

Sénégal : Les énergies renouvelables dans les chaînes de valeur agricoles

*Étude de cas : Irrigation à l'énergie solaire –
Pompage d'eau à petite échelle pour une exploitation d'oignons (0,5 hectare)*



ÉTAT DES LIEUX

Cette étude de cas évalue les coûts et les avantages d'un système de pompage fonctionnant à l'énergie solaire PV pour l'irrigation d'une petite ferme à proximité de la ville de Kayar près de Dakar au Sénégal. L'étude de cas s'appuie sur les données collectées à l'occasion d'une visite de terrain sur deux parcelles de culture près de Kayar et Potou en 2017 et sur différentes hypothèses. Cette étude de cas s'adresse aux petits exploitants agricoles, développeurs, fournisseurs d'équipement et financeurs intéressés par le pompage solaire PV.

La zone des Niayes correspond à une étroite bande de terrain longue de 180 km, qui s'étire le long de la côte Nord du Sénégal entre Dakar et Saint-Louis. La région est au centre des cultures maraîchères et de l'horticulture dans le pays, avec des plantations très appréciées, notamment de pommes de terre et d'oignons. Les cultures y sont principalement assurées par de petits propriétaires exploitants sur des fermes d'une superficie comprise entre 0,5 ha et 10 ha.

GET.invest bénéficie du soutien de



Au Sénégal, les systèmes d'irrigation des petits et moyens périmètres privés (PMPP), en micro-irrigation privé (MIP), reposent principalement sur l'utilisation de pompes diesel¹ ou sur un processus manuel utilisant des pompes manuelles ou des seaux.

Les pompes diesel sont jugées trop chères et peu fiables, tandis que l'arrosage manuel demande beaucoup de travail, ce qui ne permet pas d'optimiser la production. Par ailleurs, la demande de légumes frais ne cesse d'augmenter toute l'année dans le pays, et en particulier à Dakar. En 2013, la production étant insuffisante, il a fallu importer 33 % de la demande d'oignons. Les agriculteurs des Niayes ont donc beaucoup de mal à répondre à la demande, à augmenter la production et à dégager un bénéfice, et s'efforcent en parallèle de réduire leurs coûts et la main-d'œuvre nécessaire.

On trouve dans la région des eaux de surface et des eaux souterraines, généralement à une profondeur de 3 à 9 mètres. Les puits ne sont pas rares dans la région. Ces conditions sont favorables à l'utilisation de pompes de surface, même si certaines micro-pompes (<1 kW) imposent souvent de ne pas positionner les équipements à plus de 7 mètres au-dessus du niveau de l'eau.

FIGURE 1. Stockage local d'oignons²



Cette étude de cas présente la situation d'une ferme cultivant des oignons sur une parcelle de 0,5 ha. Au Sénégal, les oignons secs ont un cycle végétatif de 110 à 150 jours ; l'étude de cas retient donc pour hypothèse une durée de 137 jours. Grâce à l'irrigation et à la disponibilité d'eau peu profonde toute l'année, l'étude considère que deux récoltes d'oignons sont produites chaque année. Entre les périodes de culture, la terre est laissée en jachère pour lui permettre de se régénérer.

L'étude évalue trois solutions de pompage d'eau différentes : **a)** pompe diesel, **b)** pompe solaire PV et **c)** pompe raccordée au réseau d'électricité. Dans tous les scénarios, on suppose que le système d'irrigation fournit la même quantité d'eau à la parcelle, pour répondre aux besoins d'arrosage des oignons. En réalité, la méthode d'irrigation (par tuyau, pulvérisateur ou goutte-à-goutte) peut avoir une forte incidence sur la consommation d'eau.³

BESOINS EN EAU ET RAYONNEMENT SOLAIRE

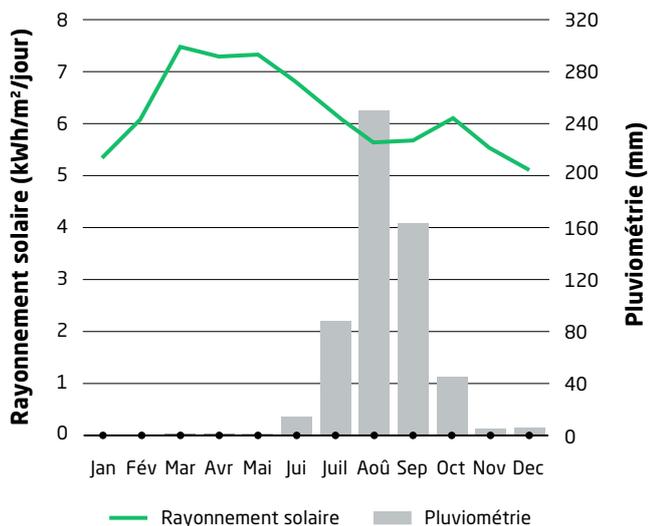
La culture des oignons nécessite un arrosage 274 jours dans l'année. Pour l'étude de cas, les jours de croissance sont répartis sur deux des trois périodes de culture du Sénégal :

