3000 m²

Un protocole de partenariat (annexe 18) signé entre les producteurs pilotes et l'AUMN définit les obligations du producteur durant toute la phase pilote :

- Fournir la main d'œuvre requise pour la mise en valeur et l'irrigation d'une superficie maximale de 3000 m²
- Respecter les conditions d'utilisation des matériels testés
- Suivre les conseils apportés à la mise en en valeur du jardin pilote et sur la conduite des cultures maraichères irriguées
- Donner son avis sur les matériels installés et proposer des modifications de l'aménagement sous la supervision de l'AUMN ou de ses représentants
- Assurer le gardiennage et la sécurité du matériel mis à sa disposition

Initialement les 4 jardins pilotes devaient se situer sur 2 sites ayant une typologie différente. Mais l'échec d'un forage manuel sur le premier site a réorienté le choix de tous les jardins sur le deuxième site pour ne pas retarder le planning d'exécution et limiter les coûts du pilote.

Protocole de test – Pour chaque jardin les aménagements réalisés ou les équipements installés sont les suivants :

- **Un forage manuel** d'une profondeur de 15 à 20 m d'un débit minimum de 4 m³/h. Les forages manuels sont réalisés par des entreprises locales maîtrisant la technique.
- L'installation **d'une pompe solaire**, y compris **le générateur**. Toutes les pompes sont importées par fret aérien, et les panneaux solaires achetés localement. L'installation est réalisée par PRACTICA.

Tableau 2 Caractéristiques des pompes solaires

Marque	Difful	Solartech	Mini volenta	Sunculture
Modèle	3DPC3-25-24-200	SPM 600H		Rain Maker - SP300
Type de pompe	Centrifuge	Rotor hélicoïdal	Piston	Diaphragme
Puissance (kW)	0,20	0,60	0,15	0,07
Paramètres de dimensionnement pompe				
Débit de pointe théorique (m ³ /h)	2,5	2	1,1	0,71
Volume max théorique (m ³ /jour)	17	16	9	6
HMT théorique (m)	15	15	15	15
Superficie irrigable théorique (m ² /jour)	2800	2600	1500	1000

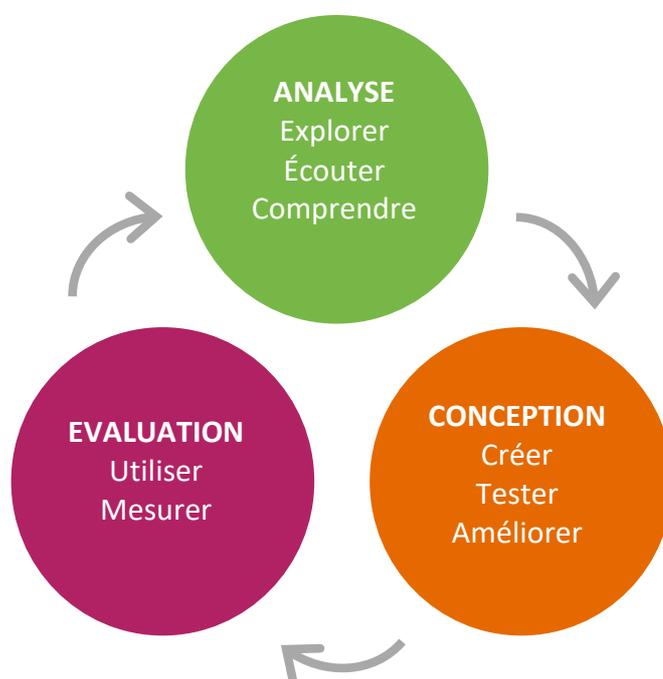
- L'installation **des équipements pour l'application de l'eau à la parcelle**. Plusieurs techniques à faible pression d'application de l'eau à la parcelle sont testées afin d'évaluer leur compatibilité avec le pompage solaire et les pratiques des producteurs.

Tableau 3 Caractéristiques des systèmes d'application de l'eau à la parcelle

Type	Marque	Spécification	Origine
Bande d'aspersion	San Fu	Rouleau de 50 m	Importé du Burkina Faso
Goutte à goutte	Nétafim	Kit de 500 m ²	Achat local
Tuyau souple	Aucune	Rouleau de 25 m	Achat local
Mini pivot	Aucune	Portée 12 m	Importé du Burkina Faso

Pour des raisons matérielles toutes les techniques ne sont pas testées systématiquement sur tous les sites, et la solution peut être composée d'une combinaison de techniques d'irrigation. Le test se fait de façon progressive, en considérant comme hypothèse de départ une durée de 4 heures/jour durant laquelle le débit et la pression produits par la pompe sont suffisants pour faire fonctionner les différentes techniques d'irrigation dans des conditions optimales. Le volume restant produit est stocké dans des bassins existants ou nouveaux de 1,8 m³, pour l'irrigation manuelle à l'arrosoir des surfaces non irriguées dans la journée, ou est utilisé le jour suivant.

Élaboration de la solution d'irrigation - Dans chaque jardin le développement de la solution d'irrigation solaire suit **un processus d'auto-apprentissage** qui consiste à affiner la solution technique aux besoins et aux pratiques du producteur (approche HCD¹⁰), tout en tenant compte des limites des performances de la pompe solaire testée et des conditions d'utilisation des techniques d'irrigation. Ce processus est le moteur du développement de la solution. Il se déroule en trois phases itératives, schématisées ci-dessous.



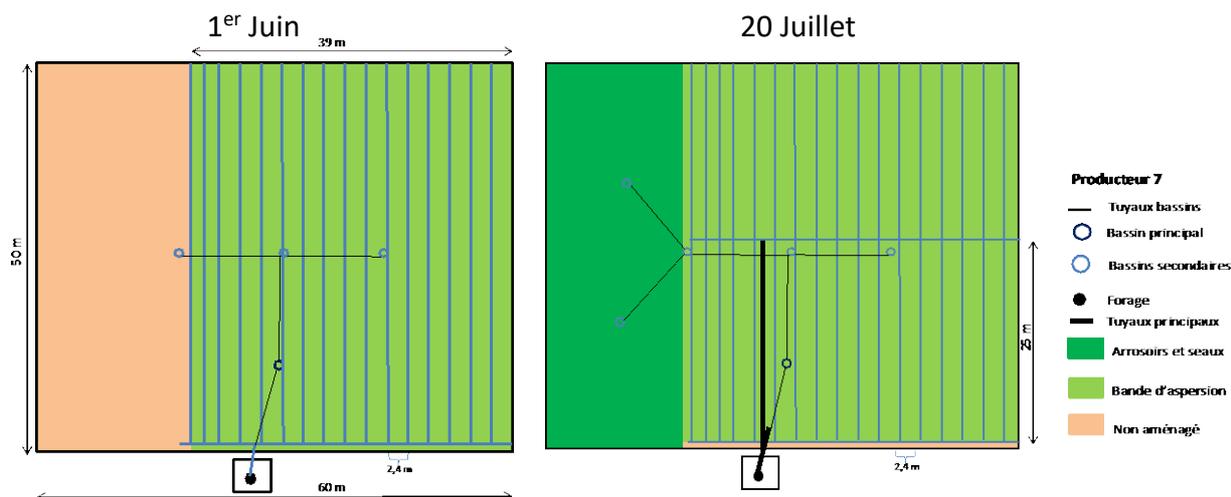
¹⁰ Le Human Centered Design (HCD) est une approche de conception de produits et de services qui privilégie les besoins et les comportements "naturels" des gens, plutôt que de miser sur les caractéristiques d'un produit ou sur les attentes de responsables parfois un peu éloignés de la réalité

Les techniques d'application de l'eau à la parcelle peuvent être modifiées durant les 6 premières semaines. Après chaque fin de semaine, le producteur évalue avec PRACTICA les performances techniques obtenues et le degré de satisfaction. Plusieurs cas de figures sont rencontrés :

- Diminution ou augmentation de la superficie irriguée avec la technique testée
- Modification du schéma d'aménagement ou de la technique d'irrigation utilisée
- Association d'une autre technique à celle déjà testée
- Abandon de la technique et remplacement par une autre

Le protocole mis en place donne la possibilité de modifier l'aménagement afin de s'assurer que celui-ci répond bien aux besoins du producteur. C'est également un moyen d'adapter l'aménagement aux performances des équipements et aux conditions du milieu qui peuvent changées.

Ci-dessous l'évolution de l'aménagement d'un jardin entre le 1^{er} juin et le 20 juillet, voir annexe 8 . La longueur initiale des bandes d'aspersion est passée de 50 m à 25 m, pour améliorer l'uniformité d'arrosage en raison de la baisse de l'ensoleillement pendant la saison des pluies.



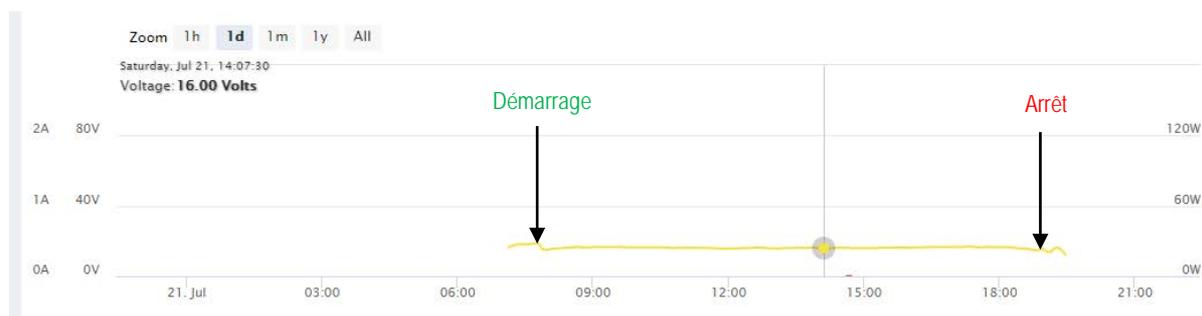
23. Suivi technico économique et suivi du processus d'adoption

Suivi technique – A intervalle régulier de 15 jours plusieurs paramètres sont mesurés sur le terrain : Débit, pression, volume de pompage journalier, plage horaire d'irrigation, superficie irriguée, durée de l'irrigation. Au total ce sont 6 séries de mesures réalisées sur la durée totale du pilote.

Pour les deux dernières séries de mesure des incohérences dans la mesure de la pression ont été relevées, provoquées par un début de colmatage de certains manomètres.

Un enregistreur de données relève en continue la tension et la puissance délivrée par les panneaux à chaque pompe. Il indique également le démarrage et l'arrêt de la pompe.

Figure 6 Données collectées par un enregistreur



En pratique les données de deux pompes (Mini volanta et Sunculture) étaient inexploitable : problème de réseau GSM et/ou problème de compatibilité de l'enregistreur et/ou problème électrique.



Figure 7 Mesures de pression, de volume, de débit

Suivi économique – Il concerne le relevé des dépenses engagées pour l'achat des intrants agricoles, le paiement de la main d'oeuvre pour les travaux agricoles et l'irrigation, l'achat des emballages et les coûts de transport de la production. Les quantités des produits et les montants de ventes sont également enregistrés.

Suivi du processus d'adoption - L'introduction de nouvelles solutions d'irrigation solaire implique nécessairement une adaptation des pratiques existantes et une évolution de la perception des techniques introduites.

Ce processus de changement, ainsi que les facteurs moteurs et les barrières à l'adoption des solutions d'irrigation solaire sont étudiés auprès des producteurs pilotes et des producteurs non utilisateurs des solutions testées.

Un questionnaire est élaboré pour suivre **la perception des solutions d'irrigation solaires par les producteurs**. Il est adressé avant l'installation (To), pendant l'utilisation (To + 6 semaines) et à la fin du pilote (To + 15 semaines) afin de mesurer l'évolution de la perception des producteurs utilisateurs. Parallèlement à ce questionnaire l'étude du changement de comportement s'est intéressé à **l'agenda journalier de chaque producteur** du lever à son coucher. Un schéma représente le temps accordé pour chaque évènement/activité (sommeil, repas, repos, activité sociale ou religieuse, irrigation, autre activité économique, élevage, transport) composant une journée de travail, avant l'installation (To) de la solution d'irrigation et durant son utilisation/adoption (To + 6 semaines), voir annexe 8.

3. PERFORMANCES DES POMPES ET DES SOLUTIONS D'IRRIGATION SOLAIRES

Une solution d'irrigation solaire est un terme dans le pilote désignant un ensemble de techniques (captage, exhaure et application de l'eau) utilisant l'énergie solaire, afin d'apporter une réponse à la question de la pratique de l'irrigation par les petits producteurs (superficie inférieure à 0,5 ha) lorsque l'eau souterraine est à une profondeur comprise entre 10 et 15 m.

31. Le captage de l'eau

Techniques de captage de l'eau - Pour capter l'eau souterraine le producteur a recours au puits busé ou au forage manuel. Progressivement le marché du forage manuel¹¹ remplace le puits busé car, moins coûteux, plus facile à réaliser et d'un débit plus élevé avec l'utilisation de motopompes. Une autre alternative consiste à réaliser une pointe filtrante (voir annexe 12) à l'intérieur d'un puits pour augmenter sa capacité de production. En revanche le forage manuel n'est pas perçu par le producteur comme une technique permettant d'accéder à une ressource en eau plus profonde, mais comme un moyen d'obtenir une quantité d'eau plus importante avec une motopompe lorsque l'eau est peu profonde¹², sans doute en raison de l'absence de solutions de pompage appropriées pour atteindre ces profondeurs.

Dans les Niayes et plus largement au Sénégal plusieurs petites entreprises (TPE) pratiquent la technique de forage manuel à la tarière (voir annexe 11) pour le captage de l'eau souterraine pour l'irrigation des parcelles maraichères. Une tarière hélicoïdale permet de pénétrer les couches meubles du sol et de retirer les matériaux à l'extérieur du trou. En présence de l'aquifère une tarière cylindrique munie à son extrémité d'un clapet permet par battage le retrait des matériaux à la surface. Les parois du trou sont maintenues par un pré tubage. En raison du diamètre élevé de foration (240 mm foration et équipement avec tuyau de 200 mm) des matériels lourds sont utilisés pour le levage des pré-tubages métalliques et de la tarière de mise en eau. Dans les autres pays d'Afrique de l'Ouest le diamètre d'équipement des forages manuels pour l'irrigation excède rarement 120 mm. Au Sénégal, les autres techniques manuelles de forage (rotary manuel, lançage à l'eau, battage) sont peu connues ou non pratiquées.

Caractéristiques des forages manuel réalisés - La profondeur des forages réalisés est de 17 m pour un coût de 300 000 FCFA / 520 USD (17 647 FCFA/mètre contre environ 60 000 FCFA/mètre pour un puits busé de 1,5 à 2 m), prix conforme aux tarifs pratiqués auprès des producteurs. La profondeur du niveau statique est comprise entre 9,5 m et 11 m, et la variation du niveau de l'eau lors du pompage n'excède pas 1 m. Le débit maximum d'exploitation des forages est de 4,5 m³/h. Le débit minimum requis était fixé à 4 m³/h. Un forage a été déclaré négatif avec un débit de 1,9 m³/h, et un autre stoppé à 12 m en raison de la présence de roche.

Les débits d'exploitation obtenus sont conformes au contexte hydrogéologique de la région des Niayes. La capacité du forage ou du puits est le premier facteur limitant la superficie potentiellement irrigable. Pour référence, le volume journalier obtenu par pompage solaire

¹¹ En 2016 lors de l'étude de marché réalisé par PRACTICA les forages manuels étaient peu ou pas pratiqués. Le marché a connu une forte croissance au cours de ces deux dernières années.

¹² Il est courant de rencontrer dans les Niayes une motopompe connectée à deux forages en parallèles

durant 6 heures/jour à pleine puissance est équivalent à 27 m³ / jour soit une surface irrigable¹³ maximale d'environ 4500 m²/jour.

Impact limité de l'augmentation des superficies irriguées sur l'aquifère

L'aquifère du quaternaire exploité par les forages manuels renferme d'importantes réserves d'eau, son potentiel est évalué à 115 000 m³/jour¹⁴, mais d'autres auteurs citent 320 000 m³/jour. Les besoins en eau d'irrigation sont évalués à 365 000 m³/jour¹⁵ pour une superficie irriguée de 9067 ha. Selon les données collectées la balance des prélèvements en eau serait négative. En réalité, il semble difficile d'avoir une estimation précise des volumes prélevés pour l'irrigation en raison de l'absence de données statistiques fiables sur les superficies irriguées à partir des eaux souterraines.

Le suivi de l'évolution du niveau piézométrique est assuré par la DGPRE grâce à un réseau des 114 piézomètres, dont 54 dans les sables du quaternaires captés par les forages manuels. Leur répartition spatiale est inégale avec une forte concentration à proximité des champs captant de la SONES et de grandes sociétés industrielles. Depuis les années 1960 seulement les données de quelques ouvrages sont disponibles pour suivre l'évolution temporelle du niveau piézométrique. L'étude de la variation du niveau piézométrique de 1962 à 2013 indique une baisse continue du niveau résultant d'une longue période pluviométrique déficitaire (DGPRE, 2014). Les baisses les plus significatives pourraient être accentuées suite à la mise en service de forages importants et par le démarrage des activités des industries chimiques. Il n'y a aucune étude ou publication scientifique établissant un lien direct entre l'augmentation des superficies irriguées et la baisse du niveau de l'aquifère, mais l'utilisation de techniques économes en eau est systématiquement recommandée. Une partie de l'eau d'irrigation s'infiltré par percolation pour retourner dans l'aquifère contribuant à sa recharge et au maintien de l'humidité dans le sol.

Le potentiel de terre irrigable identifié à partir de l'eau souterraine se trouvant à une profondeur comprise entre 7 et 20 m semble ne pas faire peser une menace de surexploitation de la nappe en raison du débit limité (4 m³/h) et de la profondeur pouvant être atteinte (20 m) avec des techniques manuelles de forage, du coût élevé des solutions de pompage solaire, et au recours nécessaire à des techniques d'irrigation économes en eau pour optimiser la surface irriguée. Par ailleurs, la principale menace de surexploitation vient des zones où l'eau est peu profonde (inférieur à 7 m) et facilement mobilisable avec des motopompes permettant d'extraire jusqu'à 15 m³/h avec un pompage en parallèle de deux à trois forages peu profonds. Dans ces cas une baisse du niveau de l'aquifère pourrait dans des espaces géographiques et hydrogéologiques spécifiques avoir un impact économique ou environnemental néfaste : diminution de l'humidité du sol et disparition de certaines espèces végétales ou de pratiques culturelles, assèchement précoce de mares ou de cours d'eau. Il n'existe pas de dispositif de régulation et de contrôle des prélèvements des eaux souterraines pour l'irrigation dans les Niayes.

¹³ Besoin en eau moyen pour les cultures maraichères dans les Niayes 60 m³/jour/hectare ou 6 mm/jour

¹⁴ Analyse des opportunités de développement de l'irrigation au Sahel à partir des eaux souterraines, Mai 2015, PARIIS

¹⁵ Étude du plan de gestion des ressources en de la sous UGP Niayes, Direction de la Gestion de la Planification des Ressources en Eau (DGPRE), Août 2014

Figure 8 Carte de localisation des jardins pilotes



La coupe transversale ci-dessus indique l'élévation depuis l'océan jusqu'aux jardins pilotes. La profondeur de l'eau augmente graduellement avec l'élévation et l'éloignement distant de l'océan. Les sites pilotes se situent à environ 6 kilomètres à vol d'oiseau du rivage.

Tableau 4 Performance des forages manuels

N° forage	GPS	Niveau statique (m)	Profondeur (m)	Niveau dynamique (m)	Débit (m ³ /h)	Prix (FCFA)
1	15.112019 -16.911534	9	12		Négatif	50 000
3	15.11194 -16.91139	11,4	16,5		1,89	300 000
4	15.092780 -16.907500	9,5	16	10,3	4,5	300 000
5	15.094137 -16.900845	11	17	11,6	3,9	295 000
6	15.092439 -16.908562	10,1	17	10,8	4,5	295 000
7	15.11194 -16.91139	10	17	11,5	4,5	350 000



La connaissance préalable de la capacité (débit d'exploitation) de l'aquifère superficiel exploité par les forages manuels (profondeur 20 m) est un outil d'aide à la décision indispensable pour le choix de l'utilisation des eaux souterraines avec pompage solaire pour l'irrigation maraichère. Les connaissances endogènes disponibles auprès des petites entreprises de forage manuel doivent être systématiquement explorées et prises en compte. Aux profondeurs intermédiaires captées par les forages manuels (maximum 20 m)¹⁶ la surface irrigable maximale conseillée par pompage solaire est de 2000 et 5000 m²/jour.

Qualité de construction & qualité de l'eau - Après deux mois de fonctionnement la maintenance des pompes testées a permis de mettre en évidence la présence de « boue » accumulée au niveau de la crépine et des roues de la pompe centrifuge.

En première hypothèse, l'origine de cet entartrage rapide pourrait provenir de particules fines d'argile sous forme colloïdale, de quelques microns. Plusieurs analyses d'eau montrent une teneur en fer élevée de l'eau, qui ne semble pas être à l'origine du colmatage car le fer ne peut pas s'oxyder dans l'eau au niveau de la crépine.



Figure 9 Dépôts de boue sur les éléments de la pompe

En deuxième hypothèse la mise en place du massif filtrant avec l'utilisation de pré-tubage n'est pas précise, et peut provoquer un contact direct de la crépine avec l'aquifère et la migration de particules fines dans le forage. De plus, des marques d'une usure précoce des roues des pompes centrifuges ont été relevées, signe de présence de matières érosives en suspension dans l'eau.

Les deux hypothèses précédemment citées pourraient se combiner.

¹⁶ Débit d'exploitation entre 2 et 4 m³/h pour un forage manuel de 10 à 20 m de profondeur. Selon le plan de gestion des ressources en eau de la sous UGP Niayes (DGPRE, août 2014) le débit de la plupart des ouvrages dans la nappe des sables du quaternaire du littoral Nord est compris entre 5 et 10 m³/h, avec une forte hétérogénéité de la perméabilité en raison d'éléments argileux contenu dans l'aquifère sableux.

Hors test pilote le diagnostic réalisé par PRACTICA d'une pompe immergée Grundfos SP2 (solaire), en panne, installée chez un producteur durant 2 années, indique le colmatage complet des roues de la pompe par l'accumulation de boues, engendrant par la suite un problème électrique du moteur : pompe non réparable.