- **Saison 1** : Saison sèche et chaude (Contre-saison chaude) de mars à juin — 122 jours
- **Saison 2** : Saison humide (Hivernage) de juillet à novembre — 152 jours

1) On trouve également des pompes fonctionnant à l'essence
2) © GIZ

3) Un tableau comparatif est fourni à la fin de l'étude

FIGURE 2. Pluviométrie et rayonnement moyens dans la région⁴



Les besoins d'irrigation des plantations dépendent de différents facteurs, dont le climat (par exemple l'ensoleillement, la température, l'humidité, la vitesse du vent et les pluies efficaces après prise en compte de la percolation profonde et du ruissellement), la variété cultivée et son stade de développement. L'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) indique que sous un climat semi-aride comme celui du Sénégal, la culture de l'oignon nécessite approximativement entre 6,6 mm et 8,5 mm d'eau par jour de croissance selon la saison, soit l'équivalent des besoins de l'herbe standard.⁵ En tenant compte des variations saisonnières et de la pluviométrie, le besoin d'irrigation est estimé à 852 mm au cours de la Saison 1 et à 959 mm au cours de la Saison 2. Le volume total d'eau d'irrigation pour les deux saisons de culture est d'environ 9 053 m³, soit une moyenne de 33 m³ environ par jour.

Comme on peut le voir sur la **Figure 2**, le rayonnement solaire moyen sur un plan horizontal sur la zone de Kayar va de 5,1 kWh/m² par jour en décembre à 7,5 kWh/m²/jour en mars. Le rayonnement serait encore supérieur en tenant compte d'une inclinaison optimale de 16°. La moyenne minimum de 5,1 kWh/m²/jour est suffisante pour alimenter la micro-pompe PV pendant les deux saisons de culture.

HYPOTHÈSES ET PARAMÈTRES

Pour les trois solutions envisagées pour le pompage d'eau (diesel, solaire PV ou électricité du réseau) différents paramètres ont été maintenus constants par souci de simplification. Le système d'irrigation à proprement parler a ainsi été écarté de l'analyse. L'étude se concentre sur la technologie de pompage et sur la source d'énergie.

Pour les trois scénarios, l'hypothèse retenue est celle de l'utilisation d'une pompe de surface, d'une hauteur dynamique de 3,5 m et d'un rendement de pompe de 70 %. On considère qu'une pompe de capacité électrique maximale d'environ 80 W est nécessaire pour assurer l'irrigation annuelle sur la base du débit maximum requis de 0,0016 m³/s mesuré en août et novembre.

- Pour le scénario utilisant une pompe diesel, on considère que le générateur a un rendement de 20 %.
- Pour le scénario utilisant une pompe solaire PV, on suppose que la pompe et les panneaux PV ont été achetés sous la forme d'un équipement intégré.
- Pour le scénario utilisant le raccordement au réseau d'électricité, on suppose que le réseau national est accessible à proximité directe de la pompe et que l'agriculteur a uniquement besoin de s'y raccorder. Une pompe de surface électrique doit également être installée.

Le **Tableau 1** présente les principaux paramètres système pour les trois scénarios.

4) Les données du rayonnement solaire sont fournies par le système interactif en ligne d'information géographique sur l'énergie photovoltaïque de la Commission européenne, lien : https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/fr/tools.html et les données de pluviométrie de Dakar (les données disponibles les plus proches de Kayar) proviennent d'une source utilisant des données de l'Agence nationale de l'aviation civile et de la météorologie, lien : <https://tinyurl.com/y9o3kear> – tous deux consultés en janvier 2019

5) FAO (1986) Gestion des eaux en irrigation Manuel de formation n° 3 : Les besoins en eau d'irrigation. **Tableau 2** et **Tableau 3**. Lien : <http://www.fao.org/docrep/s2022e/s2022e00.htm> – consulté en janvier 2019

TABLEAU 1. Paramètres du système de pompage d'eau

PARAMÈTRE	DIESEL	SOLAIRE PV	RÉSEAU
Besoins quotidiens en eau, en moyenne (m ³)	33	33	33
Hauteur dynamique (m)	3,5	3,5	3,5
Capacité de la pompe (W)	300	300	300
Demande maxi. (W)	80	80	80
Panneau PV (W)	—	150	—
Besoins annuels en électricité (kWh)	86,7	86,7	86,7
Consommation annuelle de diesel (l)	43,6	—	—

COÛTS D'INVESTISSEMENT ET D'EXPLOITATION

Pour les trois solutions, les calculs s'appuient sur les tarifs des catalogues des fournisseurs.⁶ Les pompes sont légèrement surdimensionnées, car les modèles adaptés de moindre capacité peuvent ne pas être immédiatement disponibles sur le marché, en particulier pour le diesel et le PV. Pour le solaire PV, l'étude tient compte d'une unité mobile conçue sur mesure. Le coût des unités de pompage comprend les tuyaux d'aspiration et les pièces détachées.

Pour les coûts annuels d'exploitation et de maintenance (E et M), l'hypothèse tient compte d'un pourcentage des coûts d'investissement pour les trois scénarios : **a)** diesel — 15 %, **b)** pompe PV — 4 % et **c)** pompe électrique — 4 %. On a par ailleurs estimé le prix du combustible diesel à 1,06 EUR/litre (environ 694 CFA/litre)⁷, ajusté à la hausse de 15 % pour tenir compte des prix de transport et de revente plus élevés du diesel en zone rurale.

Les dépenses annuelles d'exploitation pour le scénario d'une pompe raccordée au réseau d'électricité tiennent compte d'une électricité facturée dans la catégorie « usage professionnel petite puissance », les consommations étant facturées dans la tranche de 0,196/kWh à 0,225/kWh (128,85 CFA/kWh à 147,68 CFA/kWh).⁸

TABLEAU 2. Dépenses d'investissement et d'exploitation annuelle (EUR)

INVESTISSEMENT			
Élément	Diesel	Solaire PV	Réseau
Pompe	300	600	300
Frais de raccordement	—	—	142
Total EUR	300	600	442

EXPLOITATION ANNUELLE

Élément	Diesel	Solaire PV	Réseau
E et M	45	24	18
Combustible diesel	46	—	—
Électricité du réseau	—	—	17
Total EUR	91	24	35

On n'attend aucun frais de remplacement de matériel au cours de la période d'exploitation prévue de 10 ans pour les trois scénarios.

L'étude de cas s'appuie sur un investissement réalisé en EUR. Elle ne tient pas compte des effets des fluctuations du taux de change.

6) Le prix réel sur le marché peut être fonction du distributeur, de l'emplacement, etc. Pour la pompe PV, le prix a été ajusté pour un panneau PV de plus grandes dimensions que celui qui est habituellement vendu avec l'équipement, pour être certain de pouvoir répondre aux besoins moyens en eau quotidiens.

7) Pour les coûts convertis à partir d'une monnaie locale, les calculs appliquent un taux de change CFA/EUR fixe de 655,957/1.

8) Voir le Guide du développeur, consultable sur www.get-invest.eu pour des informations plus précises sur les tarifs au Sénégal

FINANCEMENT

L'étude de cas envisage deux scénarios de financement, reposant sur un crédit concessionnel potentiellement accordé par la CNCAS (Caisse Nationale de Crédit Agricole du Sénégal)⁹ ou par une autre facilité accessible au projet (par ex. par l'intermédiaire de l'aide aux institutions de microfinance des partenaires de coopération et de développement). Les deux scénarios de financement présentent un ratio de 80/20 entre fonds propres et remboursement mensuel de l'emprunt :

Financement A

- Prêt sur 1 an
- Période de grâce 3 mois
- Taux d'intérêt 7,5 %

Financement B

- Prêt sur 2 ans
- Période de grâce 6 mois
- Taux d'intérêt 12 %

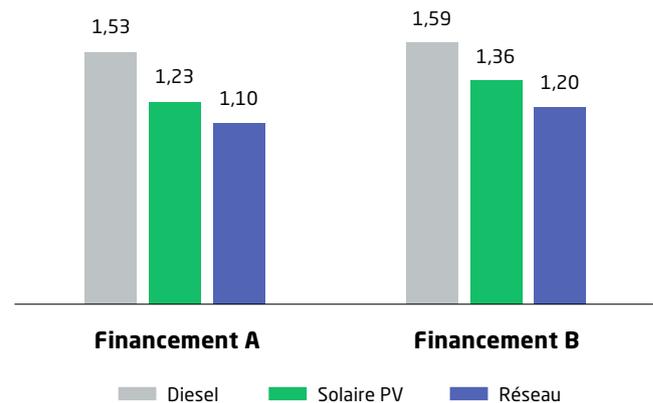
Pour le propriétaire de l'exploitation, nous avons modélisé une rentabilité des capitaux propres de 17,5 % (réels). On obtient ainsi un coût moyen pondéré du capital (CMPC) de 8,06 % (avant impôts, réels) selon le premier scénario de financement (Financement A) et 11,66 % (avant impôts, réels) selon le second scénario de financement (Financement B), avec une prévision de taux d'inflation à 1,8 % pour le Sénégal. Ce CPMPC est utilisé comme taux d'actualisation pour l'analyse financière.