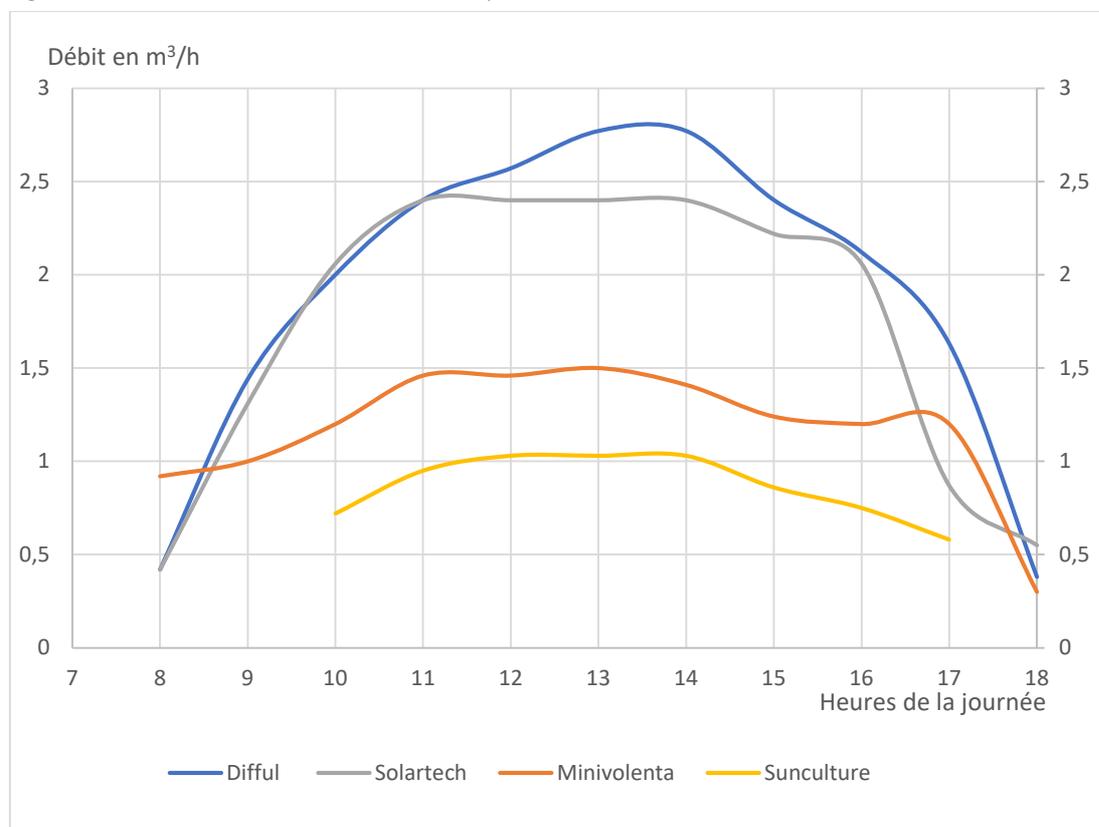
Les pompes centrifuges sont très sensibles à la qualité de l'eau et plus particulièrement à la présence de sable qui altère considérablement la durée de vie de la pompe. La durée d'amortissement communément admise pour les pompes immergées solaires est de 7 ans. Dans ces conditions il faut s'attendre à une durée inférieure, probablement proche de trois années. Les pompes à rotor hélicoïdal sont moins sensibles à la qualité de l'eau. La qualité de l'eau n'affecte pas ou peu la durée de vie des pompes à piston.

32. Les performances des pompes solaires

Préliminaires – Les panneaux photovoltaïques transforment l'énergie solaire en courant électrique continu (DC). On parle d'ensoleillement journalier exprimé en kWatt heure/m²/jour : 5,91 kWh/j/m² en moyenne par an pour la zone du pilote¹⁷. Cette valeur indique la durée de fonctionnement de la pompe à puissance optimale, dans notre cas environ 6 heures par jour. En réalité elle varie au cours de la journée pour atteindre son maximum lorsque le soleil est au zénith. Les 4 pompes testées pompent l'eau au fil du soleil, c'est dire que le débit sera optimal lorsque le soleil est au zénith (entre 12h et 13h).

La courbe ci-dessous illustre la variation du débit horaire mesuré par temps clair. En théorie l'allure de la courbe forme une cloche parfaite bien lissée, dans la pratique on peut observer les variations d'ensoleillement provoquées par la couverture nuageuse.

Figure 10 Courbes de variation du débit horaire quotidien



Description - Les systèmes de pompage solaire testés durant le pilote sont constitués de plusieurs composantes :

- **Un générateur** composé de panneaux photovoltaïques d'une puissance crête de 100 à 150 Watts interconnectés en série ou en parallèle¹⁸ pour atteindre la tension et le courant désirés selon les caractéristiques des moteurs électriques. Le courant produit est un courant continu¹⁹. Les panneaux sont fixés sur un support métallique fixe, avec une inclinaison de 15°.

¹⁷ Source : <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

¹⁸ Pour mémoire le câblage en série cumule les tensions et ceux câblés en parallèle cumulent les intensités

¹⁹ Abréviation CC en Français et DC en Anglais

Le support de la pompe Mini volanta et Sunculture est orientable manuellement pour suivre le déplacement du soleil.

- Un dispositif électronique (**MPPT²⁰ ou régulateur**) optimisant le fonctionnement des panneaux solaires afin de donner un maximum d'énergie à des conditions variables d'ensoleillement. La mini volanta ne possède pas de MPPT, mais est dotée d'un commutateur manuel permettant selon l'ensoleillement de faire fonctionner les 2 panneaux en série ou en parallèle afin d'optimiser la puissance fournie, et ainsi produire plus d'eau.
- Un dispositif de **commande pour l'arrêt automatique** de la pompe dans le cas d'un dénoyage de la pompe, disponible uniquement sur la pompe Difull et Solartech. Finalement ils n'ont pas été installés car défectueux.
- **Une batterie**, cas de la pompe Sunculture, pour stocker le surplus d'énergie non utilisé lors de l'arrêt du pompage au fil du soleil. Le système régulant la charge et la décharge de la batterie était défectueux, pour finalement être enlevé du système.
- **La pompe dont le moteur** est immergé dans l'eau. Dans le cas de la mini volanta, le moteur est situé à la surface. Il fait tourner une roue mettant en mouvement un ensemble de tringles actionnant par déplacement un piston permettant l'ouverture et la fermeture de clapets. Toutes les pompes fonctionnent en courant continu.

Tableau 5 Caractéristiques des générateurs solaires

Marque	Diful	Solartech	Mini volanta	Sunculture
Modèle	3DPC3-25-24-200	SPM 600H		Rain Maker - SP300
Type de pompe	Centrifuge	Rotor hélicoïdal	Piston	Diaphragme
Puissance unitaire panneau (Wp)	100	100	150	100
Nombre de panneaux installés	6	6	2	2
Puissance installée (Wp)	600	600	300	200
Branchement panneaux	Série	Série	Parallèle	Série
Orientation des panneaux	Non	Non	Oui (manuel)	Non
MPPT dispositif de régulation	Oui	Oui	Non (commutateur manuel)	Oui
Arrêt automatique (manque d'eau)	Non	Oui	non	Non



Figure 11 Pompes Difull, Solartech, Mini Volanta, Sunculture

²⁰ C'est un dispositif de « suivi de puissance maximale » qui permet un fonctionnement de façon continue au plus près du point de fonctionnement optimum du générateur solaire

Débit et pression – Ces paramètres varient de façon réciproque dans la journée comme on peut le voir sur la figure 11. L'optimum est atteint lorsque le soleil est au zénith vers 13 h. La puissance fournie est considérée stable environ 6 heures par jour par temps clair. La pression mesurée indique la hauteur disponible au refoulement ou autrement dit la pression à la sortie du forage (en surface). Cette hauteur est la pression disponible pour l'application de l'eau à la parcelle, mais elle n'indique pas la HMT²¹ ou pression fournie par la pompe. La pression disponible est de 3 à 4 m, hormis pour la pompe Sunculture qui ne dépasse pas une pression de 1,5 m.



Aux profondeurs considérées le débit et la pression de la pompe à diaphragme sont insuffisants pour faire fonctionner des équipements d'irrigation à faible pression dans des conditions d'ensoleillement variables. L'irrigation doit se faire à l'arrosoir avec stockage de l'eau dans des bassins.

Les mesures réalisées ont permis de mettre en évidence l'influence de l'ensoleillement (temps clair et nuageux) sur le volume journalier pompé. Le pilote s'est déroulé en début de saison des pluies avec des passages nuageux fréquents : période la plus défavorable pour le pompage solaire. Cependant à aucun moment l'irrigation n'a été perturbée de façon significative par la couverture nuageuse. Il n'est pas nécessaire d'avoir recours à un stockage de l'eau tampon pour faire face à cette contrainte qui n'est pas de nature de mettre en péril la campagne de culture.

Tableau 6 Débit et pression de pointe mesurés

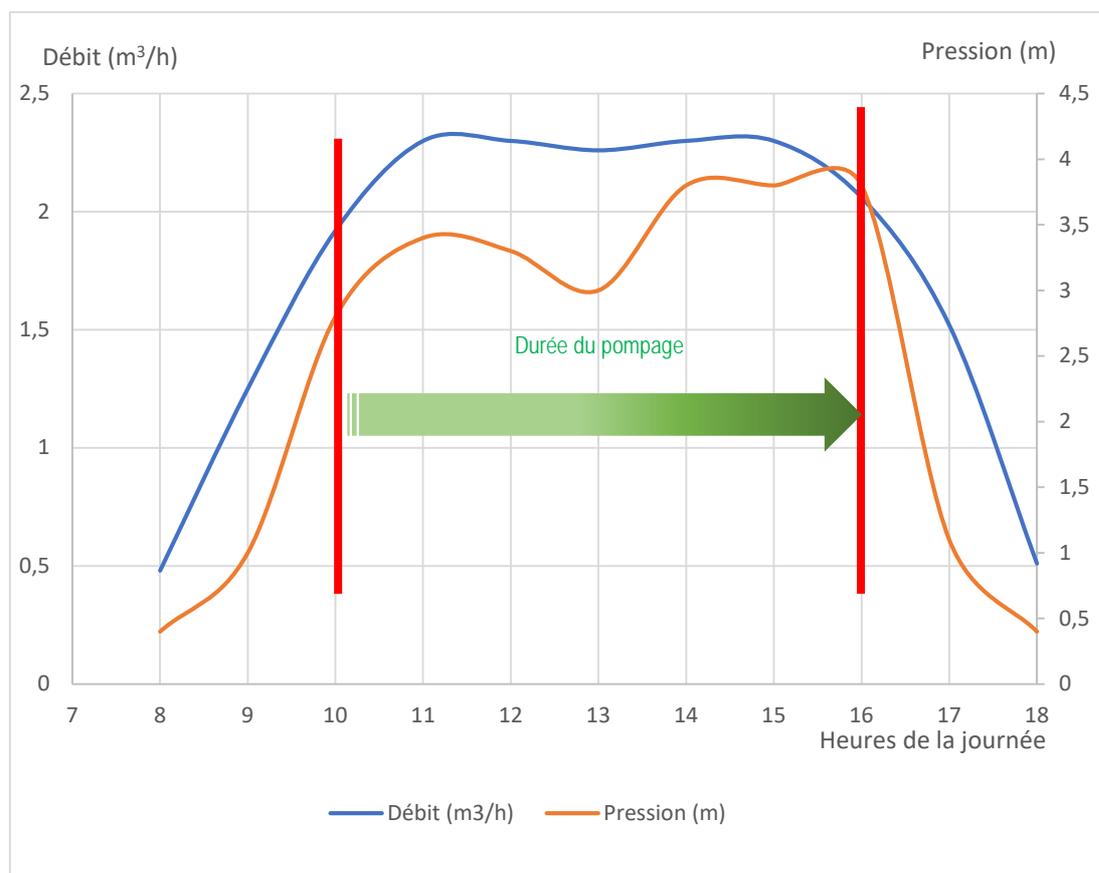
		Centrifuge	Hélicoïdale	Piston	Diaphragme
Niveau dynamique (m)		10,3	11,5	11,7	10,8
HMT temps clair (m)		14,4	15,5	15,2	12,3
Débit de pointe à 13h (m ³ /h)	Ciel clair	2,8	2,6	1,5	1
	Ciel nuageux	1,2	1,9	0,84	0,4
Variation débit (f) ensoleillement (%) ²²		57%	27%	44%	60%
Pression de pointe à 13h (m)	Ciel clair	4,1	4	3,5	1,5
	Ciel nuageux	2,8	3	1	0,3
Variation pression (f) ensoleillement (%)		32%	25%	71%	80%

Il est difficile de comparer avec précision l'influence de la variation de l'ensoleillement entre les pompes à partir d'observations de la couverture nuageuse et non par des mesures d'ensoleillement. Toutefois, ces résultats confirment la faible sensibilité des pompes hélicoïdales à la baisse de l'ensoleillement. Les mesures ont permis d'observer un arrêt de la pompe centrifuge (seulement quelques minutes) ou un démarrage tardif en présence d'un ciel très nuageux.

²¹ Hauteur Manométrique Totale = niveau dynamique (11 m) + pression disponible (3 à 4 m)

²² Pourcentage de baisse de débit en fonction de la couverture nuageuse

Figure 12 Courbes débit et pression de la pompe Solartech (pompe hélicoïdale)



Les pompes hélicoïdales fonctionnent efficacement pour un large éventail de conditions de pompage : on observe une constance de la courbe de rendement en fonction des plages de vitesses de rotation. Le débit maximal de ce type de pompe est d'environ 3 m³/h (environ 18 m³/jour). Les pompes centrifuges sont utilisées dans des gammes de débit plus importantes. La variation de débit pourrait être moins importante avec la pompe mini volante (pompe à piston) si lors de passage nuageux le commutateur est actionné pour un fonctionnement des panneaux photovoltaïques en parallèle.

Volume journalier et durée de pompage – Il est intéressant de constater que le volume indicatif attendu calculé lors du dimensionnement, à partir des performances indiquées par les constructeurs, se situe dans une fourchette très proche du volume maximum et moyen mesuré. En revanche l'écart se creuse quand on compare le volume théorique et le volume minimum mesuré. Néanmoins, durant la période du pilote (Mai à Août) à aucun moment le volume d'eau produit n'a été insuffisant pour l'irrigation. La diminution du volume est compensée par la baisse de l'évapotranspiration et des besoins en eau, et par l'arrivée des pluies.

Tableau 7 Volume de pompage

	Centrifuge	Hélicoïdale	Piston	Diaphragme
Volume mini (m3/jour)	11	13	8	3,5
Volume maxi (m3/jour)	18	17	10	7
Volume moyen (m3/jour)	15,6	15,8	7,8	5,1
Volume théorique dimensionnement (m3/jour)	17	16	9	6
Écart vol théorique et vol mini (%)	35%	19%	11%	42%

Le type de pompe a une influence sur la durée de pompage et indirectement sur le volume journalier pompé. Les pompes hélicoïdales et à piston produisent de l'eau dès le démarrage de la pompe. La pompe centrifuge produit de l'eau une heure après son démarrage car la vitesse de rotation du moteur n'est pas suffisante pour amorcer le pompage.

Tableau 8 Durée et plages de pompage

	Centrifuge	Hélicoïdale	Piston	Diaphragme
Début pompage	8h18 à 8h30	7h55 à 8h20	7h36 à 8h10	8h55 à 9h20
Arrêt pompage	17h55 à 18h14	18h10 à 18h25	18h15 à 19h10	17h31 à 18h25
Durée moyenne de pompage (h)	9,3	10,2	10,8	8,8
Démarrage de la pompe	7h10 à 7h31	7h50 à 8h12	7h36 à 8h10	
Arrêt de la pompe	18h30 à 19h07	18h05 à 18h14	18h15 à 19h10	
Durée moyenne de fonctionnement (h)	11,4	10,2	10,8	



Le pompage au fil du soleil à débit continu peut paraître lent (environ 10 heures par jour) mais il est compatible avec une ressource en eau souterraine de débit limité. Le pompage avec motopompe et contre puits (profondeur maximum de 10 m) rencontre les mêmes contraintes de durée d'irrigation. Le pompage avec motopompe excède rarement 15 minutes et le délai de recharge est compris entre 30 minutes et une heure, car le débit de pompage est supérieur au débit d'exploitation du puits. Le producteur est obligé de stocker l'eau qui sera distribuée manuellement.

Report des incidents – Les incidents répertoriés sur la pompe ou le générateur solaire ont été enregistrés et classés en fonction de leur niveau de gravité

- Faible : panne mineure qui ne perturbe pas l'irrigation réparable par le producteur
- Modéré : affecte le déroulement de l'irrigation, intervention d'un réparateur, réparé dans la journée
- Forte : irrigation fortement affectée par la panne, intervention d'un réparateur, panne supérieure à une journée

Tableau 9 Suivi des incidents

		Centrifuge	Hélicoïdale	Piston	Diaphragme
Nombre d'incidents survenus : pompe ou générateur solaire	Faible	1	2		
	Modéré				3
	Fort			3	2

Mini volanta – pompe à piston

L'augmentation de la vitesse de rotation du moteur suite au changement de la puissance du générateur (de 200 à 300 Wc) est à l'origine des pannes de la mini volanta (rupture des tringles au niveau des filetages). Le diamètre des tringles (8 mm) était incompatible avec l'augmentation de la vitesse : changement à 10 mm de diamètre.

Sunculture – pompe à diaphragme

Dès l'installation, le régulateur de la pompe était défectueux pour être finalement changé. La fonction de charge de la batterie était également non fonctionnelle. Après 30 jours de fonctionnement une panne majeure provoquée par l'entrée d'eau dans le moteur a conduit au remplacement de la pompe : pompe non réparable. De plus, les balais (charbons) du moteur présentaient une usure avancée.

Difful et Solartech – pompes centrifuge et hélicoïdale

Les incidents reportés sont relatifs à l'accumulation de boue au niveau de la crépine de la pompe, lors d'une opération de maintenance. C'est une problématique liée à la qualité de l'eau et non pas à la fiabilité des pompes.



La pompe mini volanta est encore au stade de pré-production phase durant laquelle les retours d'expérience des utilisateurs permettent la prise en compte d'améliorations techniques afin de faire progresser la qualité de production et les performances de la pompe. Les doutes sur la fiabilité de **la pompe diaphragme** ce sont confirmés lors du pilote. A l'origine ce type de pompe, essentiellement de surface, est utilisé pour pomper l'eau (faible débit) dans la cale des bateaux²³ de manière épisodique sur une courte durée de fonctionnement. De nombreux fabricants chinois ont copié le principe pour commercialiser des pompes vendues pour l'irrigation fonctionnant 7 à 8 heures par jour de façon continue. De plus, ce type de pompe n'était pas conçu pour être submersible bien que les fabricants aient déployé des efforts pour assurer l'étanchéité entre le moteur et la pompe. Commercialement c'est une pompe attractive car compacte, à faible coût et qui peut pomper l'eau jusqu'à 60 m. Ses faiblesses : durée de vie courte et faible débit.

²³ <http://shurflo.com/>

3.3 Application de l'eau à la parcelle

Conditions de fonctionnement - Chaque technique d'application de l'eau à la parcelle fonctionne dans une plage de débit et de pression. En fonction de la position du soleil et des conditions d'ensoleillement (passage nuageux) le débit fourni et la pression varient constamment au cours de la journée. Le choix de techniques à faible en pression (2 à 5 m) est compatible avec la recherche de faible HMT pour le pompage solaire. En diminuant la HMT on réduit la puissance nécessaire requise ainsi que le coût d'investissement.

Tableau 10 Conditions d'utilisation des techniques d'application de l'eau

Pompe et méthode d'irrigation	Débit (m ³ /h)		Pression (m)	
	Conseillé	Pratiqué	Conseillé	Pratiqué
Centrifuge- Goutte à Goutte	1 (500 m ²)	1,2 à 2,8	2	1,5 à 5
Hélicoïdale - Bande aspersion	1 (50 m)	1,5 à 2,5 (2 x 25 m)	2 à 4	2,1 à 5
Piston - Mini pivot	0,4 à 1,8	0,8 à 1,5	2	1,4 à 3,2
Diaphragme - Tuyau souple ²⁴	1 à 2	1	2 à 5	1

Mini pivot

La technique d'irrigation par mini pivot n'est pas encore suffisamment mature techniquement et présente encore des contraintes à son adoption par le producteur. Des améliorations substantielles sont encore nécessaires, mais leur intégration ne faisait pas partie des résultats attendus par le pilote.

Tuyau souple

L'atteinte de la limite des performances de la pompe à diaphragme dans les conditions de pompage visées par le pilote a conduit à l'abandon rapide par le producteur de l'irrigation avec tuyau souple. Également les autres techniques d'irrigation ne sont pas compatibles avec les performances de cette pompe (Figure 8). Dans ce cas précis l'irrigation se fait à l'arrosoir à partir de bassins de stockage alimentés par la pompe solaire. Par ailleurs l'arrosage par tuyau souple et la seule technique testée « non automatisée²⁵ » qui est la plus sensible à la variation de pression et de débit au cours de la journée. L'arrosage avec tuyau souple n'apporte pas une plus-value significative par rapport à l'irrigation à l'arrosoir avec bassin, jugée plus rapide et efficace.

Bande d'aspersion

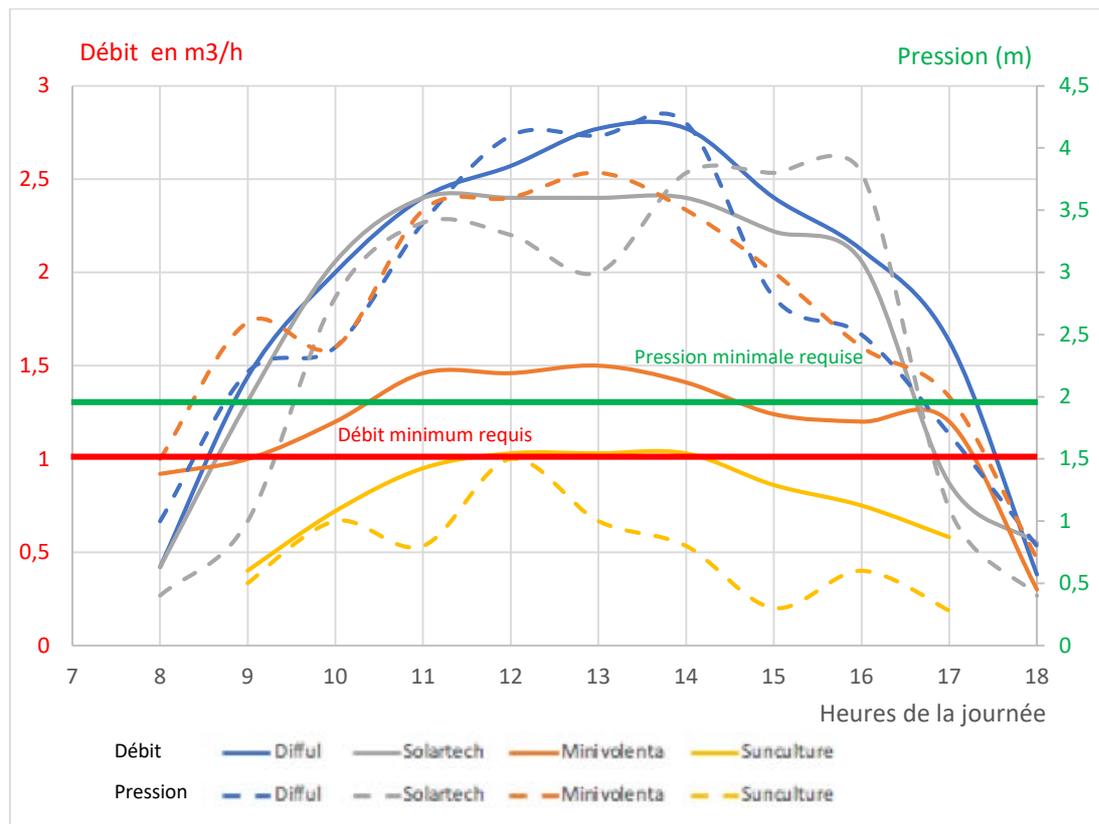
Le débit de la pompe mini volonta est insuffisant pour faire fonctionner au minimum deux lignes d'aspersion de 25 m de longueur²⁶ : le tableau 10 indique une pression requise entre 1,5 à 2,5 m³/h, alors que le débit maximal de pointe est de 1,5 m³/h. La pompe centrifuge et hélicoïdale fournit une pression et un débit suffisant.

²⁴ Le diamètre utilisé dans le pilote est de 20 mm. Au Bénin 2 tuyaux sont raccordés à une seule pomme d'arrosoir avec un débit 4 m³/h et une pression de 5 à 7 m. Dans les Niayes un tuyau de 40 mm est raccordé à la motopompe pour l'irrigation à la lance.

²⁵ Référence à la présence constante de main d'œuvre pour tenir le tuyau, alors que les autres techniques couvrent intégralement la superficie. Elles sont régulées par l'ouverture de vannes ou t un déplacement à intervalle régulier de temps du matériel d'irrigation.

²⁶ Nombre et longueur requise minimale nécessaire pour l'efficacité optimale de l'irrigation

Figure 13 Courbes débit / pression et conditions de fonctionnement du goutte à goutte



Goutte à Goutte

Le goutte à goutte fonctionne avec toutes les pompes testées hormis la pompe à diaphragme. Dans les Niayes il y a très peu d'adoptions spontanées du goutte à goutte malgré les nombreuses tentatives d'introduction et de développement par de nombreux projets au cours de ces 5 dernières années. Hormis le coût d'achat initial la qualité de l'eau (chargée en fer et/ou particules colloïdales fines) semble être le principal facteur freinant son adoption. Après une année d'utilisation ou quelques saisons les émetteurs se bouchent rapidement. Durant les 5 mois du pilote un dépôt rougeâtre est apparu dans les canalisations primaires et secondaires sans toutefois perturber l'irrigation de façon significative en raison du bouchage des émetteurs du goutte à goutte ou des perforations des bandes d'aspersion. Chaque semaine le filtre à tamis, et les lignes primaires et secondaires sont ouvertes pour chasser les particules fines accumulées. Par ailleurs la variation de la pression et du débit de la pompe dans la journée fait fonctionner le goutte à goutte et les bandes d'aspersion à des pics de fonctionnement supérieurs aux conditions normales d'utilisation, qui pourrait faciliter l'évacuation des particules fines.

Stockage de l'eau - En début de matinée et en fin de soirée, lorsque le débit et la pression sont insuffisants pour faire fonctionner les différents équipements d'irrigation l'eau est stockée dans des bassins circulaires hors sol, à faible coût (environ 20 000 FCFA, 35 USD), interconnectés répartis sur la parcelle, d'un volume de 1,5 à 1,8 m³ (voir annexe 15). L'eau stockée est utilisée pour l'irrigation à l'arrosoir. L'optimisation de l'investissement dans le pompage solaire est fonction de l'utilisation optimale du volume d'eau produit dans une journée afin d'irriguer la plus grande superficie. L'utilisation de techniques efficaces économes en eau offre un bon compromis entre faible productivité de l'aquifère et faible niveau de production de l'eau dans la journée.

Tableau 11 Durée d'irrigation et volume de stockage

Pompe et méthode d'irrigation	Durée irrigation (heure)	Plage irrigation	Volume de stockage (m ³ /jour)
Centrifuge			
Goutte à Goutte	3	12h à 15h (17h)	7,5
Arrosoir	3 à 4	8h à 12h ou 13h à 16h	
Hélicoïdale			
Bande aspersion	6 à 8	9h à 17h	5,6
Arrosoir	2	8h à 9h et 16h à 18h	
Piston			
Mini pivot	4 à 5	9h à 14h	5,6
Arrosoir	3	15h à 18h	
Diaphragme			
Tuyau souple	0,8	14h à 15h	6
Arrosoir	2 à 3	16h à 18h	



Les enseignements du pilote indiquent un volume de stockage d'environ 30%²⁷ du volume moyen produit par une pompe solaire dans une journée : le matin et en fin de journée lorsque le débit et la pression sont trop faibles. Autrement dit, 70% du volume produit par une pompe solaire dans une journée peut être distribué directement avec des techniques d'irrigation efficaces sans recours au stockage de l'eau. Le volume stocké en début et fin de journée est distribué à l'arrosoir. La particularité de cette solution est la cohabitation de deux modes d'irrigation (moderne et traditionnel) permettant une valorisation maximale du volume journalier produit et l'adaptation flexible du planning d'irrigation du producteur en fonction des aléas. Indirectement, c'est également un moyen de limiter la prise de risque en cas de mauvaises performances et/ou d'absence d'appropriation de la nouvelle technique d'irrigation, en facilitant le rétablissement de la technique d'irrigation antérieure (arrosoir).

Durée de l'irrigation – Il faut être prudent dans l'interprétation des durées d'irrigation enregistrées car elles dépendent de nombreux paramètres : superficie, ensoleillement,

²⁷ C'est le ratio optimum obtenu à partir des tests pilotes sur une superficie irriguée de 3000 m² : 2000 m² goutte à goutte ou bande d'aspersion, la superficie restante de 1000 m² est irriguée à l'arrosoir avec stockage de l'eau

techniques utilisée, stade de croissance des cultures, pluviométrie, volume d'eau stocké la veille



Avec l'utilisation de techniques économes en eau la durée d'irrigation est de 6 à 8 heures par jour, dans une plage horaire comprise entre 9h et 17h. Avant et après cette plage horaire l'eau est stockée dans des bassins pour l'irrigation à l'arrosoir. La durée d'irrigation peut paraître longue mais compatible avec une ressource en eau de débit limité.

Surface irriguée – Pour ne pas biaiser²⁸ les résultats et afin de pouvoir tirer des enseignements généraux l'analyse se focalise sur le goutte et goutte et les bandes d'aspersion. Il est important de distinguer la superficie irriguée journalière et la superficie irriguée totale en raison de la fréquence d'irrigation. Elle est de 2 jours (un jour sur deux) pour l'irrigation à l'arrosoir contre 1 jour pour les autres techniques.

Tableau 12 Superficie irriguée mesurée

Pompe et méthode d'irrigation	Superficie irriguée max (m ² /jour)	Fréquence irrigation (jour)	Superficie irriguée totale (m ²)
Centrifuge	2150		
Goutte à Goutte	1400	1	2900
Arrosoir	750	2	
Hélicoïdale	2520		
Bande aspersion	2040	1	3000
Arrosoir	480	2	

Les tests de compatibilité entre performances des pompes et conditions de fonctionnement des techniques d'application de l'eau à la parcelle font apparaître plusieurs déclinaisons de solutions d'irrigation. Le tableau 13 indique les superficies irriguées quotidiennes et totales des différentes solutions afin de valoriser au maximum le volume journalier produit par chaque pompe.

Tableau 13 Superficie irriguée totale par pompe solaire

	Centrifuge	Hélicoïdale	Piston	Diaphragme
Superficie totale irriguée (m ²)	3500		2250	
Goutte à goutte (m ² /jour)	2500		1500	Non applicable
Stockage irrigation à l'arrosoir (m ² /jour) ²⁹	500 ³⁰		350	
Superficie totale (m ²)	3000			
Bande d'aspersion (m ² /jour)	2000		Non applicable	Non applicable
Stockage irrigation à l'arrosoir (m ² /jour)	500			

²⁸ L'irrigation par tuyau souple a été abandonnée rapidement et la technologie d'irrigation par mini pivot n'est pas suffisamment mature

²⁹ Fréquence d'irrigation 2 jours (un jour sur deux)

³⁰ Le volume stocké est de 5,6 m³ au total dans 3 bassins de 1,8 m³

79% des producteurs ayant participé aux séances de démonstration se disent intéressés par les solutions d'irrigation solaires présentées et plus particulièrement par celle intégrant l'utilisation des bandes d'aspersion (voir annexe 17) en association avec la pompe immergée centrifuge ou hélicoïdale.



La superficie irriguée optimale journalière est comprise entre 2500 et 3000 m² soit une superficie totale irrigable de 3000 à 3500 m² avec des pompes solaires produisant un volume journalier de 15 à 16 m³/ jour à une profondeur d'eau dynamique d'environ 11 m, avec un aquifère dont la productivité est limitée à 4 m³/h.



Figure 14 Mini pivot, bande d'aspersion, tuyau, goutte à goutte

4. INVESTISSEMENT, COÛTS ET BÉNÉFICES DU POMPAGE SOLAIRE

4.1 Investissement dans la solution d'irrigation solaire

Coût total d'investissement – Les coûts indiqués dans le tableau 14 reflètent l'investissement nécessaire pour chaque solution d'irrigation composée d'un forage manuel, d'une pompe solaire et d'un système d'application de l'eau à la parcelle. La pompe à diaphragme (Sunculture), l'irrigation au tuyau et mini pivot ont été écartés, soit en raison de leur inadaptation au contexte du pilote, soit en raison de leur niveau de développement technique jugé à ce stade insuffisant.

Tableau 14 Coûts TTC des solutions d'irrigation solaires

	Centrifuge (15 m ³ /j)	Hélicoïdale (15 m ³ /j)	Piston (8 m ³ /j)
Forage (FCFA)	300 000	300 000	300 000
Pompe (FCFA)	348 000	732 000	1 012 000
Générateur solaire	538 000	538 000	270 000
Superficie irriguée (m ²)	3 500		2250
Goutte à goutte (FCFA)	768 200		497 400
Irrigation à l'arrosoir (FCFA)	87 500		58 333
Total (FCFA)	2 041 700	2 425 700	2 137 733
Coût FCFA/ha	5 833 429	6 930 571	9 501 036
Coût FCFA/m ³	136 113	161 713	267 217
Superficie irriguée (m ²)	3 000		Non applicable
Bande d'aspersion (FCFA)	324 300		
Irrigation à l'arrosoir (FCFA)	87 500		
Total (FCFA)	1 597 800	1 981 800	
Coût FCFA/ha	5 326 000	6 606 000	
Coût FCFA/m ³	106 520	132 120	



Selon la solution solaire d'irrigation retenue l'investissement initial minimal se situe dans une fourchette comprise entre **1,5 et 2,5 millions de FCFA (2 585 à 4 374 USD) pour une superficie irriguée de 3000 à 3500 m²** soit un coût par hectare de 5,1 à 5,6 millions de FCFA (8 850 à 9 720 USD). En référence au Nord Bénin³¹ l'investissement dans l'irrigation solaire à partir des eaux souterraines dans les mêmes conditions (profondeur, volume et surface) atteint plus de 10 millions FCFA/ha (17 350 USD/ha). Dans la bande sahélienne le coût d'investissement pour l'irrigation tous types d'aménagements confondus se situe dans un intervalle de 2 à 11 millions de FCFA/hectare³² (3 450 à 18 960 USD /hectare).

³¹ Capitalisation sur l'exhaure solaire pour les aménagements hydro-agricoles au Bénin – PRACTICA, financement CTB, novembre 2017

³² Cadre stratégique pour l'eau agricole au Sahel / Initiative pour l'irrigation au Sahel - Banque mondiale (septembre 2017)

Dans le choix de la solution d'investissement minimale (pompe difful) la part consacrée à la mobilisation des eaux souterraines (forage + pompage solaire) atteint 67% à 74% de l'investissement global. Les conditions géologiques favorables pour les techniques manuelles de forage maintiennent cette part à un niveau acceptable, en tirant vers le bas le coût global de la solution. Le coût serait beaucoup plus élevé (3 à 4 millions FCFA, soit 5250 à 7000 USD) avec des techniques motorisées.

Tableau 15 Pourcentage du coût des différentes composantes des solutions d'irrigation solaires

	Goutte à goutte	Bande aspersion
Forage	15%	19%
Pompe	43%	55%
Application de l'eau	42%	26%



Le coût initial de la mobilisation des eaux souterraines avec l'irrigation solaire est intimement lié au coût du captage de l'eau, notamment des techniques utilisées selon la géologie. Il faut recourir systématiquement aux techniques manuelles de forage là où la géologie est favorable.

Coût du pompage solaire – Toutes les pompes testées ont été importées par fret aérien car indisponibles localement. Par ailleurs, une large gamme de panneaux solaires est disponible sur le marché de Dakar.

Pour évaluer la faisabilité d'une filière d'approvisionnement de pompes solaires les composantes du coût d'importation ont été étudiées afin d'estimer le coût de vente.

Taxes et frais de douane pour l'importation

Les taxes et les droits de douanes à acquitter pour l'importation de pompes solaires s'élèvent à 31%³³ de la valeur d'achat déclarée. C'est le taux appliqué pour l'importation de 3 pompes en provenance des Pays-Bas expédiées par DHL, y compris la prise en charge du dédouanement. Une pompe expédiée depuis le Burkina Faso via Air Burkina Express s'est vue appliquée l'exonération de la TVA. Les conditions d'application de cette exonération sont imprécises.

Tableau 16 Pourcentage du coût des taxes et droits de douanes

Droits de douane	10%
Redevance statistique	1%
Prélèvement communautaire solidaire	1%
Prélèvement communautaire CEDEAO	0,50%
TVA	18%
Total taxes et droits de douanes	31%

³³Tableau des droits et taxes <https://www.douanes.sn/fr/node/722>

Transport

Le coût du fret aérien à destination du Sénégal varie selon le pays d'importation :

- Chine environ 10 000 FCFA/kg (17 USD/kg)
- France (Europe) environ 15 000 FCFA/kg (26 USD/kg)
- Burkina Faso 2600 FCFA/kg (4,5 USD/kg)

Le délai de livraison entre l'enlèvement et la réception, dédouanement inclus, est de 7 à 10 jours.

Le coût du fret bateau³⁴ en provenance de Chine est d'environ 3,7 millions FCFA (6380 USD) / container de 20 pieds (33 m³). Il peut contenir environ 200 pompes immergées solaires (hors panneaux solaires), ce qui représente un investissement de départ élevé d'environ 27 millions de FCFA³⁵ (46 540 USD). Le délai de transport, dédouanement, livraison est d'environ 5 à 6 semaines depuis la Chine.

Marge du revendeur

L'estimation de la marge du revendeur s'est faite à partir du prix de vente de pompes immergées solaires (d'une gamme différente des pompes testées) importés de Chine par des commerçants Sénégalais via le E-Commerce Chinois (Ali Baba). Le prix d'achat initial en Chine est facilement traçable sur le Web. Les coûts de transport (fret aérien) et les taxes d'importation sont également connus. Il est donc facile de calculer la marge de l'importateur principal qui est **d'environ 30%**. Ce taux peut être plus élevé auprès d'un distributeur secondaire, non importateur, et fait grimper rapidement le coût de vente.

Prix de vente

Le point de départ du calcul du prix de vente des pompes testées, si elles devaient être commercialisées au Sénégal, est le prix d'achat auprès de l'exportateur. En cas d'exonération de TVA le prix de vente pourrait être minoré de 18%.

La pompe mini volante n'a pas vocation à être importée mais fabriquée localement, comme c'est le cas au Burkina Faso. Toutefois le développement technique de la pompe et la filière de fabrication et de commercialisation actuellement en place au Burkina Faso n'ont pas encore atteint un degré de maturité suffisant permettant de valider la stratégie la plus efficace pour sa diffusion à l'échelle régionale.

Tableau 17 prix de vente estime des pompes solaires

	Centrifuge	Hélicoïdale	Piston	Diaphragme
Prix d'achat pompe à l'export	113 481	244 027	457 858	194 819
Fret aérien (Chine - Sénégal)	78 715	157 430	60 000	157 430
Frais de douanes (31%)	35 179	75 648	141 936	60 394
Marge revendeur (30%)	68 212	143 132	197 938	123 793
TVA (18%)	53 206	111 643	154 392	96 558
Prix de vente client (FCFA)	348 793	731 879	1 012 124	632 994
	605 (USD)	(1270 USD)	(1736 USD)	(1098 USD)

³⁴ Prix obtenu auprès d'un fournisseur chinois (septembre 2018) depuis le port de Shenzhen au port de Dakar

³⁵ Pompes, transport et assurance, taxes et droits de douanes, livraison

Pour rappel, la conclusion de l'étude de marché réalisée fin 2015 par PRACTICA indiquait un potentiel pour le développement d'une pompe solaire capable de produire 10 à 12 m³ jour à une hauteur de 15 m avec un coût d'investissement de 600 euros, soit environ **400 000 FCFA (689 USD) pompe et générateur solaire**. Ce prix plafond était une réponse au coût inabordable des pompes solaires disponibles localement.

Le prix des pompes testées les plus prometteuses (pompe diaphragme exclue) ont été comparées avec d'autres pompes solaires de performances équivalentes disponibles sur le marché local et de fabrication Européenne, réputée plus fiable.

Tableau 18 Comparaison des pompes solaires testées avec les pompes disponibles sur le marché local

Marque Modèle de pompe	Africa Sun ASP240	Lorentz PS2-150 CSJ5-8	Difful 3DPC3-25-24-200	Solartech SPM600H	Mini volanta
Type de pompe	Hélicoïdale	Centrifuge	Centrifuge	Hélicoïdale	Piston
Fabrication	France	Allemagne	Chine	Chine	Burkina Faso
Puissance pompe (kW)	0,37	0,3	0,2	0,6	0,15
Puissance installée (kW)	0,6	0,25	0,6	0,6	0,3
HMT (m)	15	15	15	15	15
Volume (m ³ /j)	19	10	18	17	10
Prix pompe (F.CFA) ³⁶	882 000	758 208	348 793	731 879	1 012 124
Prix puissance F.CFA/Watt	2384	2527	1 744	1 220	6 747
Générateur solaire (F.CFA)	570 000	290 000	538 000	538 000	270 000
Prix énergie FCFA/watt	950	1 160	897	897	900
Prix total (F.CFA)	1 452 000 (2519 USD)	1 048 208 (1819 USD)	888 537 (1542 USD)	1 271 099 (2206 USD)	1 288 871 (2236 USD)

Les principaux points à retenir sont les suivants :

- Le coût de la production de l'énergie est globalement équivalent quelle que soit la pompe : 900 FCFA/kW (1,55 USD/kW) à 1160 FCFA/kW (2 USD/kW) installé. La légère variation provient du coût d'installation et du coût des supports des panneaux solaires. Sur le marché de Dakar le prix d'achat du panneau solaire est compris entre 410 (0,7USD) et 530 FCFA/W³⁷ (0,91 USD/W).
- Pour une production journalière de 15 m³ (3000 à 3500 m² irriguée) la pompe Difful de fabrication chinoise est 3 fois moins chère que sa concurrente d'origine Européenne. L'écart de prix se réduit à 2 pour un type de pompe équivalent (hélicoïdal). Si on compare le coût d'achat par unité de puissance (Watt) les pompes d'origine asiatique sont environ 2 fois moins chères que celles fabriquées en Europe.
- A volume de production journalier (10 m³/jour) et à puissance équivalente la pompe mini volanta fabriquée au Burkina Faso est deux fois plus chère qu'une pompe d'origine

³⁶ Panneaux solaires + colonne de refoulement + support panneaux + tête de forage + installation

³⁷ Prix relevés auprès de 5 fournisseurs de Dakar en Avril 2018 : ISTC, Yingli Solar, AOTM, Énergie solaire

européenne. Pour ce même volume une pompe immergée centrifuge d'origine asiatique achetée localement³⁸ est quant à elle 3 fois moins chère.

Dans tous les cas le montant plafond de 400 000 FCFA (689 USD) pour le pompage solaire (pompe et générateur) est dépassé et semble difficilement atteignable.

Tableau 19 Coût du pompage solaire en fonction du volume de pompage

Superficie irriguée (m ²)	2000 à 2500	3000 à 3500
Volume (m ³)	10	15
HMT (m)	15	15
Puissance panneaux (Watt)	300 à 400	600
Coût générateur	300 000 à 400 000	600 000
Coût pompe	250 000 à 300 000	300 000 à 730 000
Coût Total (F.CFA)	550 000 à 700 000	900 000 à 1,3 million



A performances égales les pompes manufacturées en Chine sont 3 fois moins chères que leurs concurrentes européennes. Pour une en superficie de 2000 à 3500 m² le prix plancher du pompage solaire est de 550 000 FCFA (948 USD) jusqu'à 1,3 millions de FCFA (2256 USD) prix plafond. 72% des producteurs enquêtés³⁹ lors d'une séance de démonstration se disent être en capacité d'investir plus 500 000 FCFA (862 USD) dans le pompage solaire.

La production de pompe en Afrique pour l'exportation dans la sous-région semble ne pas être une filière commercialement compétitive par rapport aux pompes importées de Chine. Par contre la fabrication en Chine ou en Inde de la pompe mini volanta et son assemblage en Afrique n'est pas à exclure, la faisabilité de ce modèle est à l'étude.

4.2 Coûts et bénéfices de l'irrigation solaire

L'analyse financière s'appuie sur l'étude d'un compte d'exploitation consolidé à partir des données économiques recueillies sur les 4 sites pilotes, afin de dégager des tendances ou des ordres de grandeur assortis de marge d'incertitude sur la rentabilité du pompage solaire dans le contexte de l'étude. Cette approche permet de lisser les résultats économiques dépendants d'une multitude de facteurs : attaque phytosanitaire, maîtrise des techniques culturales, qualité du sol, motivation du producteur, évènement social.

La solution d'irrigation solaire retenue est celle composée d'un forage manuel, de la pompe immergée centrifuge Difful et des bandes d'aspersion + bassins, pour l'irrigation d'une superficie totale de 3000 m². C'est la solution la plus appréciée des producteurs et elle présente un potentiel de développement très intéressant.

³⁸ La pompe Sunculture tombée en panne en milieu de pilote a été remplacée par une pompe achetée sur le marché de Dakar à 260 000 FCFA (448 USD) : Feili modèle 3FLD2.7-22-24-180

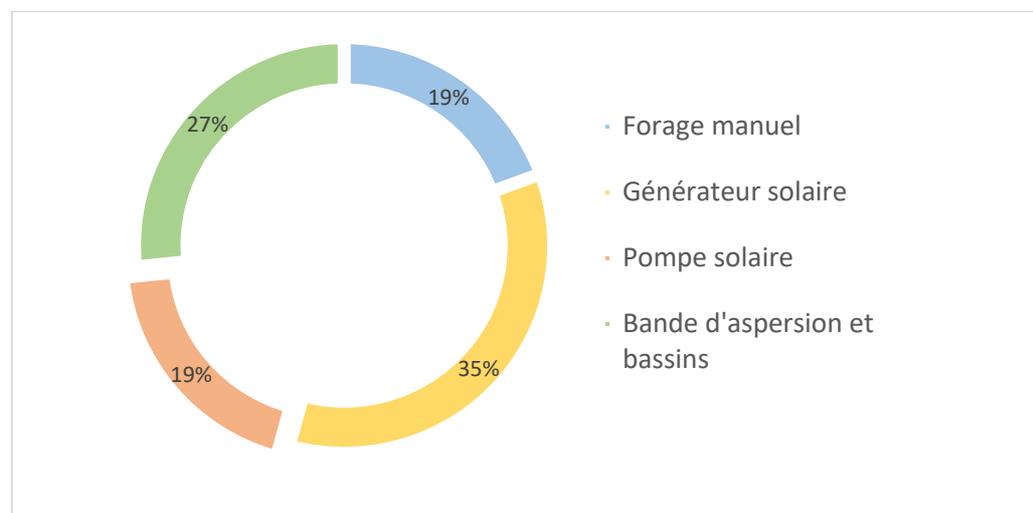
³⁹ Enquête conduite auprès de 25 producteurs dont 63% déclarent exploiter une superficie inférieure à 1ha

Tableau 20 Caractéristiques de la solution d'irrigation solaire

Source d'eau	Forage 17 m, niveau dynamique 11 m	
Pompe	Centrifuge (Difull)	
Système d'irrigation	Bande d'aspersion	
Spécifications	Tomate, chou, jaxatou	
Surface irriguée	m ²	3000
Durée de la campagne	mois	4
Volume de pompage journalier	m ³ /jour	15
Hauteur Manométrique Totale	m	15
Investissements		
Investissement forage manuel	FCFA	300 000
Investissement générateur solaire	FCFA	538 000
Investissement pompage électrique	FCFA	296 000
Investissement système d'irrigation	FCFA	411 800
Total investissement	FCFA	1 545 800 (2664 USD)

La pompe et le régulateur de puissance ont une durée de vie réduite (4 ans) et leur remplacement est prioritaire, car selon le stade de développement une culture maraîchère ne peut supporter l'absence d'irrigation plus de 3 jours consécutifs. La part de leur coût de remplacement représente uniquement 19% de l'investissement total.