9) À la date de rédaction de cette étude, le fonds octroie aux associations d'agriculteurs et aux agriculteurs individuels des prêts pour un montant total annuel de 3 millions EUR. La majeure partie des fonds est utilisée pour l'assurance et couvre des emprunts à court terme jusqu'à 9 mois (taux d'intérêt de 7,5 %). Le taux d'intérêt des prêts à long terme sur 3 à 7 ans est fixé à 12 %. Le fonds exige un dépôt de garantie de 10 à 20 %.

RÉSULTATS DE L'ANALYSE

On a calculé le coût normalisé de l'énergie (LCOE, levelised cost of electricity) pour les trois solutions de pompage, pour servir d'indicateur de comparaison du coût de l'électricité dans les différents scénarios. On obtient le LCOE en divisant le coût actualisé total de chaque système (investissement et exploitation) par la production d'électricité actualisée. Pour les deux scénarios de financement, le LCOE obtenu pour la pompe solaire PV est inférieur à celui d'une pompe diesel. En revanche, une pompe électrique alimentée par l'électricité du réseau aurait le LCOE le plus faible en tenant compte des tarifs d'électricité en vigueur à la date de rédaction de l'étude (Figure 3).¹⁰

FIGURE 3. LCOE (EUR/kWh) des solutions de pompage



10) L'étude de cas utilise le LCOE comme indicateur de comparaison du coût de l'électricité des différentes solutions. Voir le Guide du développeur, consultable sur www.get-invest.eu pour de plus amples informations sur les tarifs au Sénégal

TABLEAU 3. VAN sur les économies résultant de l'utilisation du solaire contre le diesel et contre l'électricité du réseau

SCÉNARIO	VAN DU POMPAGE SOLAIRE CONTRE (EUR)	
	Diesel	Réseau
Financement A	186	-81
Financement B	130	-90

Rappelons que la comparaison avec la solution de pompage électrique suppose que la parcelle de l'exploitant d'oignons est proche du réseau d'électricité national (c'est-à-dire à moins de 500 m). De nombreuses parcelles d'exploitation des Niayes n'ont pas accès au réseau électrique et le coût du raccordement peut augmenter selon la distance ; dans ce cas, l'utilisation d'une pompe électrique n'est pas une solution envisageable. En outre, sur certaines zones où le réseau d'électricité n'est pas fiable, les pannes du réseau peuvent avoir un impact négatif sur l'irrigation des cultures ou nécessiter l'utilisation d'un groupe électrogène de secours.

Les **Figure 4** et **Figure 5** présentent le cumul des coûts actualisés. Pour le Financement A, on constate que la 5e année, le cumul des coûts actualisés pour une pompe solaire PV est inférieur à celui d'une pompe diesel (point d'équilibre). Par comparaison à une pompe électrique raccordée au réseau d'électricité, la solution solaire PV n'atteint pas l'équilibre en 10 ans d'exploitation. Pour le Financement B, le projet atteint l'équilibre avec le diesel au cours de l'année 6.