Figure 15 Répartition du coût des investissements de la solution d'irrigation solaire



Charges d'irrigation – Elles sont composées à 91% par les amortissements calculés à partir des durées de vie prévisibles des différents équipements (forage manuel, pompe, générateur solaire, matériel d'irrigation). La détermination de la durée de vie dépend des conditions et du contexte spécifique d'utilisation des matériels. Elle est de 7 années si l'eau pompée n'est pas turbide. Toutefois, la présence de matières en suspension dans les puits ou les forages manuels destinés à l'irrigation risque d'altérer considérablement la durée de vie. De même la durée et le volume de pompage peuvent impacter la durée de renouvellement. Pour l'irrigation 4 années semblent être une durée moyenne d'amortissement réaliste. Les panneaux solaires sont généralement amortis sur 20 ans.

Attention la notion d'amortissement est avant tout comptable, et n'a aucun impact sur la trésorerie de l'exploitant. Il n'y aucune obligation de provisionnement ou d'épargne volontaire pour le renouvellement des équipements. Toutefois des mécanismes doivent être mis en place afin d'assurer la durabilité de la solution en raison du faible pourcentage de crédits accordés par les banques pour l'investissement (15% dans les Niayes⁴⁰) pour éviter de tomber dans le cercle vertueux de l'attente d'une subvention ou d'un appui financier d'un projet ou d'un opérateur de développement.

Tableau 21 Charges d'irrigation

Maintenance et réparation		
Maintenance pompe	FCFA/campagne	3 333
Maintenance système d'irrigation	FCFA/campagne	1 000
Sous-total maintenance	FCFA/campagne	4 333
Amortissement forage manuel		
Durée de vie	mois	120
Coût d'amortissement	FCFA/campagne	10 000
Amortissement pompe		
Durée de vie	mois	48
Coût d'amortissement	FCFA/campagne	24 667
Amortissement générateur solaire		
Durée de vie	mois	240
Coût d'amortissement	FCFA/campagne	8 967
Amortissement système d'irrigation		
Durée de vie	mois	48
Coût d'amortissement	FCFA/campagne	34 317
Sous-total amortissement	FCFA/campagne	77 950
Charges d'irrigation	FCFA	82 283 (142 USD)

Charges de production – Elles sont composées majoritairement des dépenses réalisées pour l'achat des intrants. Dans ce cas de figure la main d'oeuvre est principalement familiale. Dans les Niayes le recours à de la main d'oeuvre dite saisonnière est très répandu. Dans les faits, elle s'apparente à du métayage⁴¹, avec un montant d'environ de 600 000 FCFA/ campagne (1034 USD/campagne) pour le produit attendu sur une superficie maraichère de 3000 m²

Tableau 22 Charges de production

Semences	FCFA	38 500
Engrais	FCFA	66 125
Produits phytosanitaires	FCFA	24 500
Main d'oeuvre temporaire	FCFA	75 000
Charges totales de production	FCFA	204 125 (352 USD)

⁴⁰ Source : Recensement de l'horticulture dans les Niayes, Direction de l'Horticulture, 2012

⁴¹ Un métayer est une personne qui cultive la terre d'un propriétaire en échange d'une partie du bénéfice de la récolte.

Volontairement la main d'œuvre familiale n'a pas été valorisée afin de refléter la situation financière réelle du producteur.

Analyse financière – Le calcul du résultat d'exploitation permet de dégager une marge nette⁴² d'environ 1,5 millions de FCFA⁴³ (2585 USD) sur une superficie de 3000 m². L'activité maraichère est rentable avec les solutions d'irrigation solaires testées, mais c'est une activité à risque dont le revenu peut considérablement varier d'un producteur et d'une campagne à l'autre.

Tableau 23 Analyse financière

Analyse financière	FCFA	USD
Charges totales d'exploitation	286 408	494
Produit d'exploitation (chiffre d'affaire)	1 833 000	3159
Marge brute	1 628 875	2807
Marge nette	1 546 592	2666



La principale problématique n'est pas la rentabilité de l'irrigation solaire mais la capacité du producteur à mobiliser l'investissement initial dans le cas d'une nouvelle installation, ou la question du financement du remplacement des installations « vitales » de la solution d'irrigation solaire : la pompe. Le faible coût des pompes d'origine chinoise et les résultats d'exploitation confortables dégagés renforcent l'effort d'investissement et la bancabilité du producteur, vis-à-vis des organismes de prêt, pour le renouvellement de la pompe, tout en réduisant le montant restant à financer « à crédit ».

Comparaison pompage thermique et solaire – L'utilisation d'une motopompe essence pour le pompage à une profondeur de l'eau à 11 m pour l'exploitation d'un nouveau site est peu répandue en raison du coût de fonctionnement élevé (environ 200 000 FCFA/campagne - 345 USD/ campagne). Cela oblige également le producteur à construire un contre puits, une pointe filtrante et/ou à réaliser l'approfondissement du puits : investissement estimé à 1,4 millions FCFA (2413 USD). La comparaison de la part des dépenses dans la production d'eau entre le pompage solaire et une motopompe se fait dans des conditions identiques de pompage : volume 15 m³/jour à 15 m de HMT (niveau dynamique 11 m + 4 m de pression) , application de l'eau avec bandes d'aspersion, superficie irriguée 3000 m².

Fonctionnement

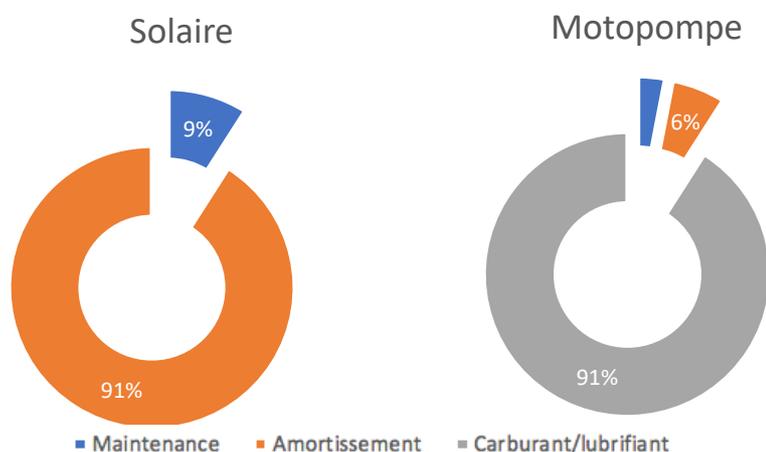
Les dépenses de fonctionnement de la motopompe (carburant et lubrifiant) représentent 91% des dépenses de production de l'eau ou 26% du montant total des charges. En Afrique de l'Ouest la part des charges de carburant et lubrifiant en l'absence de l'utilisation de techniques efficaces d'application de l'eau à la parcelle atteint 40% à 60% des charges totales, d'où la nécessité pour le producteur de constituer un fonds de roulement ou d'accéder à un crédit de

⁴² Marge brute - amortissements

⁴³ Environ 900 000 FCFA en cas de métayage

campagne pour faire face à ces dépenses. L'attractivité du pompage solaire provient de l'absence de coût de fonctionnement qui est un argument très séduisant, **considérant à tort l'eau produite comme gratuite !**

Figure 16 Comparaison de la répartition des charges de production de l'eau



Les coûts payés pour le fonctionnement d'une motopompe durant 2,5 campagnes d'irrigation parviendraient à couvrir l'achat d'un générateur solaire d'une durée de vie de 20 ans.

Amortissement

Le coût des amortissements pour le pompage solaire représente **91%** du coût de production de l'eau, sans impacter directement la trésorerie ou les flux financiers de l'exploitation, sans obligation d'épargne. Le faible coût d'investissement d'une motopompe (environ 85 000 FCFA – 146 USD) rend facile son renouvellement et contribue au développement croissant du marché des motopompes indépendamment de la qualité commercialisée. La capacité limitée de l'aquifère (entre 2 et 4 m³/h) aux profondeurs de pompage étudiées restreint la superficie irriguée par une motopompe à celle d'une pompe solaire, alors que son potentiel de performance permettrait de doubler la superficie irriguée.



Le passage du pompage motorisé au pompage solaire à partir de 10 m de profondeur de l'eau est motivé par :

- les conditions limites de pompage atteintes par une motopompe
- un coût de fonctionnement élevé du pompage thermique
- une superficie irrigable limitée par le débit d'exploitation de l'aquifère
- un investissement élevé pour le captage de l'eau (puits ouvert + contre puits)

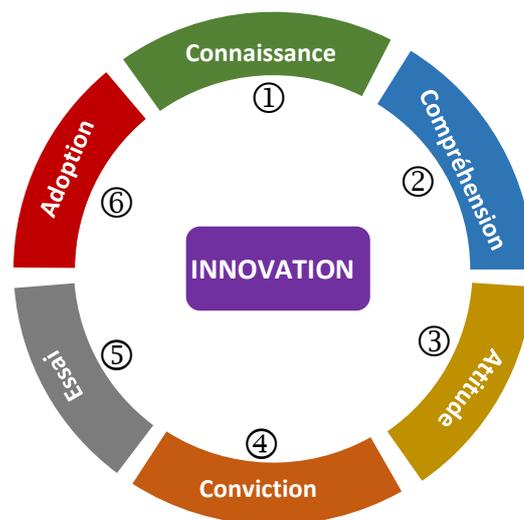
5. FACTEURS MOTEURS ET BARRIERES POUR L'ADOPTION DU POMPAGE SOLAIRE POUR L'IRRIGATION

51. Généralités sur le processus d'adoption

Le processus d'adoption peut se décrire comme une séquence en 6 d'étapes suivies par le client, du stade de la découverte jusqu'à son adoption ou son rejet :

- Étape 1 - La connaissance : le client découvre l'existence de l'innovation à travers le bouche-à-oreille ou une visite
- Étape 2 La compréhension : le client identifie les principales caractéristiques apportées par l'innovation
- Étape 3 L'attitude : le client évalue le pour et le contre et se forge une opinion favorable ou défavorable
- Étape 4 : La conviction : le client est convaincu de l'intérêt du produit et de ses avantages
- Étape 5 : L'essai : le client décide d'acquérir le produit
- Étape 6 : L'adoption : sur la base de son expérience le client décide d'adopter ou de rejeter l'innovation . A ce stade c'est la qualité du produit qui parle.

Figure 17 Processus d'adoption d'une innovation



Les facteurs moteurs et les barrières à l'adoption ont été étudiées auprès des 4 producteurs pilotes et d'un échantillon de producteurs non utilisateurs du pompage solaire. La durée du pilote et la méthodologie de test n'ont pas permis d'étudier dans sa globalité le processus d'adoption. Les chapitres suivants résument les résultats des différentes étapes atteintes.

52. Producteurs non utilisateurs des solutions d'irrigation solaires

Lors du pilote 50 producteurs ont été conviés à une séance de démonstration des 4 solutions d'irrigation solaire testées.

Un questionnaire portant sur la perception du pompage solaire a été administré sur un échantillon de 23 participants avant (To) et après la démonstration (To + 1 semaine). Les participants sélectionnés ont un profil varié, mais ont en commun la pratique des cultures maraichères irriguées.

Tableau 24 Profil des producteurs enquêtés

Profession :	96% exercent le maraichage comme 'activité principale
Surface irriguée :	58% ont entre 0,5 et 1ha et 38% supérieur à 1ha
Catégorie de producteur :	67% se considèrent comme un petit producteur
Motivation :	60% souhaitent investir dans l'amélioration de l'irrigation
Moyen financiers :	59% ont une capacité supérieure à 500 000 F.CFA et 23% moins de 300 000 F.CFA

L'analyse des résultats de l'enquête s'intéresse aux 4 premières étapes du processus d'adoption en apportant des nuances sur l'évolution de la perception du pompage solaire avant et après démonstration.

Connaissance - 73% des participants déclarent avoir vu le pompage solaire chez un autre producteur. L'enquête ne contextualise pas les solutions solaires testées et le degré d'innovation par rapport à leur connaissance initiale. **Le pompage solaire n'est pas une découverte pour les petits producteurs !**

Compréhension - La variabilité du volume d'eau journalier produit par une pompe solaire est bien assimilée. Seulement 30% estiment nécessaire d'avoir recours à un stockage de l'eau en hauteur, et 95% indiquent la nécessité de stockage de l'eau dans des bassins au sol. Le questionnaire ne précise pas si le stockage de l'eau est destiné au fonctionnement d'un système d'application de l'eau pour maintenir constant le débit et la pression.

Une majorité (60%) considère une pompe solaire plus puissante qu'une motopompe. La notion de puissance est subjective et le questionnaire volontairement n'apporte pas de précision pour laisser exprimer la perception de la puissance. Étonnamment le volume produit par une pompe solaire est perçu plus important que celui d'une motopompe : cas de 60% de l'opinion avant et après démonstration. Une explication avancée est le pompage continu du solaire tout au long de la journée contrairement à la motopompe qui fonctionne par intermittence pour laisser remonter l'eau dans le puits.

Seulement 26% des producteurs enquêtés pensent qu'une pompe solaire pompe l'eau plus profondément qu'une motopompe, l'opinion évolue à 66% après démonstration. La pression ne semble pas être un élément d'appréciation de la puissance ou un critère de choix d'un système de pompage.



La compréhension des principales caractéristiques du pompage solaire est assez confuse, voir éloignée de son principal atout à savoir la possibilité de pomper à une profondeur supérieure aux motopompes pour irriguer des parcelles où l'irrigation est impossible. La perception du pompage solaire comme substitut du pompage thermique est bien ancrée. Les producteurs ont tendance à s'approprier le pompage solaire en le contextualisant à leur propre expérience acquise avec les motopompes, alors que les conditions de pompage sont totalement différentes.

Attitude – Les producteurs sont conscients que le pompage solaire entraîne une modification de l'arrosage, mais les avis sont partagés sur l'implication financière de ce changement, entre adaptations peu coûteuses et investissement dans du matériel moderne et onéreux.

A l'unanimité l'économie en carburant vient en tête de l'impact attendu du pompage solaire. Les convictions sur la durée de vie plus longue et sur les pannes moins fréquentes du pompage solaire comparé aux motopompes sont fortes, mais seulement 10% des enquêtés pensent que la réparation est plus facile. L'économie de main d'œuvre est citée par 80% des participants comme un avantage du pompage solaire, dans ce cas précis ce sont les techniques économes en eau qui sont appréciées. Il est difficile d'évaluer la distorsion et les fausses idées sur l'appréciation du pompage solaire selon la technique d'irrigation utilisée.

L'intérêt pour la diminution de l'empreinte carbone grâce à l'utilisation d'énergie solaire pour le pompage se limite à 29% d'opinions.



Les producteurs, techniciens agricole et décideurs confondent pompage solaire et technique d'application de l'eau à la parcelle. Il faut être prudent dans les interprétations des opinions. Cependant cette confusion relève l'importance dans une campagne de marketing ou de communication ciblant le pompage solaire de créer une identité propre à ce que l'on dénomme solution d'irrigation solaire. Le producteur recherche en priorité un avantage relatif en terme économique avec la diminution des frais de carburant en considérant à nouveau le pompage solaire en remplacement de la motopompe.

Conviction – Tous les producteurs enquêtés ont une bonne opinion du pompage solaire (avant et après démonstration) et l'estiment intéressant pour leur exploitation. Ils le recommandent dans leur entourage, notamment à travers le bouche-à-oreille. 79% des enquêtés se disent intéressés par l'une des solutions solaires d'irrigation présentée.

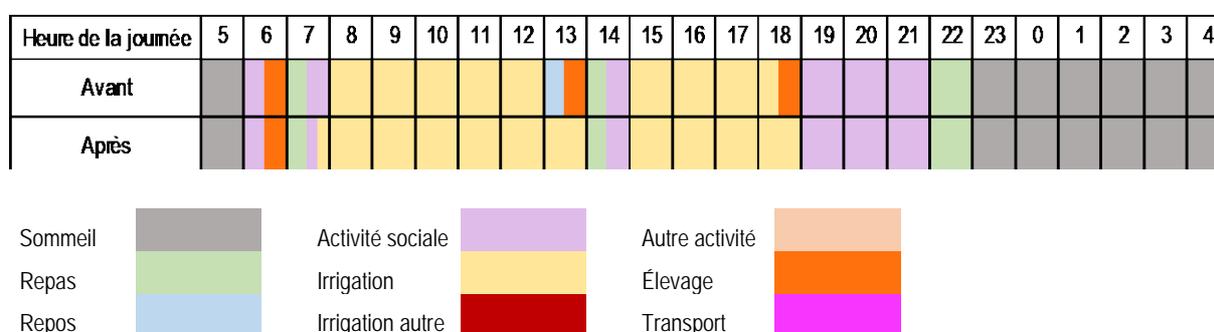


Au cours de ces 5 dernières années le pompage solaire a pénétré le marché de l'irrigation sans toutefois parvenir à le déverrouiller. Les producteurs utilisateurs du pompage solaire sont des innovateurs ou « des adopteurs » précoces qui veulent de la technologie et attendent des performances. La majorité du marché de producteurs restant, convaincus par le pompage solaire, attend des solutions pratiques adaptées à leur besoin. C'est le cas des solutions d'irrigation solaire testées ou en cours de développement lorsque l'eau se trouve à une profondeur intermédiaire.

53. Producteurs pilotes

Un questionnaire similaire à celui des producteurs non utilisateurs a été adressé aux 4 producteurs pilotes. Malheureusement l'échantillon est trop faible pour tirer des tendances sur le processus d'adoption ou le changement de perception. L'analyse n'apporte pas de nouveaux éléments, d'autant plus que les 4 producteurs ont été placés directement en situation de test. Parallèlement à ce questionnaire le changement provoqué dans le quotidien du producteur par le test de solutions d'irrigation solaire a été étudié. Un schéma représente le temps accordé pour chaque événement/activité (sommeil, repas, repos, activité sociale ou religieuse, irrigation, autre activité économique, élevage, transport) composant une journée de travail, avant l'installation (To) de la solution d'irrigation et durant son utilisation/adoption (To + 6 semaines).

Tableau 25 Chronogramme journalier d'activités avant et après installation



Les tendances relevées chez les 4 producteurs pilotes sont les suivantes :

- Dans l'absolue la durée consacrée à l'irrigation est plus importante 1,5 à 3 heures supplémentaires.
- Par contre la pénibilité a diminué => conséquence directe de l'utilisation de techniques d'irrigation « automatiques », nécessitant peu de main d'œuvre. Il est difficile de déterminer avec précision si cette augmentation de la durée provient du pompage au fil du soleil, ou de l'augmentation de la superficie.
- Il n'y a pas de perturbation majeure dans la plage d'irrigation qui est comprise entre 8 h et 18h.

- Par contre la durée consacrée aux repas et au repos, habituellement entre 13h et 15h, diminue d'une heure. En réalité durant la période dite de repos l'irrigation se poursuit car elle est automatisée ce qui n'est pas le cas avec l'irrigation à l'arrosoir.



Le pompage au fil du soleil n'est pas perçu comme une contrainte pouvant avoir un impact sur l'augmentation de la durée d'arrosage, s'il est associé à des techniques efficaces d'application de l'eau. Le bénéfice retiré est la diminution de la main d'œuvre et de la pénibilité de l'irrigation. L'automatisation de l'irrigation permet de poursuivre l'arrosage aux heures les plus chaudes de la journée, habituellement consacrées au repos.



Figure 18 Démonstration des solutions d'irrigation solaire

6. OPPORTUNITES ET DIFFICULTES DE LA MISE EN PLACE D'UNE FILIERE COMMERCIALE

L'irrigation solaire est une activité rentable qui offre une réelle opportunité de marché pour la vente de produits et de services appropriées pour les petits producteurs. Pour cela le secteur privé PME ou TPE impliqué dans la chaîne commerciale doit en tirer un bénéfice pour survivre et garantir la durabilité de la filière. Dans un contexte où l'offre et la demande peinent à être en phase la recherche des mécanismes et des conditions de mise en place d'une filière commerciale doivent être soutenus.

61. Analyse du marché

Taille du marché - Le développement du marché de pompes solaires pour les profondeurs d'eau intermédiaires est fortement dépendant de l'existence de capacités locales pour la réalisation de forage manuel. Par ailleurs, la profondeur moyenne pouvant être atteinte est rarement supérieure à 20 m, réduisant ainsi la plage de profondeur d'eau favorable entre 10 et 14 m⁴⁴ avec les pompes solaires testées lors du pilote. Le potentiel de surface irrigable à partir des eaux souterraines est sans doute inférieur à 13 000 ha. Faisons l'hypothèse conservatrice que ce potentiel n'excède pas à 6500 ha. Une estimation du marché à **11 000 pompes** semble réaliste, si la surface irriguée par une pompe est de 3000 m² et le coefficient de pénétration du marché de 50%.

Segment du marché - L'AUMN avec ses 17500 membres offre un marché unique à moins de 150 km de la capitale Dakar. Selon le dernier recensement agricole⁴⁵ la superficie moyenne cultivée est de 0,7 ha et l'accès au foncier n'est pas perçu comme une contrainte majeure. Il n'y a pas de concurrence sur l'acquisition des terrains agricoles non irrigués et dépourvus d'accès à l'eau car ils nécessitent le recours à un investissement conséquent.

Avec un accès au crédit octroyé à l'investissement qui ne dépasse pas 15%, et en l'absence de mesures d'acquisition incitatives le segment de clientèle visé pour le pompage solaire se limite aux producteurs ayant une capacité d'investissement de 0,5 à 1,2 million de F.CFA (862 à 2068 USD) uniquement pour le système de pompage solaire. Dans l'échantillon de producteurs enquêtés lors de la démonstration plus de 59% déclarent avoir une capacité d'investissement supérieure à 500 000 FCFA (862 USD).

⁴⁴ Hauteur minimale dans le forage de 6 m

⁴⁵ Recensement de l'horticulture dans le Niayes, Direction de l'Horticulture, Mars 2013

Changements dans l'accès à l'utilisation de la terre⁴⁶

Au cours de ces 10 dernières années la pression foncière dans les Niayes est devenue une réalité. Plusieurs facteurs contribuent à l'épuisement des ressources foncières :

- La croissance démographique
- Le développement d'un système de production intensif
- L'Urbanisation des Niayes Centre au Niayes Sud
- Les investissements privés dans l'extraction minière et dans l'agro-industrie

Aujourd'hui l'irrigation est pratiquée sur les pentes des cuvettes, jadis exploitées en période de décrue, grâce au développement de nouveaux systèmes d'exhaure nécessitant des investissements conséquents. L'accès à l'utilisation du foncier est fortement dépendant de la capacité des exploitations agricoles à mobiliser des financements pour l'accès à l'eau ou pour acquérir des systèmes d'irrigation performants. Les difficultés de l'accès au crédit pour l'investissement par les petits exploitants favorisent la concentration du foncier aux mains des acteurs économiques capables de mobiliser les financements requis.



La taille du marché est intéressante mais la dynamique porteuse incertaine peu incitatrice pour des investisseurs privés nationaux habitués aux marchés institutionnels portés par des projets et non des privés.

62. Les acteurs de la filière commerciale

On trouve trois principales catégories d'acteurs commerciaux avec des intérêts et une stratégie commerciale divergents pour la commercialisation des pompes de profondeur intermédiaire prometteuses.

Les commerçants représentant les marques de pompes solaires européennes (Lorentz et Grundfos). Ces enseignes ont établi leur réputation sur la qualité des services et des produits commercialisés, ainsi que sur la notoriété des marques représentées. Elles sont basées à Dakar et quelquefois représentées par des distributeurs secondaires en province. Leur capacité à constituer du stock est un atout majeur. Ces commerçants sont en général hermétiques aux produits d'origine chinoise. La majorité des ventes en direction du marché de l'agriculture irriguée cible les riches producteurs et des projets soutenus par des fonds institutionnels.

La filière dite « chinoise » portée essentiellement par des commerçants sénégalais basés à Dakar. Il n'y a pas ou peu de marques asiatiques phares qui se distinguent. Elles sont souvent vendues « sans marque ». L'achat des pompes se fait à travers l'E-commerce ou avec des intermédiaires commerçant avec la Chine avec lesquels ils ont établi une relation de confiance. La qualité des produits est très hétéroclite et la qualité du conseil apporté sur le choix ou le

⁴⁶ Texte adapté du rapport final comprendre les changements dans l'accès à l'utilisation de la terre par les populations rurales pauvres au Sénégal, IPAR, financement IFAD & IIED, Septembre 2015

dimensionnement de la pompe incertain. Ces commerçants ont un stock de pompes limité en raison de leur faible trésorerie, et pour réduire le risque financier d'une immobilisation d'inventaires trop importante sur une longue durée. Ils ont une bonne capacité d'adaptation à la demande du marché.

Les associations de producteurs comme l'AUMN peuvent jouer un rôle moteur dans la mise en place d'une filière commerciale de pompes solaires. L'AUMN est en train de mettre en place une centrale d'achat d'équipement agricole afin d'organiser et de centraliser les commandes de ses membres. Leur capacité financière est suffisante pour faire face à un achat groupé. Exemple de l'importation d'Europe de 260 tonnes de semences de pomme de terre pour un montant de 180 millions de FCFA (310 248 USD). C'est également un moyen de négocier les prix d'achats avec les principaux fournisseurs et de diminuer les intermédiaires.

L'exportateur fait également partie intégrante de la filière. Pour les pompes manufacturées en Chine les plateformes d'E-commerce ont révolutionné les échanges commerciaux. Cependant il est difficile de s'y retrouver et d'identifier les informations utiles pour choisir la bonne pompe au milieu des multiples contrefaçons. Toutes les pompes testées aux Pays-Bas et aux États Unis ont été commandées sur des plateformes de vente trouvées sur internet. Des contacts directs par email, WhatsApp, Skype ont également eu lieu avec les fabricants chinois, c'est le prélude à toute relation commerciale de confiance.

63. Conditions pour la mise en place d'une filière de pompes solaires

Pompes manufacturées en Chine - Les pompes manufacturées en Chine testées, centrifuge et hélicoïdale, semblent répondre aux attentes des producteurs qui ont fait un retour très favorable. Pour amorcer la phase d'introduction et accélérer la croissance des ventes de pompes solaires pour l'irrigation à des profondeurs intermédiaires il faut :

- Stimuler le volume des ventes sans recours aux subventions pour ne pas créer de bulle artificielle de demande préjudiciable à la pérennité de la filière de distribution. Les primo adoptants font partie des innovateurs, catégorie de producteur ayant les capacités d'investir dans leur exploitation pour soutenir la phase d'introduction du marché
- Diminuer le coût du pompage solaire pour qu'il soit accessible au plus grand nombre lors de la phase de croissance
- Réduire le nombre d'acteurs de la filière commerciale et rapprocher le fabricant des utilisateurs
- Établir des relations de confiance distributeur / consommateur et distributeur / importateur

Parmi les acteurs commerciaux potentiels l'AUMN présente des capacités et dispose d'une expérience intéressante pour créer un environnement favorable à l'émergence d'une filière commerciale durable :

- Les commandes peuvent être groupées jusqu'à atteindre un volume suffisant pour lancer une commande par fret bateau.
- Le risque commercial d'une mévente est faible car les pompes sont payées à la commande

- L'AUMN est le plus gros réservoir de client pour le pompage solaire avec ses 17500 membres générant 80% du marché des produits maraichers
- Le prix d'achat est divisé par 2 comparé à la filière de commerçants sénégalais de pompes manufacturées en Asie
- Les organisations paysannes membre de l'AUMN couvrent l'ensemble de la région des Niayes qui sont en contact direct avec les membres

Pour atteindre l'objectif d'une filière durable de pompes manufacturées en Chine pilotée par l'AUMN plusieurs étapes doivent être suivies :

- Promotion de solutions d'irrigation solaire à travers une campagne de marketing ciblant les membres de l'AUMN
- Organiser la demande et renforcer les compétences de la plateforme d'achat
- Établir une relation de confiance avec le fabricant chinois exportateur de pompe
- Former des prestataires partenaires de l'AUMN pour l'installation et la réparation de solutions d'irrigation solaire
- Test à l'importation de 200 pompes

La comparaison du calcul du prix de vente de la pompe centrifuge (Difful) dans le tableau 26, s'appuie sur les hypothèses suivantes : 1) création d'une chaîne d'approvisionnement durable, 2) désintérêt des commerçants de produits européens fidèles à une marque, 3) risque financier important d'une commande par fret bateau avec la filière chinoise.

Tableau 26 Comparaison des hypothèses de prix de vente d'importation de la pompe Difful entre l'AUMN et la filière Chinoise

Remarques	AUMN	Composantes du prix	Filière d'importation de la Chine	Remarques
Commande 120 pompes (- 20%)	92 000	Prix achat export	115 000	Commande une pompe
Maritime container 20 pieds	18 500	Fret	78 715	Fret aérien
31% prix d'achat	28 520	Doits douane & taxes	35 650	31% prix d'achat
Aucune marge bénéficiaire	-	Marge vendeur	71 103	30% prix achat +fret+taxes
10% prix achat export	9 200	Frais de gestion	-	Aucun
FCFA	148 720 (256 USD)	Prix d'achat client	300 468 (518 USD)	FCFA

L'objectif est de créer développer une filière commerciale équitable :

- Créer des opportunités pour les petites exploitations marginalisées par un système commercial conventionnel mondialisé
- Améliorer les relations commerciales – travailler pour le bien-être social et économique des petits exploitants et ne faire aucun profit à leur insu
- Transparence et responsabilité des relations commerciales pour faire des affaires avec / et pour les petits producteurs
- Paiement d'un juste prix adapté au contexte des petits producteurs

Pompes fabriquées au Burkina Faso – Le coût de vente à l'export de la pompe à piston mini volanta par le Centre Sainte Famille au Burkina Faso n'est pas compétitif pour plusieurs raisons :

- Coûts élevés de production : main d'œuvre et matière première
- Absence de stratégie commerciale au niveau national et régional
- Faible esprit d'entrepreneuriat
- Manque de visibilité de la taille et du segment du marché

Depuis le lancement de la commercialisation au Burkina Faso début 2018, la filière commerciale peine à se mettre en place. La prise en compte des retours d'expériences des utilisateurs débute et fait progresser la qualité de production et les performances de la pompe.

Une alternative à l'exportation des pompes du Burkina Faso serait une fabrication au Sénégal. Cette option présente des défis importants de qualité, de disponibilité des matières premières, de compétences locales, d'équipement de l'atelier, de mobilisation de fonds pour la formation et le contrôle qualité de la pré-production.

Un atelier de fabrication situé en Casamance a été formé il y a quelques années sur la fabrication de la pompe volanta, mais le lieu de production est éloigné du cœur du marché. Cette option n'offre aucune garantie de pérennité.

L'externalisation de la fabrication en Inde ou en Chine est actuellement à l'étude avec un assemblage dans les pays d'Afrique de l'Ouest ayant un marché prometteur. Un accord de principe a été passé avec FuturePump⁴⁷ pour la fabrication de la pompe mini volanta dans leur usine en Inde. Selon les projections cette stratégie permettrait de diminuer de 30 à 50 % le prix actuel d'achat au producteur. Les prochaines étapes sont :

- L'investissement dans des moules pour la fabrication de certaines pièces
- Adaptation de la conception à une production usine
- Sélection et évaluation d'un partenaire commercial pour l'assemblage et la commercialisation dans un pays cible (le Sénégal par exemple)
- Test à petite échelle du modèle (50 à 100 pompes)

⁴⁷ Société commercialisant la pompe solaire SF2 : <https://futurepump.com/>

7. QUELLES LEÇONS TIRÉES DU PILOTE POUR LA MISE A L'ECHELLE AU SENEGAL ET EN AFRIQUE DE L'OUEST ?

Des pompes adaptées au contexte de la petite irrigation

Le marché international est inondé d'une multitude de constructeurs de pompes solaires pouvant répondre aux besoins des petits producteurs lorsque la profondeur de l'eau est comprise entre 10 et 15 mètres pour un volume journalier de 10 à 15 m³/jour. Chaque pompe est caractérisée par un mode de pompage (diaphragme, piston, centrifuge, hélicoïdal) plus ou moins compatible avec les conditions de pompage ciblées.

- L'eau souterraine captée à faible profondeur par les puits ou les forages construits manuellement contient très souvent du sable ou des matières fines en suspension qui diminuent la durée de vie de pompes centrifuges : roues de la pompe colmatées ou endommagées en raison de leur usure. La durée de vie est sans doute inférieure à 7 ans probablement proche de 3 années. Dans ce cas il faut s'orienter vers des pompes hélicoïdales ou à piston beaucoup moins sensibles. Le développement de la pompe mini volanta s'est orienté volontairement vers le pompage à piston afin d'intégrer la problématique de la qualité de l'eau souterraine captée pour l'irrigation.
- Les pompes immergées à diaphragme très populaires en raison de leur faible coût ne sont pas conçues pour une durée de fonctionnement importante de 7 à 8 heures par jour comme pour l'irrigation. A l'origine ce mode de pompage était conçu pour un usage moins exigeant. Le transfert technologique opéré pour l'irrigation a altéré la fiabilité et la durée de vie de ce type de pompe.
- Le débit maximal des pompes hélicoïdales et à piston est de plus ou moins 2 à 3 m³/h (10 à 18 m³/jour), mais il convient parfaitement au débit spécifique limité des aquifères rencontrés dans les Niayes, et aux faibles débits d'exploitation des puits et des forages manuels. Les pompes centrifuges peuvent être utilisées dans des gammes de débit plus important.

Le pompage au fil du soleil, une opportunité

- Durant 6 à 8 heures par jour 70% du volume journalier produit peut être appliqué directement avec l'utilisation de techniques d'irrigation économes en eau à faible pression. Le volume restant est stocké dans des bassins lorsque le débit et la pression sont insuffisants pour faire fonctionner le goutte à goutte ou les bandes d'aspersion. L'eau stockée dans des bassins répartis sur la parcelle est utilisée pour l'irrigation à l'arrosoir. La particularité de cette solution est la cohabitation de deux modes d'irrigation (moderne et traditionnel) qui permettent la valorisation maximale du volume journalier produit et l'adaptation flexible du planning d'irrigation du producteur en fonction des aléas. Indirectement c'est un moyen de limiter les risques encourus par le producteur lors de l'adoption d'une nouvelle technique avec la possibilité de rétablir rapidement la technique antérieure traditionnelle.
- Le pompage solaire au fil du soleil n'est pas considéré comme une contrainte ayant un impact sur l'augmentation de la durée de l'arrosage s'il est associé à des techniques efficaces d'application de l'eau. Le bénéfice retiré est la diminution de la quantité de main d'œuvre et la diminution de la pénibilité de l'arrosage. « L'automatisation » de l'irrigation permet de

poursuivre l'arrosage aux heures les plus chaudes de la journée habituellement consacrée au repos.

Risque de marginalisation de l'accès aux solutions d'irrigation solaire

- La principale problématique de l'irrigation solaire pour les profondeurs d'eau intermédiaires n'est pas sa rentabilité mais son coût d'investissement initial qui est de 1,5 à 2,5 millions de FCFA (2585 USD à 4374 USD), forage, pompe solaire, gaine d'aspersion, pour une superficie irriguée de 3500 m². 70% du coût est consacré à la mobilisation des eaux souterraines (forage et pompe solaire) pour une profondeur de l'eau de 10 à 15 mètres, c'est le coût minimum d'investissement à payer
- Tous les indicateurs des analyses financières conduites sur la rentabilité des cultures maraichères irriguées à partir du pompage solaire sont au vert mais les crédits d'investissement accordés par les banques aux producteurs sont très faibles (15% dans la zone des Niayes). La crainte est de voir l'accès aux solutions d'irrigation solaire limité aux producteurs ou acteurs économiques capable de mobiliser suffisamment de fonds.

Le forage manuel : porte d'entrée pour le développement du pompage solaire pour la petite irrigation individuelle

- L'augmentation des superficies irriguées à partir des eaux souterraines grâce au pompage solaire est directement dépendante de l'existence de capacités locales pour la réalisation de forage avec de techniques manuelles afin de maintenir le coût d'investissement le plus bas possible.
- La profondeur visée par le développement du marché de pompage solaire pour l'irrigation coïncide avec la profondeur limite moyenne pouvant être atteinte par les forages manuels (20 m). La cartographie de faisabilité des forages manuels et des débits d'exploitation de l'aquifère permettrait d'évaluer la taille du marché pour le pompage solaire et la superficie potentiellement irrigable. C'est un outil d'orientation stratégique à l'échelle nationale et non outil opérationnel de mise en oeuvre en raison de la variabilité de la qualité des données disponibles pour la réalisation de ces cartes..
- La faible qualité de l'eau obtenue à partir des forages manuels, destinés à l'irrigation, devrait avoir un impact sur l'orientation du marché vers les systèmes de pompage moins sensibles (hélicoïdal et piston). A défaut le faible coût des pompes solaires disponibles sur le marché compensera l'impact de la qualité de l'eau sur la durée de vie des pompes. L'application d'une norme de construction ou d'un standard d'équipement exigeant pour les forages manuels impactera le coût du forage (environ 5 fois plus cher⁴⁸) jugé déjà trop onéreux par la clientèle essentiellement privée : en pratique sans doute non appliqué car non contraignant pour un marché privé !

Un avantage pour les pompes d'origine chinoise

- A performance égale les pompes solaires fabriquées en Chine qui ont été testées sont trois fois moins chères que leurs concurrentes européennes. L'écart de prix pourrait être beaucoup

⁴⁸ Le prix d'un forage manuel (15 m de profondeur) adoptant un standard de construction équivalent aux forages pour l'eau potable est de 1,1 millions de FCFA. Prix relevé auprès d'une entreprise de forage manuel de Thiès.

plus important dans le cas d'une filière d'importation directe entre une faitière d'organisations de producteurs maraichers et le fabricant chinois

- La pompe solaire est l'élément vital de la solution solaire avec une durée de vie estimée à 4 ans voire moins selon la qualité de l'eau. Son coût de remplacement est d'environ 300 000 FCFA (517 USD) pour 15 m³/jour à 15 m. A titre d'exemple c'est 3 fois le coût d'une motopompe essence de 3 CV pour seulement 3500 m² irrigué ! Le maintien d'un prix le plus bas possible et le retour sur investissement sur une campagne devrait faciliter le renouvellement de la pompe et compenser la faible durée de vie. La qualité de l'eau incertaine pesant fortement sur la durée de vie il vaut mieux choisir la pompe la moins chère du marché.
- Au cours de ces 20 dernières années le prix des motopompes a été divisé par 6 avec l'arrivée massive de produits chinois sur le marché africain, conséquence de la saturation du marché Chinois suite au soutien de la mécanisation de l'agriculture chinoise au cours des années 1980. On peut espérer une évolution similaire de la baisse du coût des pompes solaires dans les 10 prochaines années, poussée par les investissements considérables du gouvernement Chinois en faveur des technologies « vertes », qui auront un impact sur l'augmentation de la demande et de l'offre sur le marché intérieur dans un premier temps, puis dans un second temps sur le marché international.

Une perception erronée du pompage solaire par les utilisateurs potentiels

La notion de pompage à profondeur intermédiaire peut être associée à un segment de marché correspondant au passage du pompage thermique (motopompe) au pompage solaire motivé par les facteurs ci-après :

- L'atteinte des conditions limites de pompage par une motopompe
- Un coût de fonctionnement élevé du pompage thermique à cette profondeur limite
- Une superficie irrigable limitée par le débit d'exploitation de l'ouvrage de captage
- Un investissement élevé pour le captage de l'eau (puits + contre puits + pointe filtrante)

Dans ce cas il n'est pas question d'envisager une substitution du pompage thermique par le pompage solaire mais bien d'introduire une nouvelle option technique permettant **d'irriguer des zones actuellement non mises en valeur à partir des eaux souterraines situées à une profondeur jusqu'alors difficilement exploitable.**

Pour accomplir ce passage, la compréhension du pompage solaire par le producteur est fondamentale. La perception du pompage solaire comme substitut du pompage thermique est bien ancrée auprès des producteurs. La compréhension des principales caractéristiques du pompage solaire est assez confuse, voir éloignée de son principal atout à savoir la possibilité de pomper à une profondeur supérieure aux motopompes. La confusion entre les avantages du pompage solaire et ceux apportés par les techniques d'application de l'eau à la parcelle sont très fréquents. Ces confusions relèvent l'importance dans une campagne de marketing ciblant le pompage solaire de créer une identité propre à ce que l'on dénomme solution d'irrigation solaire.

Au cours de ces 5 dernières années, avec une accélération depuis la COP21 de 2015, le pompage solaire a pénétré le marché de l'irrigation sans toutefois parvenir à le déverrouiller. Les producteurs utilisateurs du pompage solaire sont des innovateurs précoces qui veulent de

la technologie et attendent des performances. La majorité du marché restant, convaincu par le pompage solaire, attend des solutions pratiques adaptées à ses besoins. C'est le cas des solutions solaires testées ou en cours de développement

Une filière d'importation portée par les faitières agricoles

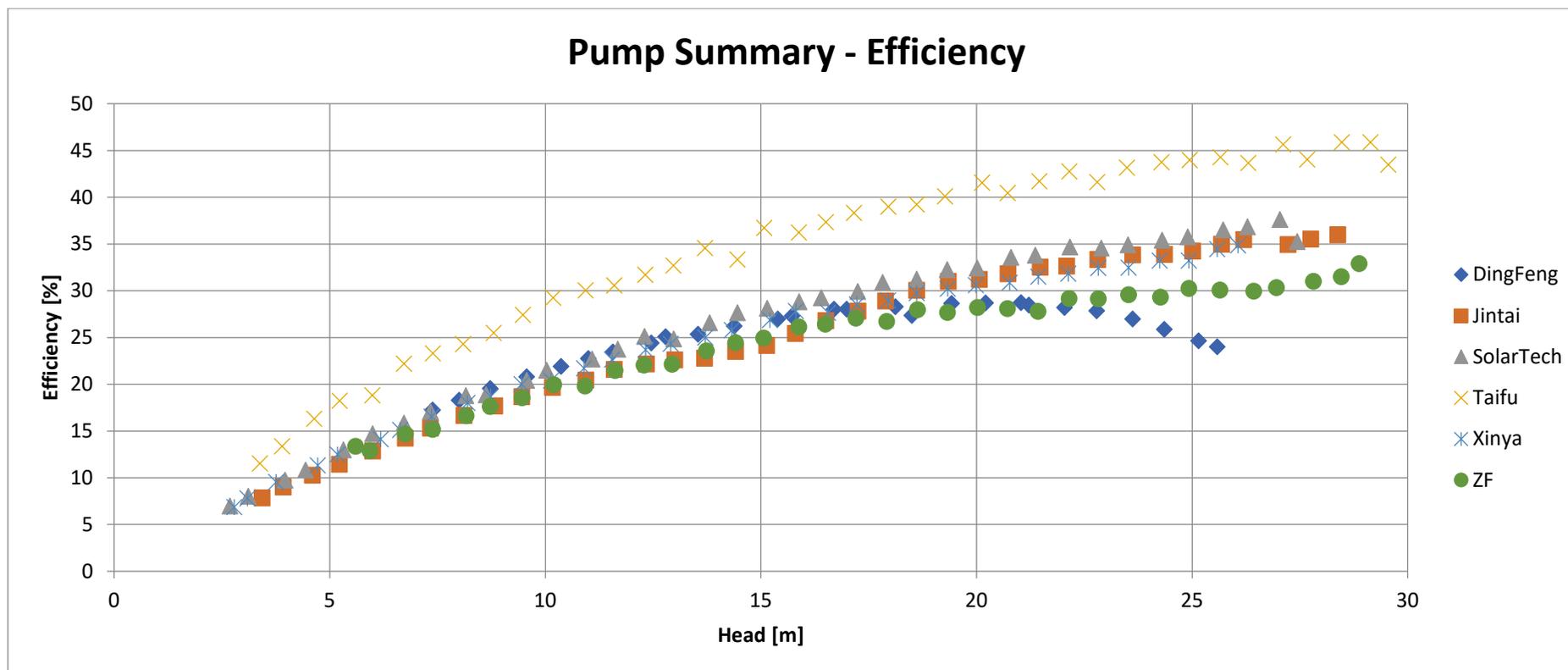
- Une partie des acteurs commerciaux locaux bien établis rechignent à vendre des produits d'origine chinoise pour préserver leur image construite sur la vente de produit haut de gamme ; l'autre partie commerçant avec la Chine recherche un retour sur investissement rapide en raison d'une capacité financière trop faible pour prendre un risque commercial pour la mise en place d'une filière de pompe. Les faitières d'association de producteurs maraichers semblent les mieux positionnées pour mettre en place une filière commerciale équitable entre les fabricants chinois et les producteurs consommateurs finaux. Par exemple l'AUMN possède une expérience d'échange commercial avec des fournisseurs de semences de pomme de terre en France : 260 tonnes de semences de pomme de terre ont été importés pour ses membres pour un montant atteignant plus de 180 millions de FCFA (310 248 USD).
- La production de pompe solaire en Afrique pour l'exportation dans la sous-région semble ne pas être une filière commercialement compétitive par rapport aux pompes importées de Chine. En revanche la fabrication en Chine ou en Inde de la pompe mini volante et son assemblage en Afrique est prometteuse car permettrait de réduire le coût de vente aux producteurs.

ANNEXES

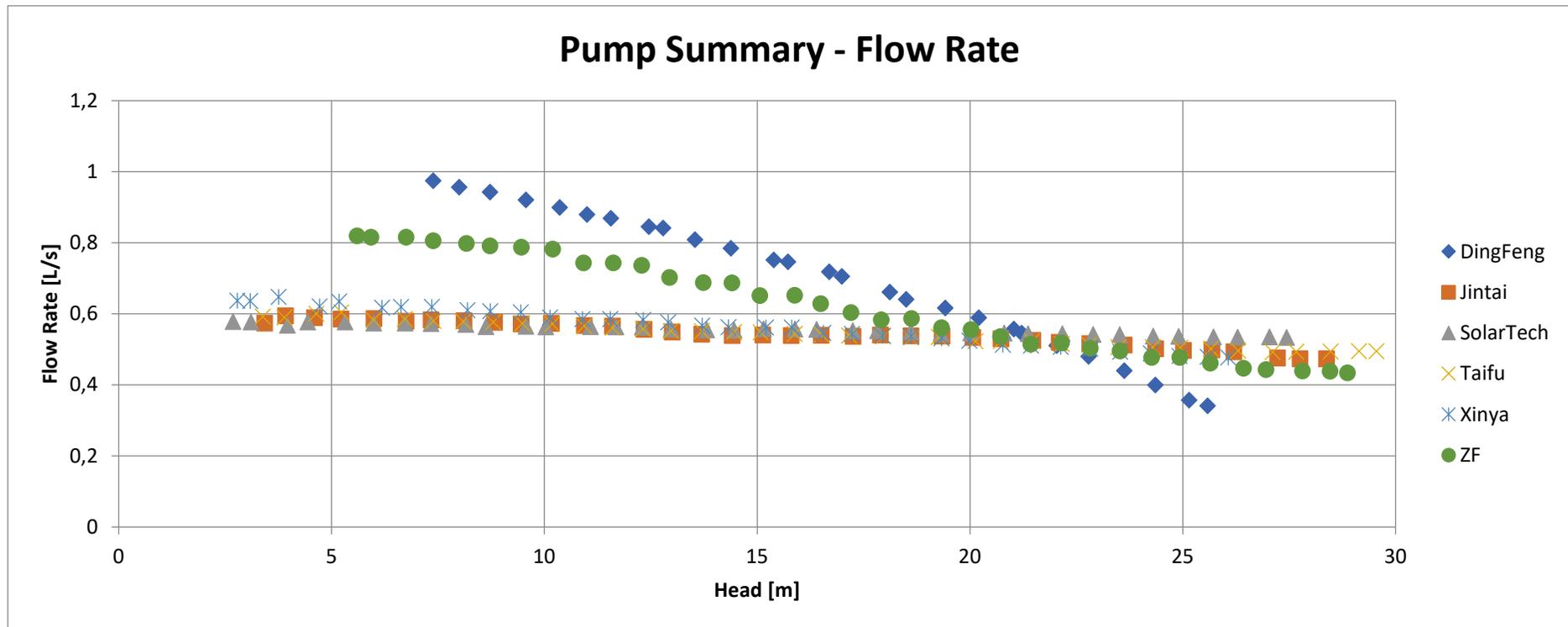
Annexe 1 Liste des pompes solaires testées en laboratoire

Marque	Modèle	Type de pompe	Contact commercial
DingFeng	3SSW4-33-48-550	Centrifuge	Arrêt de la commercialisation
Jintai	JS4-3.0-60	Hélicoïdal	https://jintaipump.en.made-in-china.com/product/ebEJXjYIXvWR/China-Solar-System-Brushless-DC-Pump-JS4-.html
SolarTech	SPM600H	Hélicoïdal	http://www.solartech.cn/detail.aspx?cid=12108
Taifu	4TSC2.5-70-48/500	Centrifuge	https://www.alibaba.com/product-detail/PUMPMAN-48V-4TSC2-5-70-48_60458965374.html
Xinya	4SPS3/60-D36/500	Hélicoïdal	https://french.alibaba.com/product-detail/water-pump-12v-24v-60101077471.html
Zhejiang Feili	4FLS1.5/25D36/500	Centrifuge	Arrêt de la commercialisation
Difful	3DPC3-25-24-200	Centrifuge	http://www.diffulpump.com/pid18107512/3inch-1hp-DC-burshless-solar-pump-plastic-impeller-solar-power-pump.htm
Sunculture - Rainmaker	SP300	Diaphragme	http://sunculture.com/products
Kerry	M123T-20	Centrifuge	https://m.alibaba.com/guide/shop/kerry-solar-powered-water-fountain-pump-for-garden-farm-irrigation_7642734.html
Mini volanta		Piston	Centre Sainte Famille - email : frerecharless@yahoo.fr

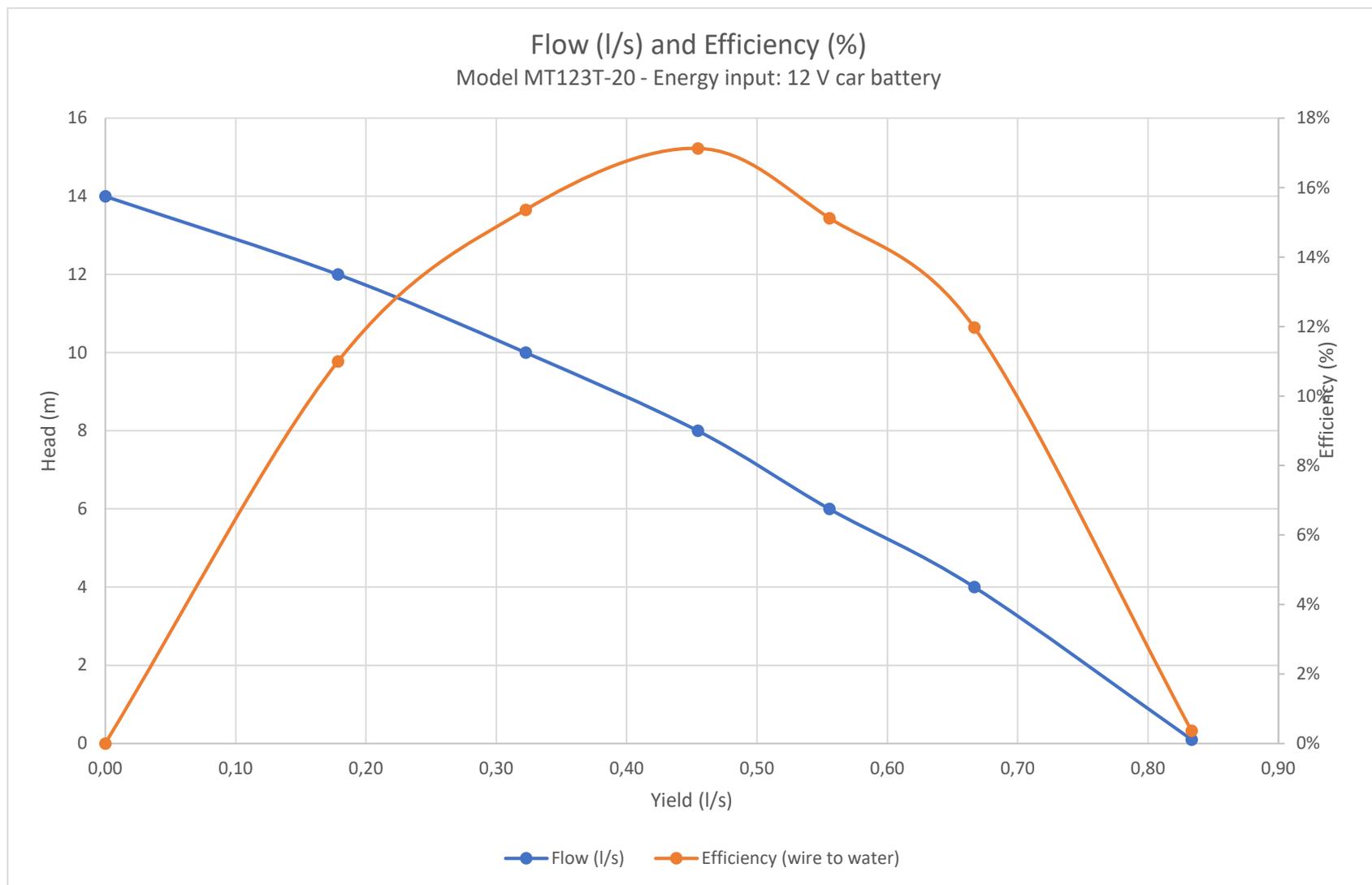
Annexe 2 Résultat des tests laboratoire : courbes d'efficience, débit, hauteur



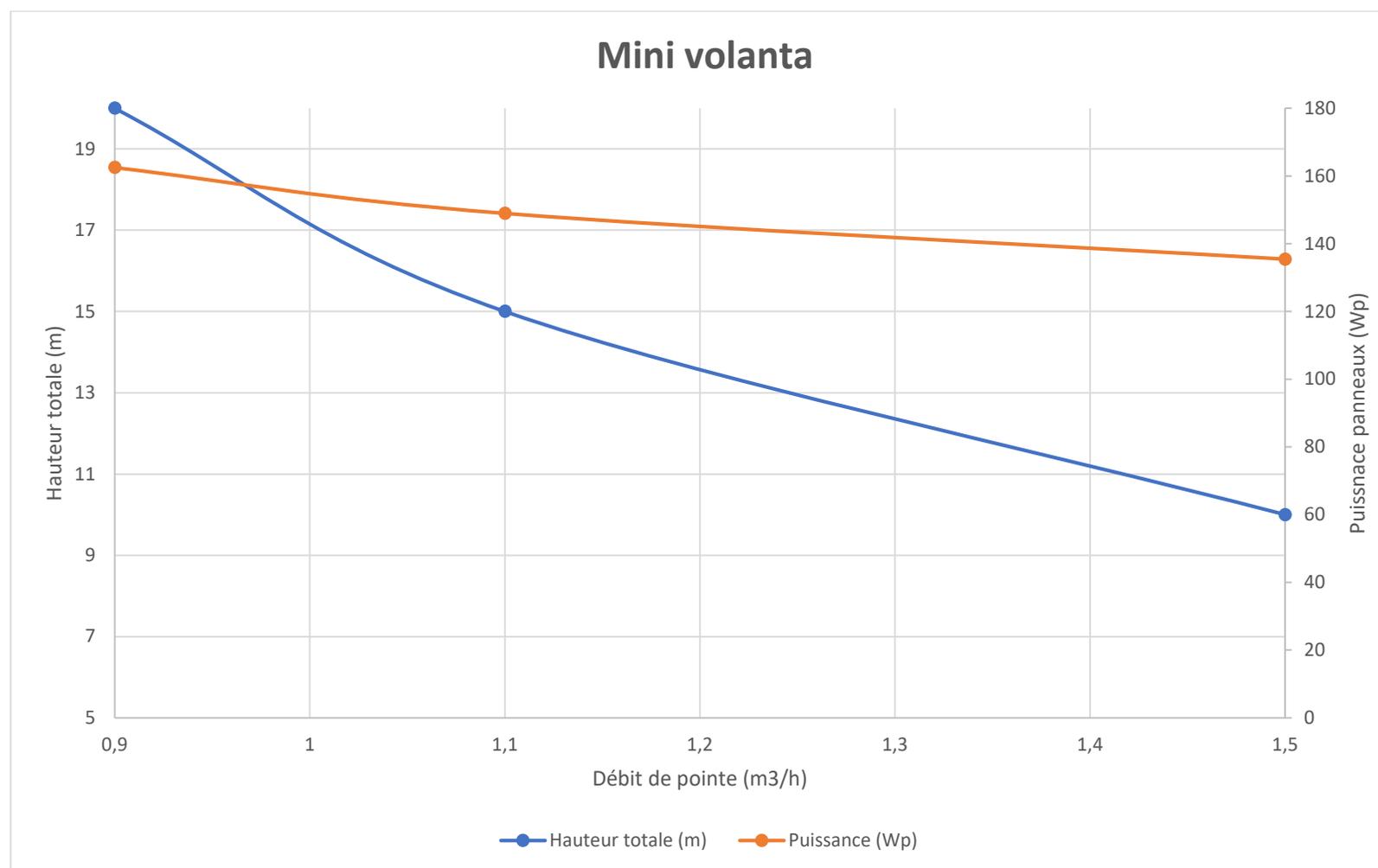
Source Global Good - <http://www.intellectualventures.com/globalgood>



Source Global Good - <http://www.intellectualventures.com/globalgood>



Source Practica Foundation - <https://www.practica.org/>



Source Practica Foundation - <https://www.practica.org/>

Annexe 3 Caractéristiques des systèmes de pompage solaire testés

Marque	Diful	Solartech	Mini volenta	Sunculture
Modèle	3DPC3-25-24-200	SPM 600H		RainMaker - SP300
Type de pompe	Centrifuge	Rotor hélicoïdal	Piston	Diaphragme
Puissance (kW)	0,20	0,60	0,15	0,07
Paramètres de dimensionnement pompe				
Débit de pointe théorique (m ³ /h)	2,5	2	1,1	0,71
Volume max théorique (m ³ /jour)	17	16	9	6
HMT théorique (m)	15	15	15	15
Superficie irrigable théorique (m ² /jour)	2800	2600	1500	1000
Paramètres pompe mesurés				
Débit de pointe mesuré (m ³ /h)	2,8	2,6	1,5	1,0
Volume moyen mesuré (m ³ /jour)	15,6	15,8	7,8	5,1
Pression de pointe mesurée	4,1	5,5	3,8	1,5
Niveau dynamique	10,3	11,5	11,7	10,8
HMT de pointe calculée (m)	14,4	17	15,5	12,3
Superficie irriguée mesurée (m ² /jour)	2150	2515	1350	630
Superficie irriguée mesurée (m ²)	3050	3000	1710	900
Paramètres de calcul générateur solaire				
Puissance hyd. max (W)	104	83	46	30
Efficience	0,23	0,28	0,40	0,30
Puissance entrée moteur (W)	453	298	115	99
Puissance panneau réelle (Wp)	589	387	149	128
Puissance unitaire panneau (Wp)	100	100	150	100
Nombre de panneaux installés	6	6	2	2
Puissance installée (Wp)	600	600	300	200
Branchement panneaux	série	série	parallèle	série
Orientation des panneaux	non	non	oui (manuel)	non
MPPT dispositif de régulation	oui	oui	non (commutateur manuel)	oui
Arrêt automatique (manque d'eau)	non	oui	non	non

Annexe 4 Synthèse des mesures réalisées sur le terrain

		Difful	Solartech	Mini volanta	Sunculture
Niveau dynamique (m)		10,3	11,5	11,7	10,8
HMT temps clair (m)		14,4	15,5	15,2	12,3
Débit de pointe à 13h (m3/h)	Ciel clair	2,8	2,6	1,5	1
	Ciel nuageux	1,2	1,9	0,84	0,4
Variation débit (f) ensoleillement (%)		57%	27%	44%	60%
Pression de pointe à 13h (m)	Ciel clair	4,1	5,5	3,8	1,5
	Ciel nuageux	2,8	3	1	0,3
Variation pression (f) ensoleillement (%)		32%	45%	74%	80%
Volume mini (m3/jour)		11	13	8	3,5
Volume maxi (m3/jour)		18	17	10	7
Volume moyen (m3/jour)		15,6	15,8	7,8	5,1
Volume théorique dimensionnement (m3/jour)		17	16	9	6
Ecart vol théorique et vol mini (%)		35%	19%	11%	42%
Début pompage		8h18 à 8h30	7h55 à 8h20	7h36 à 8h10	8h55 à 9h20
Arrêt pompage		17h55 à 18h14	18h10 à 18h25	18h15 à 19h10	17h31 à 18h25
Durée moyenne de pompage (h)		9,3	10,2	10,8	8,8
Démarrage de la pompe		7h10 à 7h31	7h50 à 8h12	7h36 à 8h10	
Arrêt de la pompe		18h30 à 19h07	18h05 à 18h14	18h15 à 19h10	
Durée moyenne de fonctionnement (h)		11,4	10,2	10,8	
Nombre d'incidents survenus : pompe ou générateur solaire	Faible	1	2		
	Modéré				3
	Fort			3	2

Annexe 5 Exemple de tableau de collecte de données techniques

Date mesures		25/062018			
Temps (h)	Débit (m3/h)	Pression (m)	Application	Surface (m ²)	Luminosité
6	0	0			
7	0	0			
8,5	0,34	1	Bassin	50	peu nuageux
9	1,64	2,2	Bassin	70	claire
10	1,71	2,4	Bassin	180	claire
11	2,25	3,4	Bassin	170	claire
12	2,57	4,1	Bassin	200	claire
13	2,57	4,1	Goutte à Goutte	1000	claire
14	2,57	4,2	Bassin		claire
15	2,25	2,8	Goutte à Goutte	250	claire
16	1,89	2,5	Bassin		claire
17	1,33	1,7	Bassin		claire
17,9	0,34	0,8	Bassin		claire
18	0	0			
Volume de pompage (m3/jour)		18			
Index compteur		439			
Méthode	Superficie irriguée (m ²)	Durée irrigation (h)	Main d'œuvre	Fréquence irrigation	Plage irrigation
Bassin + arrosoir	670	3	1	2	8h - 12h
Goutte à goutte	1250	2	1	1	12h-13h/14h-15h

Annexe 6 Coût détaillé des aménagements (situation finale)

Producteur 4				
Pompe	Difful 3DPC3-25-24-200			
Système d'irrigation	Goutte à goutte & Bassins-arrosoirs			
Superficie goutte à goutte	1400m ²			
Superficie bassin-arrosoir	1500m ²			
	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant
Captage d'eau				300 000
forage de 17m	Unité	1	300 000	300 000
Système d'exhaure				730 727
Pompe solaire	Unité	1	261 727	261 727
Tuyaux d'exhaure PE32	ml	15	400	6 000
Tête forage et accessoire	Unité	1	20 000	20 000
Câblage électrique	ml	20	400	8 000
Panneaux solaires (100w)	Unité	6	60 000	360 000
Support et béton d'ancrage	Unité	3	25000	75 000
Bassins interconnectés				113 900
Bassin (1,88m3)	Unité	4	22 000	88 000
Tuyaux PVC 50 (6m)	Unité	8	2 500	20 000
Tuyaux PE32	ml	6	400	2 400
Vanne Sectionnement 32	Unité	1	3 500	3 500
Réseau goutte à goutte				407 400
Kit Netafim 500m ²	Unité	3	135 000	405 000
Tuyau raccordement PE 32	ml	6	400	2 400
Transport et Main d'œuvre				180 000
Transport matériel	ff	1	15 000	15 000
Installation exhaure	ff	1	75 000	75 000
Installation irrigation	kit	3	30 000	90 000
TOTAL Investissement				1 732 027

Producteur 5

Pompe	Mini volanta
Système d'irrigation	Mini pivot & bassins-arrosoirs
Superficie Mini-pivot	1350m ²
Superficie bassin-arrosoir	360m ²

	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant
Captage d'eau				260 000
Forage de 17m	Unité	1	260 000	260 000
Système d'exhaure				910 649
Pompe mini volanta	Unité	1	715 649	715 649
Tuyaux d'exhaure	ml	1	0	0
Tête forage (bloc béton)	Unité	1	15 000	15 000
Câblage électrique	ml	1	0	0
Panneaux solaires (150w)	Unité	2	75 000	150 000
Support pivotant et ancrage	Unité	1	30 000	30 000
Bassins interconnectés				87 500
Bassin (1,88m3)	Unité	3	22 000	66 000
Tuyaux PVC 50 (6m)	Unité	5	2500	12 500
Tuyaux PVC 40 (6m)	Unité	6	1500	9 000
Réseau Mini pivot				280 000
Kit mini pivot 10m	Unité	1	200 000	200 000
Raccord souple 32	ml	100	800	80 000
Transport et Main d'œuvre				120 000
Transport matériel	ff	1	15 000	15 000
Installation exhaure	ff	1	75 000	75 000
Installation irrigation	kit	1	30 000	30 000
TOTAL Investissement				1 658 149

Producteur 6

Pompe	Sunculture SP-300 remplacée par :Difull, 3FLD2-22-24-180
Système d'irrigation	Tuyaux souples & Bassins-arrosoirs
Superficie souple	abandonnée au profit du manuel
Superficie bassin-arrosoir	960m ²

	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant
Captage d'eau				300 000
Forage de 17m	Unité	1	200 000	300 000
Système d'exhaure				856 997
Pompe solaire	Unité	1	532 997	532 997
Tuyaux d'exhaure PE32	ml	15	400	6 000
Tête forage et accessoire	Unité	1	20 000	20 000
Câblage électrique	ml	20	400	8 000
Panneaux solaires (100w)	Unité	4	60 000	240 000
Support et béton d'ancrage	Unité	2	25000	50 000
Bassins interconnectés				99 300
Bassin (1,65m3)	Unité	4	22 000	88 000
Tuyaux PVC 40 (6m)	Unité	4	2000	8 000
Tuyaux PE25	ml	5	300	1 500
Vanne 1/4 de tour 25 mm	Unité	1	1 800	1 800
Réseau de tuyaux souple				
Tuyaux souple 25 mm	ml	50	500	
Vanne de distribution	Unité	1	2 000	
Pomme d'arrosoir	Unité	1	1 500	
Transport et Main d'œuvre				75 000
Transport matériel	ff	1	15 000	15 000
Installation exhaure	ff	1	60 000	60 000
Installation irrigation	ff	1	15 000	
TOTAL Investissement				1 331 297

Producteur 7

Pompe	SolarTech: SPM600
Système d'irrigation	Bande aspersion & Bassins-arrosoirs
Superficie bande aspersion	2040m ²
Superficie bassin-arrosoir	960m ²

	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant
Captage d'eau				300 000
Forage de 17m	Unité	1	200 000	300 000
Système d'exhaure				1 042 378
Pompe solaire	Unité	1	573 378	573 378
Tuyaux d'exhaure PE32	ml	15	400	6 000
Tête forage et accessoire	Unité	1	20 000	20 000
Câblage électrique	ml	20	400	8 000
Panneaux solaires (100w)	Unité	6	60 000	360 000
Support et béton d'ancrage	Unité	3	25000	75 000
Bassins interconnectés				94 300
Bassin (1,88m3)	Unité	3	22 000	66 000
Tuyaux PVC 50 (6m)	Unité	8	2500	20 000
Tuyaux PE32	ml	12	400	4 800
Vanne 1/4 de tour 32	Unité	1	3500	3 500
Réseau Bande aspersion				324 300
Bande aspersion 32mm (R 100m)	Unité	8	25 000	200 000
Tuyaux PVC 32 (6m)	Unité	14	1500	21 000
Tuyaux PVC 40 (6m)	ml	4	2000	8 000
Vanne PVC 32	Unité	34	2300	78 200
Té PVC 32	Unité	32	300	9 600
Coude PVC 32	Unité	4	250	1 000
Colle PVC	Kg	1	6500	6 500
Transport et Main d'œuvre				120 000
Transport matériel	ff	1	15000	15 000
Installation exhaure	ff	1	75 000	75 000
Installation irrigation	ff	1	30 000	30 000
TOTAL Investissement				1 880 978

Annexe 7 Suivi détaillé de l'évolution des solutions solaires testées

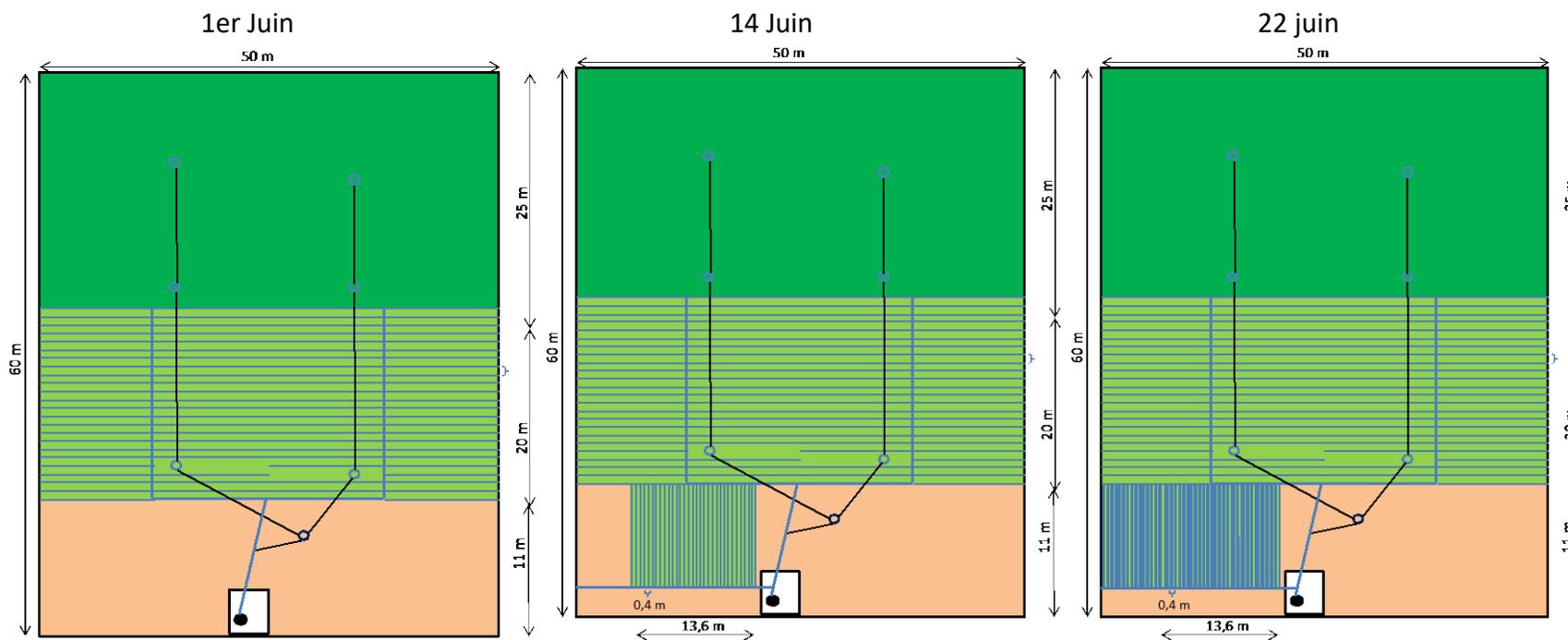
Producteur 4					
Date modification	01/06/2018	13/06/2018	22/06/2018	25/06/2018	final
Forage (tarière & soupape)					
Niveau statique (m)	9,53				9,5
Profondeur forage (m)	16				16
Niveau Dynamique (m)	10,3				10,3
Pompe Difful					
Puissance panneaux (Wp)	600				600
Profondeur installation pompe (m)	14				14
Stockage					
Nombre de bassins	6				4
Volume total (m3)	11,3				7,52
Volume unitaire (m3)	1,88				1,88
Dimension bassin					
Diamètre (m)	2				2
Hauteur (m)	0,6				0,6
Transport de l'eau					
Longueur PVC hors sol (m)	36				36
Diamètre PVC (mm)	50				50
Goutte à goutte					
Longueur primaire (m)	20	20	15	10	65
Diamètre (mm)	25	25	25	25	25
Longueur latéraux (m)	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
Diamètre latéraux (mm)	8	8	8	8	8
Écartement latéraux (m)	0,8	0,8	0,4	1	0,8
Nombre de latéraux	86	121	142	152	140

Producteur 5			
Date modification	01/06/2018	22/06/2018	final
Forage (tarière & soupape)			
Niveau statique (m)	11		11
Profondeur forage (m)	17		17
Niveau Dynamique (m)	11,65		11,65
Pompe Mini volanta			
Puissance panneaux (Wp)	200	300	300
Profondeur installation pompe (m)	15		15
Stockage (réservoir en ciment)			
Nombre de bassins utilisés	4		3
Volume total (m3)	5,6		5,64
Volume unitaire (m3)	1,88		1,88
Dimension bassin			
Diamètre (m)	2		2
Hauteur (m)	0,6		0,6
Transport de l'eau			
Longueur PVC hors sol (m)	30	36	66
Diamètre PVC (mm)	50 / 40		50 / 40
Longueur PVC enterré (m)			
Diamètre PVC (mm)			
Longueur tuyau souple (m)	50		50
Diamètre tuyau souple (mm)	32		32
Mini pivot			
Portée arrosage (m)	10	10	10
Surface par arrosage (m ²)	120	78,5	100
Q arrosage (m3/h)	1	1,5	1,2

Producteur 6			
Date modification	01/06/2018	02/08/2018	final
Forage (Tarière & Soupape)			
Niveau statique (m)	10		10
Profondeur forage (m)	17		17
Niveau Dynamique (m)	10,83		10,83
Pompe Sunculture	Sunculture	Pompe Difful	
Puissance panneaux (Wp)	200	200	400
Profondeur installation pompe (m)	14,5	14,5	14,5
Stockage			
Nombre de bassins	3		4
Volume total (m3)	4,5		6
Volume unitaire (m3)	1,5		1,5
Dimension bassin			
Diamètre (m)	1,8		1,8
Hauteur (m)	0,6		0,6
Transport de l'eau			
Longueur PVC hors sol (m)	24		24
Diamètre PVC (mm)	40		40
Longueur tuyau souple (m)	50		50
Diamètre tuyau souple (mm)	25		25

Producteur 7			
Date modification	01/06/2018	21/06/2018	final
Forage (tarière & soupape)			
Niveau statique (m)	10,5		10,5
Profondeur forage (m)	16		16
Niveau Dynamique (m)	11,5		11,5
Pompe Solar Tech			
Puissance panneaux (Wp)	600		600
Profondeur installation pompe (m)	14		14
Stockage			
Nombre de bassins	3	4	3
Volume total (m3)	5,64		5,64
Volume unitaire (m3)	1,88		1,88
Dimension bassin			
Diamètre (m)	2		2
Hauteur (m)	0,6		0,6
Transport de l'eau			
Longueur PVC hors sol (m)	48		72
Diamètre PVC (mm)	50		50/40
Gaine aspersion			
Longueur primaire (m)	40	40	80
Diamètre (mm)	32	32	32
Longueur latéraux (m)	50	50	25
Diamètre latéraux (mm)	32	32	32
Écartement latéraux (m)	2,4	2,4	2,4
Nombre de latéraux	15	17	34

Annexe 8 Schémas de l'évolution des solutions solaires testées

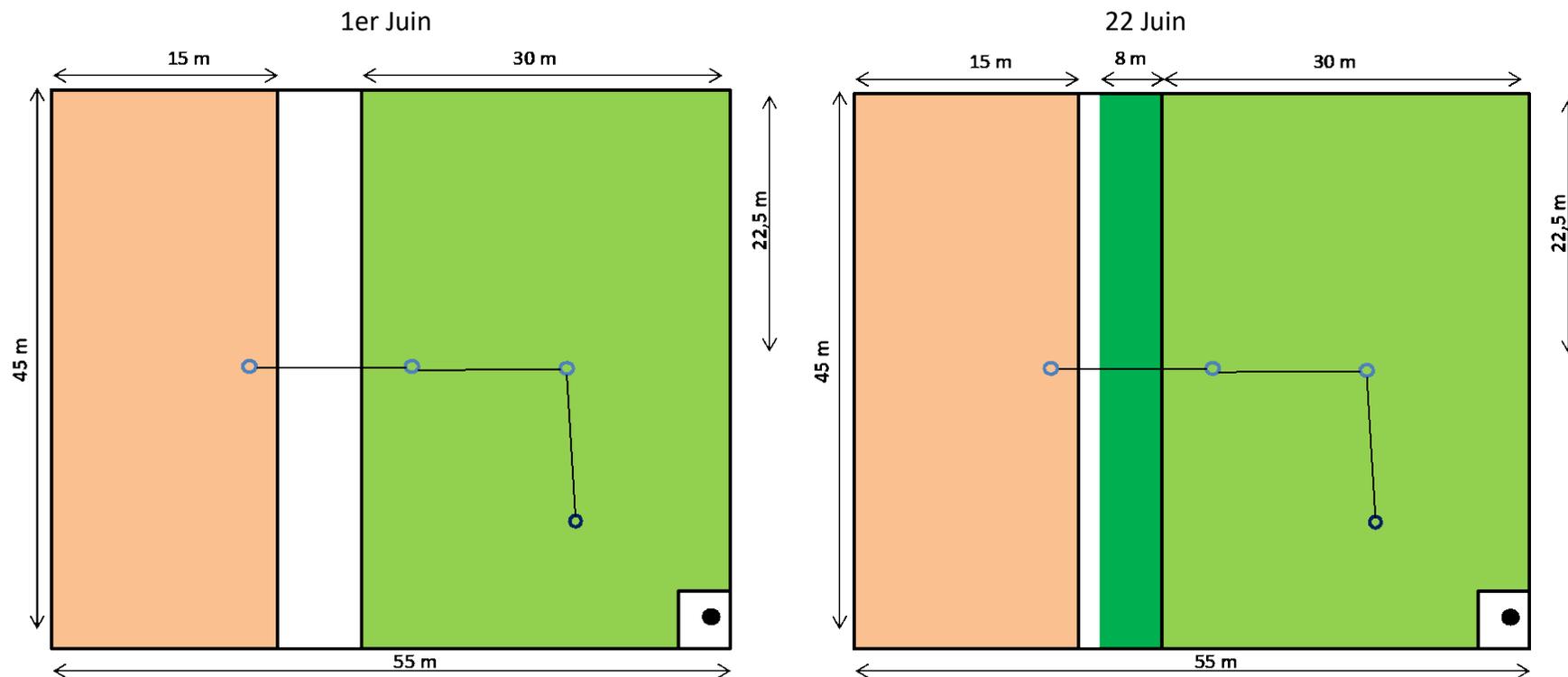
**Producteur 4**

- Tuyaux G@G
- Tuyaux bassins
- Bassin principal
- Bassins secondaires
- Forage
- Reste à aménager
- Arrosoir
- Goutte à goutte

Pompe Difful & goutte à goutte

Modifications

- Augmentation de la superficie irriguée au goutte à goutte
- Adaptation de l'écartement des goutteurs en raison des culture pratiquées



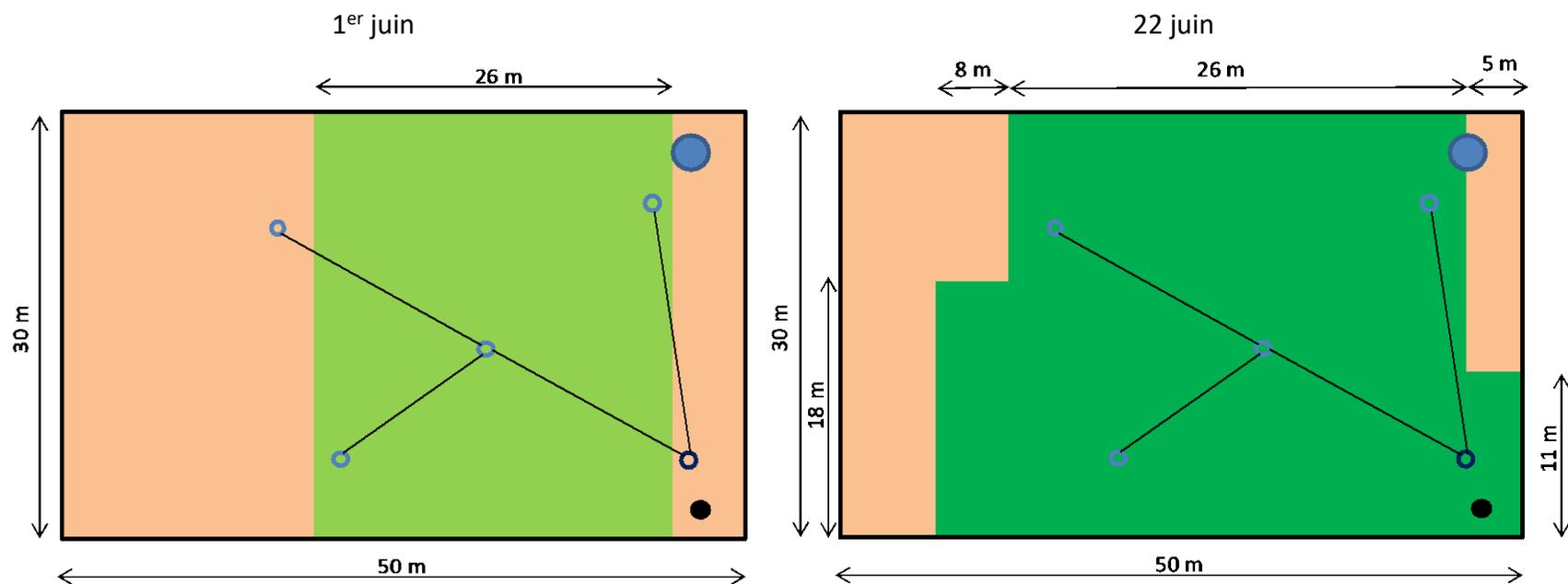
Producteur 5

- Tuyaux bassins
- Bassin principal
- Bassins secondaires
- Forage
- Non aménagé
- Reste à aménager
- Mini pivot
- Arrosoir

Modifications

- Augmentation de la superficie irriguée à l'arrosoir

Mini volanta & mini pivot



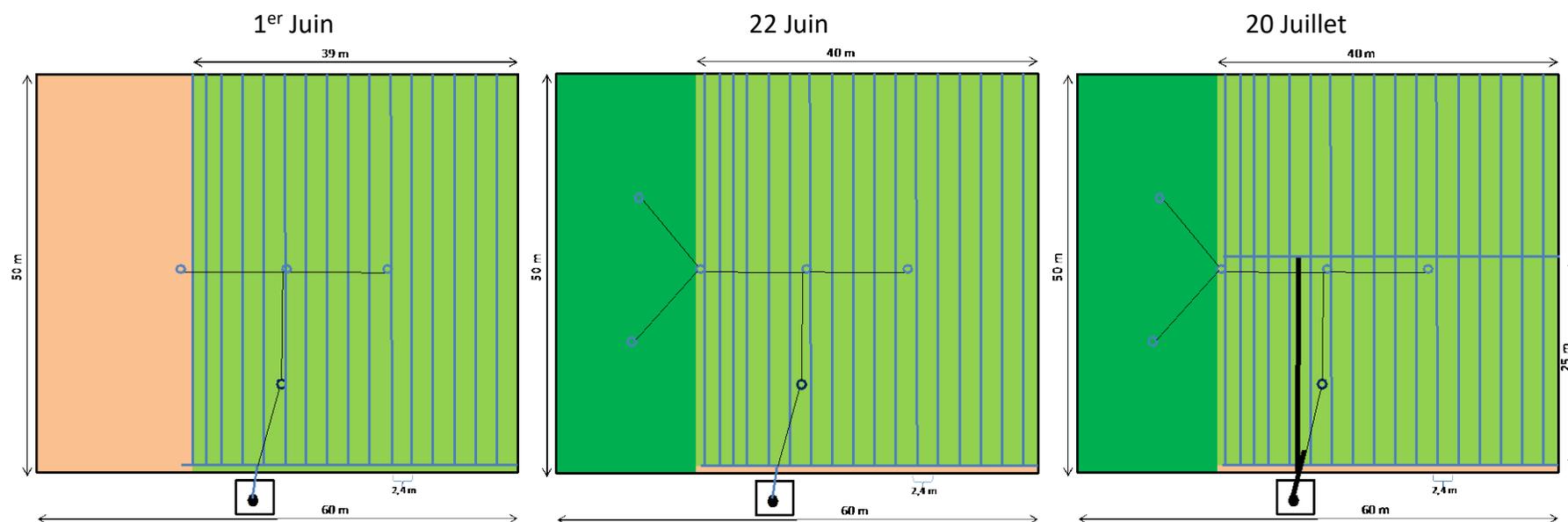
Producteur 6

- Tuyaux bassins
- Bassin principal
- Bassins secondaires
- Forage
- Puits
- Non aménagé
- Tuyau souple
- Arrosoir

Sunculture & tuyau souple

Modifications

- Abandon du tuyau souple pour une irrigation exclusive à l'arrosoir à partir des bassins



Producteur 7

- Tuyaux bassins
- Bassin principal
- Bassins secondaires
- Forage
- Tuyaux principaux
- Arrosoirs et seaux
- Bande d'aspersion
- Non aménagé

Solartech & bande d'aspersion

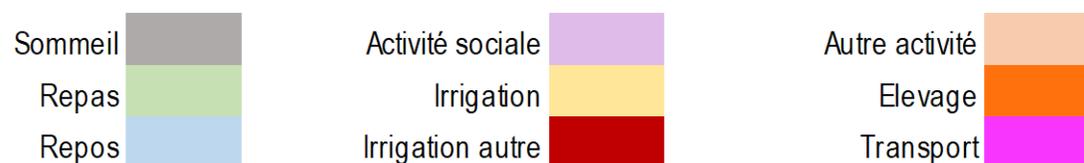
Modifications

- Augmentation du nombre de bassins pour l'irrigation à l'arrosoir
- Diminution de la longueur des bandes d'aspersion de 50 à 25 m

Annexe 9 Chronogramme journalier d'activités avant et après installation

Avant installation																									
Durée 24h	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	
P4	Grey	Purple	Orange	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Blue	Orange	Purple	Yellow	Yellow	Yellow	Orange	Purple	Purple	Purple	Green	Grey	Grey	Grey	Grey	Grey
P5	Purple	Grey	Green	Orange	Yellow	Yellow	Blue	Yellow	Yellow	Blue	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Purple	Purple	Purple	Purple	Green	Grey	Grey	Grey	Grey	Grey	
P6	Grey	Purple	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Blue	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Purple	Blue	Green	Grey	Grey	Grey	Grey	Grey	Grey	
P7	Purple	Purple	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Blue	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Purple	Green	Purple	Grey	Grey	Grey	Grey	Grey	

Après installation																									
Durée 24h	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	
P4 Difful & goutte à goutte	Grey	Purple	Orange	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Purple	Purple	Purple	Green	Grey	Grey	Grey	Grey	Grey	
P5 Mini volanta & mini pivot	Purple	Grey	Green	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Blue	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Purple	Purple	Purple	Green	Grey	Grey	Grey	Grey	Grey	
P6 Sunculture & tuyau	changement de personne en charge de l'irrigation																								
P7 Solartech & bande aspersion	Purple	Purple	Green	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Purple	Green	Purple	Grey	Grey	Grey	Grey	Grey							



Annexe 10 Questionnaire sur la perception du pompage solaire avant et après démonstration

Nom
Numéro de téléphone
Est-ce que la production maraichère irriguée est votre principale activité ?
oui
non
Quelle est votre superficie maraichère irriguée ?
< à 0,5 ha
entre 0,5 et 1 ha
> à 1ha
Quelle est votre capacité d'investissement pour une pompe solaire ?
100 000 à 300 000 FCFA
300 000 à 500 000 FCFA
500 000 à 750 000 FCFA
750 000 FCFA à 1 million
> 1 million
Pourquoi êtes-vous venu à cette démonstration ?
par ce que je suis invité
par ce que je suis curieux
je ne suis pas intéressé mais je suis venu
je souhaite investir dans l'amélioration de l'irrigation
Diriez-vous que vous êtes ...
un petit producteur
un gros producteur
un homme d'affaire

Avant démonstration	
Date de l'enquête :	
1	Connaissez-vous les pompes solaire (PS) ?
	Oui
	Non
2	Si oui, comment ?
	de bouche à oreille
	vu chez un producteur
	vu chez un particulier ou AEP
	vu chez un commerçant
	je l'utilise
3	Quel est votre opinion sur les PS ?
	Bonne
	Mitigée
	Mauvaise
	Je ne sais pas
4	Une (PS) peut-elle remplacer une motopompe (GMP) dans votre jardin ?
	Oui
	Non
	Je ne sais pas
5	Est-ce qu'une PS est plus puissante qu'une GMP ?
	Oui
	Non
	Je ne sais pas
6	Si oui préciser :
	Pompe l'eau plus profondément
	Donne plus d'eau
	Pression plus élevée
7	Si on compare une PS à une GMP peut on dire ...
	elle tombe moins souvent en panne
	c'est facile à réparer
	la durée de vie est plus longue
	Je ne sais pas

8	Une PS produit de l'eau...
	toute la journée la même quantité
	de façon continue mais la quantité varie
	avec un débit élevé, le soleil au zénith
	dès 7 h le matin
	jusqu'à 18 h
	Je ne sais pas
9	Avec une PS il faut obligatoirement stocker l'eau ...
	dans un réservoir en hauteur
	dans des bassins au sol
	Pas besoin de stocker l'eau ou pas obligatoire
	Je ne sais pas
10	Avec une PS il faut ...
	changer sa façon d'arroser
	investir dans du matériel moderne et coûteux
	faire des adaptations peu coûteuses
	ne rien changer
11	Une PS ...
	Ce n'est pas pour moi mon car mon jardin est trop petit
	Ce n'est pas pour les petits producteurs
	C'est trop compliqué à utiliser
	C'est bon pour moi
	Pas d'opinion
12	Pourriez-vous dire d'une PS quelle permet ?
	de faire des économies de carburant
	de passer moins de temps à arroser
	d'économiser de l'eau
	d'employer moins de main d'œuvre
	Pas d'opinion

13	Le pompage solaire c'est bien ...
	on pollue moins
	mais je ne peux pas arroser quand je veux
	car je gagne plus d'argent en fin de saison
	cela limite la baisse du niveau de l'eau de l'aquifère
	car je peux irriguer mes parcelles ou l'eau est trop profonde
	je ne sais pas
14	Le pompage solaire dans mon entourage...
	je le recommande à tout le monde
	je le déconseille
	on en parle
	je partage mon expérience
	je n'en parle pas
15	Le pompage solaire est coûteux....
	à l'investissement de départ
	au fonctionnement
	à la maintenance

Après démonstration	
Date de l'enquête :	
3	Quel est votre opinion sur les solutions de PS ?
	Bonne
	Mitigée
	Mauvaise
	Je ne sais pas
4	Est-ce que les solutions solaires présentées peuvent remplacer une motopompe (GMP) dans votre jardin ?
	Oui
	Non
	Je ne sais pas
5	Est-ce qu'une PS est plus puissante qu'une GMP ?
	Oui
	Non
	Je ne sais pas

6	Si oui préciser :
	Pompe l'eau plus profondément
	Donne plus d'eau
	Pression plus élevée
7	Si on compare une PS à une GMP peut on dire ...
	elle tombe moins souvent en panne
	c'est facile à réparer
	la durée de vie est plus longue
	Je ne sais pas
8	Une PS produit de l'eau...
	toute la journée la même quantité
	de façon continue mais la quantité varie
	avec un débit élevé, le soleil au zénith
	dès 7 h le matin
	jusqu'à 18 h
	Je ne sais pas
9	Avec une PS il faut obligatoirement stocker l'eau ...
	dans un réservoir en hauteur
	dans des bassins au sol
	Pas besoin de stocker l'eau ou pas obligatoire
	Je ne sais pas
10	Avec une PS il faut ...
	changer sa façon d'arroser
	investir dans du matériel moderne et coûteux
	faire des adaptations peu coûteuses
	ne rien changer
11	Une PS ...
	Ce n'est pas pour moi mon car mon jardin est trop petit
	Ce n'est pas pour les petits producteurs
	C'est trop compliqué à utiliser
	C'est bon pour moi
	Pas d'opinion

12	Pourriez-vous dire d'une PS quelle permet ?
	de faire des économies de carburant
	de passer moins de temps à arroser
	d'économiser de l'eau
	d'employer moins de main d'œuvre
	Pas d'opinion
13	Le pompage solaire c'est bien ...
	on pollue moins
	mais je ne peux pas arroser quand je veux
	car je gagne plus d'argent en fin de saison
	cela limite la baisse du niveau de l'eau de l'aquifère
	car je peux irriguer mes parcelles ou l'eau est trop profonde
	je ne sais pas
14	Le pompage solaire dans mon entourage...
	je le recommande à tout le monde
	je le déconseille
	on en parle
	je partage mon expérience
	je n'en parle pas
15	Le pompage solaire est coûteux....
	à l'investissement de départ
	au fonctionnement
	à la maintenance
16	Etes vous intéressé par les solutions solaires présentées ?
	oui
	non
	le solaire m'intéresse mais pas les solutions présentées
17	Combien êtes-vous prêt à investir pour les solutions solaires présentées ?
	100 000 à 300 000 FCFA
	300 000 à 500 000 FCFA
	500 000 à 750 000 FCFA
	750 000 FCFA à 1 million
	> 1 million

Annexe 11 Fiche technique forage manuel à la tarière

Forage manuel à la tarière	
Nom local	Forage manuel
Nom et contact artisan	Ndiaré Diouf tel 781241086 / Moussa Ba tel 774136859
Origine de la technologie	Locale
But	Pompage de l'eau souterraine pour l'irrigation
Principe	Réalisation de forage avec des techniques manuelles à l'aide de tarière conique, tarière de mise en eau et pré cuvelage métallique
Équipements	Matériel de suspension (h=1,8m base 1m x 1m), Poteau palan trépied (H4m, D 90mm); Centreur sup (D0,5m, L1m); Buse pré cuvelage en acier (D270-300mm, L=18m) Tarière conique (L0,5m, D300); Tarière à soupape (L0,8-1,2m, D150-180mm), poulie à chaîne, Corde (L25m, D12mm); Rallonge tarière (L20m, S25x25), Matériel développement (pompe et générateur)
Matériaux	Tuyau PVC (D160/200, L6m), vis, graisse, gravier, outillage divers, colle, ciment etc...
Consommables	Carburant pour la motopompe 2 litres, eau 2000 à 3000 litres
Nombre d'intervenants	4 à 6 personnes
Durées de mise en œuvre	1,5 à 2 jours en moyenne développement compris
Crépine	Fentes à la scie épaisseur de 1 à 1,5mm
Profondeur	12 à 18 m
Débits attendus	2 à 4 m ³ /h
Faisabilité	Formation (alluvion et argile tendre), profondeur max de l'aquifère 12 m
Coût forage	200 000 à 300 000 FCFA (345 à 517 USD)
Durée de vie	10 ans voir plus



Annexe 12 Fiche technique pointe filtrante

Pointe filtrante	
Nom local	SAMPE
Nom et contact artisan	Djibril Gadiaga 768718479
Origine du produit	Locale
But	Introduire au fond d'un puit un tuyau crépiné pour améliorer la productivité de l'ouvrage
Principe	Un canne d'injection alimentée par une motopompe permet sous pression de faire pénétrer le tuyau crépiné dans le sol
Équipements	Motopompe 2", tuyaux PVC 50 mm; pointe en acier 10 mm et 20 mm, tarière à soupape, corde, portique, poulie
Matériel et matériaux	Tuyau PVC (D160/200, L3-6m), moustiquaire 5-8 m ² , lanière en caoutchouc
Consommables	Carburant 2 litres, eau 2000 à 3000 litres
Main d'œuvre	2 à 3 personnes
Temps de réalisation	2h à 4h selon la longueur de la pointe et les contraintes d'installation
Crépine	Trous avec une pointe de 20 mm chauffées, espacement 10 cm
Filtration	Moustiquaire autour du tuyau crépiné
Avant trou	Réalisé à la tarière de mise en eau sur 1 à 2 m
Opération	Jetting avec PVC 50 mm à l'intérieur de la pointe filtrante
Résultats attendus	Amélioration de la productivité du puits de 20 à 30 %
Contraintes de mise en œuvre	Dureté des couches à pénétrer, alimentation en eau du chantier
Coût	10 000 à 15 000 FCFA/mètre (17 à 26 USD), matériel et main d'œuvre compris, crépine de diamètre 200 mm
Durée de vie	3 à 5 ans



Annexe 13 Fiche technique goutte à goutte

Goutte à goutte	
Nom local	Goutte à goutte
Origine du produit	NETAFIM / Israël
Principe	Le goutte à goutte consiste à distribuer l'eau par un réseau de canalisations sous faible pression, apportant l'eau à un voisinage immédiat des plantes cultivées
Composition	Microdrip 8 2.0L/H 0.30m 600m; PE Irrigation pipe 25/4 25M FDS; Filtre à tamis Talvit 1"*1" 130 Microns; Vanne plastique 1" FF; Connecteurs 8 mm M & F; Raccord démontage du kit
Fournisseurs	Des systèmes et de l'eau
Pression	2 m
Débit	0,9 m ³ /h
Diamètre	8 mm
Longueur	600 m
Couverture	500 m ²
Surface irriguée	500 m ²
Durée d'irrigation	1h à 1h30
Prix	130 000 FCFA pour 500m ² (224 USD)
Espacement perforations	80 cm
Durée de vie	3 à 5 ans



Annexe 14 Fiche technique mini pivot

Mini pivot	
Nom local	Mini pivot
Introduction	2018 par le projet pilote
Origine du produit	Burkina Faso
Principe	L'eau sous pression fait tourner une rampe perforée connectée à un plot central
Fournisseurs	Centre Sainte Famille, Burkina Faso.
Pression	2 m
Débit	Entre 0,5 et 2 m ³ /hr
Diamètre	Diamètre de la rampe 18 et 12mm
Longueur	Longueur de la rampe 12 m (rayon 6 m)
Portée	12 m de diamètre
Surface irriguée	120 m ² pour un arrosage. 1000 m ² en déplaçant le pivot à 10 reprises
Durée d'irrigation	15 a 60 minutes par cycle, selon les conditions climatiques, le sol et la préférence du producteur.
Prix	Mini pivot 40 000 à 55 000 FCFA (68 à 95 USD). Pour 2000 m ² environ 135 000 FCFA (233 USD) tuyau enterrés y compris
Diamètre des perforations	1 mm
Nombre de trous alignés	120 sur la rampe
Durée de vie	Estimée à 10 ans au moins



Annexe 15 Fiche technique bassin circulaire

Réservoirs interconnectés + arrosoirs	
Nom local	Bassins
Principe	Stockage de l'eau dans des buses en ciment interconnectées à partir desquelles se fait l'irrigation à l'arrosoir. Le nombre de bassin dépend de la superficie à irriguer.
Équipements	Pelles, truelles, seaux, ruban,
Matériel et matériaux	3 sacs de ciment, 2 barres fer de fer rond diamètre 6 mm, 6 brouettes de sable
Durée de construction	4 bassins par jour + 1 jour une semaine après pour la pose et les finitions
Dimensions	Diamètre 2000 x 60
Volume	1,9 m ³
Surface irriguée par bassin	200 à 300 m ²
Durée d'irrigation	45 à 60 min
Fabricants	Local
Prix	22 400 FCFA (39 USD) matériel + installation + pose + raccordement
Durée de vie	Entre 5 et 10 ans



Annexe 16 Fiche technique tuyau souple

Tuyau souple	
Nom local	Lance
Principe	Un tuyau souple est connecté directement à la pompe pour l'arrosage directe par aspersion des cultures
Fournisseur	Local
Pression	3 à 5 m à la sortie du tuyau d'arrosage
Débit	1 à 2 m ³ /h
Diamètre	25 à 32 mm
Longueur	50 m
Surface irriguée	800 à 1000m ² par jour
Durée d'irrigation	150 à 200m ² pour 1 heure
Prix	30 000 FCFA(52 USD) pour 50 m de tuyau 32 mm
Durée de vie	2 à 3 ans



Annexe 17 Fiche technique bande d'aspersion

Gaine d'aspersion	
Nom local	Bande d'aspersion
Introduction	2018 par le projet pilote
Origine du produit	TAIWAN - Shuen Yue Industrial sous la marque San Fu
Principe	Bande PE perforées déroulée sur le sol entre les rangée de cultures Aspersion d'eau créant une pluie fine d'une portée variable
Composition	1 vanne pour 1 bande de 25 m ou 50 m, réseau 1aire PVC 32 mm
Fournisseurs	Agrimodern (Burkina Faso)
Pression	3 à 4 m
Débit	estimation 1 m ³ /h pour 25 m
Diamètre	32 mm
Longueur	rouleau 100 m
Portée	2 à 3 m
Écartement	2 m à 2,5 m
Couverture	40 bandes par hectare
Surface irriguée	100 m ² à 150 m ² pour 50 m
Durée d'irrigation	15 à 20 min avec 1 bandes de 50 m
Prix	20 000 FCFA (34 USD) rouleau de 100 m
Diamètre des perforations	0,4 à 1 mm
Nombre de trous alignés	3
Durée de vie	2 à 5 ans - déconseillé si présence de rongeurs



Annexe 18 Protocole d'accord entre l'AUMN et les producteurs pilotes

Entre :

L'Association des Unions Maraichères des Niayes,
Inscrit au Registre du Commerce et du Crédit Mobilier sous le RCN SNTHS2005C2689 du 11 août 2005

Dont le siège est situé à Villa 79 Cité Malick Sy derrière le Lycée Malick à Thiès, SENEGAL

Adresse de correspondance : BP 1283 Thiès principale, téléphone 339523052

Représentée par Mohamed Dia, Président

Ci-après dénommée le « **AUMN** »,

L'AUMN est assisté par son partenaire technique **PRACTICA Foundation** dans la mise en œuvre des activités.

Et,

Mr Ngagne Gadiaga,

Producteur maraicher à Ngadiaga, Notto Gouye Diama

Contact téléphonique : 768718479

Ci-après dénommée le « **Producteur** »,

Il a été convenu et arrêté ce qui suit :

Article 1. : Objet de l'Accord

Le présent protocole d'accord a pour objet de fixer les modalités de mise en place d'un test d'irrigation solaire sur l'exploitation agricole du producteur

Article 2. : Description des équipements mis en place

Les aménagements et les équipements d'irrigation installés sur l'exploitation agricole du producteur sont les suivants :

- Réalisation d'un forage manuel
- Installation d'une pompe solaire
- Installation de matériels d'irrigation et/ou réalisation d'infrastructures pour le stockage de l'eau

Article 3. : Obligations de l'AUMN

- Assurer la formation du producteur à l'utilisation du matériel en démonstration sur son site.
- Réaliser l'installation des matériels et des infrastructures nécessaires sur une superficie maximale de 3000m²
- Modifier l'aménagement d'irrigation sur proposition et en concertation avec le producteur
- Prendre en charge l'entretien du matériel et la réparation des pannes autres que celles dues à une mauvaise utilisation du matériel ou des infrastructures
- Apporter au producteur un appui conseil sur l'aménagement parcellaire et la conduite des itinéraires culturaux
- Rétrocéder le matériel au producteur à la fin de la période de test selon les conditions définies dans le présent protocole
- Fournir les intrants pour la mise en valeur d'une superficie maraichère maximale de 3000 m²

Article 4. : Obligations du producteur

- Participer physiquement aux travaux pour la mise en place des équipements.

- Fournir la main d'œuvre requise pour la mise en valeur et l'irrigation d'une superficie maximale de 3000 m²
- Respecter les conditions d'utilisation des matériels testés
- Suivre les conseils apportés à la mise en valeur du jardin pilote et sur la conduite des cultures maraichères irriguées
- Donner son avis sur les matériels installés et proposer des modifications de l'aménagement sous la supervision de l'AUMN ou de ses représentants
- Assurer le gardiennage et la sécurité du matériel mis à sa disposition
- Autoriser l'accès de son jardin à toutes personnes intéressées par le test en cours, et à fournir les informations en sa possession
- Autoriser l'accès à son jardin au personnel de l'AUMN et à ses représentants à n'importe quel moment, qu'il soit présent ou non
- Autoriser l'organisation de visites de démonstration dans son jardin en sa présence

Article 5. : Durée du protocole

Le présent protocole entre en vigueur à la date de sa signature entre l'AUMN et le producteur, et il s'achève le 30 Septembre 2018

Article 6. : Conditions de rétrocession

Le forage et les bassins de stockage sont rétrocédés à titre gratuit au producteur sans conditions. Les modalités de rétrocession des équipements, pompe solaire et matériel d'irrigation, sont les suivantes :

- Le producteur peut acquérir à titre gratuit une partie ou la totalité des équipements. Les équipements non acquis par le producteur sont rétrocédés à l'AUMN.
- Si les obligations du producteur ne sont pas respectées l'AUMN peut récupérer la totalité des équipements installés.

Article 7. : Clauses spéciales

Pendant toute la durée du présent accord l'AUMN reste propriétaire des équipements.

L'AUMN se réserve le droit pendant la durée du présent protocole, de reprendre les équipements dans le cas où le producteur ne respecterait pas ses obligations.

Article 8. : Règlement des différends

Si des conflits devaient surgir de l'interprétation ou de l'application de cet accord, une résolution à l'amiable sera prioritairement recherchée, le recours à un ou plusieurs conciliateurs est possible.

Cet Accord de Partenariat est établi en français en deux (02) originaux, un (01) pour l'AUMN un (01) pour le producteur.

A Thiès le 30 Avril 2018
Pour l'AUMN
Mohamed Dia, Président

A Thiès le 30 Avril 2018
Pour le producteur
Mr Ngagne Gadiaga

Annexe 19 Termes de référence de l'étude « solutions de pompage solaire pour l'irrigation à des profondeurs intermédiaires pour les petits producteurs de la région des Niayes »

A. PROJECT BACKGROUND AND OBJECTIVES

Preamble

The activity that requires the services described in the present ToRs benefits from the financial assistance of a specific externally funded operation (EFO) centered on technical assistance, capacity building, and knowledge product development and dissemination under the umbrella of water security. The activity is carried out by Water in Agriculture Global Solution Group (WiA GSG) of the World Bank and must be fully completed by the end of November 2018.

Context

The agriculture sector is the single largest employer in the world, sustaining the livelihood of 40% of the population, many of whom live in poverty (United Nations, 2015). Increasing productivity in the agriculture sector is widely recognized as one of the most effective ways to fight poverty and stimulate socio-economic development.

In African drylands, irrigation is one of the most essential measures that can improve land productivity, reduce farmers' vulnerability, stabilize and increase their income, enhance food security and nutrition diversity, as well as create jobs by allowing multiple cropping practices, particularly during the dry season, when horticultural products can be grown and sold on the market. Besides, the land area under irrigation represents a marginal share of total cultivated area in sub-Saharan Africa, where only 5% of farmland is irrigated (International Water Management Institute, 2010) and where water scarcity is an impediment to economic growth and welfare.

Solar pumping is considered a very promising avenue to allow farmers to reduce production costs and therefore improve their lives. At present, let aside time-consuming hand-powered pumps, almost the total area irrigated from groundwater is pumped using affordable petrol surface pumps at a depth not exceeding 7 meters (physical limitation of all surface pumps). However hydrogeological maps reveal vast productive aquifers that are slightly deeper (intermediate depth, from 7 to 20 m) but that can only be reached using immersed pumps. However, the costs of immersed manufacturers' pumps are prohibitive with approximately 5,000 Euro for 0.5 hectares against 350 Euros for a motor pump (suction pump) and the same area.

Several affordable solar pumps solutions for intermediate depths are under development or at a testing phase, usually by non-profit organizations but they have not yet penetrated the West African market. One of such organizations, the PRACTICA Foundation, has, in association with Global Good,⁴⁹ conducted an initial assessment of suitable locations where intermediate

⁴⁹ Global Good is a collaborative effort between Bill Gates and Intellectual Ventures to address some of humanity's toughest problems through the power of invention. <http://www.intellectualventures.com/globalgood>

depth pumps could be used and meet the needs while addressing the constraints (mostly financing if capital) of farmers in two countries: Senegal and Ethiopia. In Senegal, the Niayes appeared to be a very promising area to pilot intermediate depth solutions for smallholders, with prospects of scaling up in other areas in Africa.

Senegal is a very dry country with a fast growing population, an already large share of which is found in cities, notably the capital city of Dakar, which exceeds 2,4 million inhabitants. The Niayes area is a piece of land of 10 km width and 150 km length consisting of dunes and depressions covering productive aquifers. There, some 17,500 smallholder farmers grow vegetables on individual plots that do not exceed 1 hectare and are usually smaller than ½ hectare but altogether amount to some 5,000 ha. These market oriented dynamic farmers supply 80% of the vegetables consumed in neighboring Dakar. Almost all of them abstract water using surface petrol or diesel surface pumps. This explains why (a) their production costs are quite high, preventing them from clearly coming out of poverty even though they are market oriented, and (b) the area under irrigation using this pumping technology cannot be expanded any further since surface pumps cannot physically tap water below 7 meters.

During its assessment, PRACTICA found that, based on the local hydrogeological maps, an additional 13,000 ha could be irrigated if it was possible to pump up at intermediate depths (between 7 and 20 m deep). In addition, the assessment showed that the range of price of the various intermediate depth solar pumps was compatible with significant margins. Lastly, interviews carried out with farmers confirmed a strong interest in intermediate depth solar irrigation solutions and farmers organizations' representatives who represent their collective interests and plays an efficient role in regulating the area mentioned they would be keen to play a role in trying the technology out. So far no such pump and associated water application technology has been tested in the Niayes area.

Objectives of the activity

The objective of the activity is to pilot the feasibility of smart intermediate depth solar pumping solutions for the farmers of Niayes that can meet farmers' requirements, expectations, and constraints (current absence of supply of such equipment, associated watering technology, possibility of repairs), can suit the local physical environment (steeper slopes on dunes, impact on the aquifer and existing plots, etc...) and commercial environment (possibility to establish a supply chain, risk of market saturation for agricultural products). Piloting the feasibility requires:

- Field testing of the solution: manual drilling combined with installation of a number of intermediate depth pump models (to be supplied) and various water application technologies;
- Immediate lessons learned from observing farmers' responses;
- Confirmation of feasibility of supply chain of affordable solar pumping solutions;
- Characterization of the impacts (positive and negative) if at scale
- Overall lessons learned and dissemination.

B. SCOPE OF WORK

As a follow-up to the initial assessment carried out by the Practica Foundation and Global Goods on intermediate depth solar pumping solutions in Senegal⁵⁰, which was solely based on site visits and documentation, and in view of its promising results, the World Bank is recruiting a firm to carry out the field testing phase in the Niayes area of Senegal of two or more models of pumps in two or more different locations (different setting, different people). This involves the following activities:

Elaboration of a methodology and detailed work breakdown

The consultant shall present a methodology and detailed workflow. This shall include a protocol of field testing, confirmation of site access, parameters monitored, approach used before, during and after the test, a detailed schedule and key milestones, resources engaged, including those used to procure and supply the pumps to be tested, but considering that the latter will be provided outside the assignment's budget. At that stage (or earlier), the consultant shall give a proof of free access to the plots where the pilots shall be installed (authorization from owner, etc...).

Field testing of potential solutions

Selection of manual drilling combined with installation of a number of intermediate depth pump models (to be supplied) and various water application technologies

At macro level (Niayes zone or above): from surveys, literature, mapping

- Identification of sites and stakeholders

At site / farmer level

- Contracting artisans specialized in manual drilling:
 - Tubewell installation using manual drilling with test
 - lessons in terms of cost and reliability
- Water abstraction:
 - Justification of the pumps to be tested
 - Installation and testing of several intermediate depth pump
 - Showcasing the pumps
 - Comparing pumps in field situation (to be done during project) and on measurement bench (already done)
- Water application:
 - Test of various water application technologies, possibly mini-sprinkler under low pressure or Californian irrigation, drip irrigation (with crops that are familiar to farmers)
 - Measure yields.
 - Assess the response of the land and the environment.
 - Framing (with discussions with farmers and observations of current practices) and showcasing the watering technologies)

⁵⁰ Intermediate depth solar pumps - Scoping study - Country assessment Senegal, by Global Good & Practica Foundation, 2016. 24 pages.

Immediate lessons learned from observing farmers' responses**At site / farmer level**

- Observe farmers and collect their feedback from the showcasing (using a behavioral change approach)
- Administer questionnaires or focus group discussions
- Interpretation: Analysis of the barriers to the adoption of solar pumping technologies

Confirmation of feasibility of the supply chain**At site / farmer level**

- Refined financial and economic analysis (based on the initial one carried out in Practica Foundation and Global Goods), knowledge of and appetite for financial mechanisms;

At macro level (Niayes zone or above): from surveys, literature, mapping.

- Conditions for establishment of a supply chain:
 - Identification of potential champions (including the organized union of horticultural products irrigators)
 - Identification of factors that hinder or favor (customs, counterfeit, trust relationships between stakeholders, ...) and assessment of these factors and how to address them.
- Assessment of market saturation risk of vegetables due to potential incremental production (Dakar region)

Characterization of the impacts (positive and negative) if at scale**At a macro level (Niayes zone in experimentation sites and beyond)**

- Environmental: Assessment of potential incremental hazards (or improvements) from extrapolation and existing literature
- Land use:
 - analysis of land rights for areas that are currently of low value (dunes): current situation and prospects.
 - Recommendation for securing land rights

Overall results, lessons learned

- Results:
 - Performance of intermediate depth solar pumps as constituents of solar pumping solutions for intermediate depth;
- Lessons learned:
 - The ability of the solution to address needs, constraints, requirements of smallholder commercial farmers
 - Possibility to establish a supply chain and action plan to do so.
 - Possible changes needed to intermediate depth solar pumps
 - The process used during the pilot test
 - What lessons can be drawn from the pilot test beyond the Niayes, in Senegal and other West African countries.

- Organization and financial responsibility of a one-day debriefing workshop in Dakar or a neighboring locality:
 - Presentation of draft final report to local stakeholders
 - with a maximum of 40 people, including 5 people from the consulting firm, 2 from the World Bank, and other key stakeholders to be selected during the assignment (to be costed separately with a detailed breakdown)