FIGURE 4. Équilibre budgétaire – Financement A

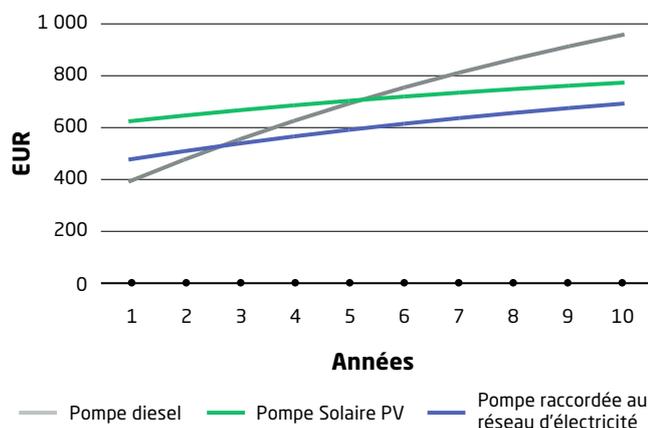
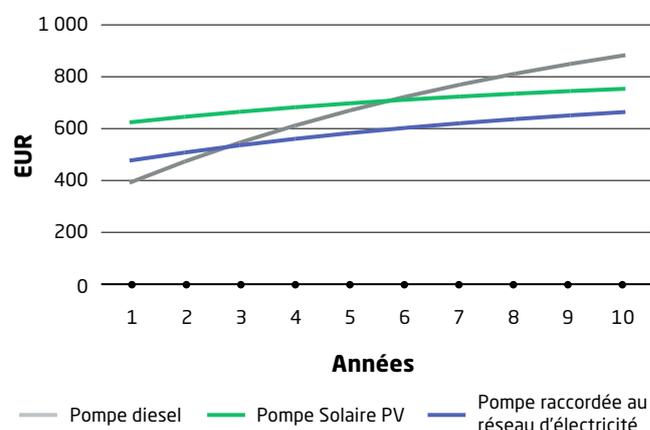


FIGURE 5. Break-even – Financing B

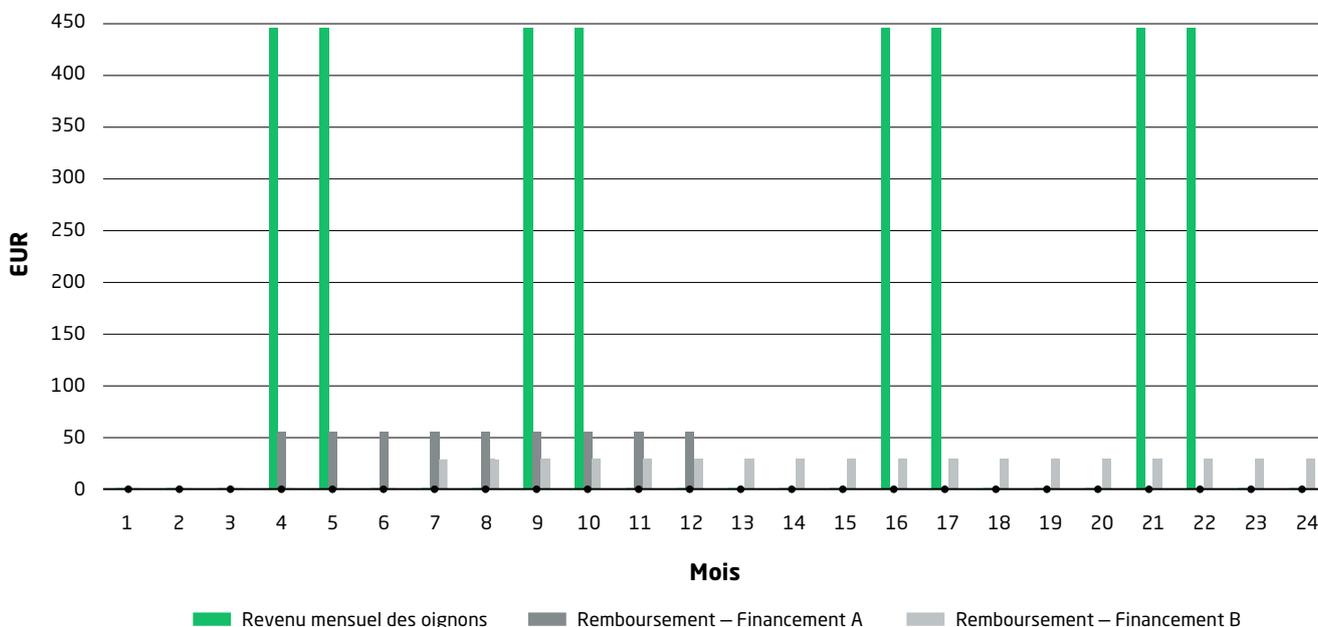


Pour les deux scénarios d'emprunt, on considère que l'agriculteur doit consentir un investissement initial de 120 EUR pour la pompe solaire. S'il est impossible d'utiliser en garantie la pompe solaire PV ou le terrain, le dépôt de garantie pour un prêt CNCAS serait de 48 EUR à 10 % et 96 EUR à 20 %. Le décaissement initial total maximum serait donc de 216 EUR. Le **Tableau 4** présente la contribution initiale de fonds propres et les mensualités de remboursement du prêt (principal et intérêts) amortis sur une durée d'1 et 2 an(s). Même si le prêt sur 2 ans est plus onéreux au total et réduit la performance financière de la pompe solaire, cette durée plus longue permet de diminuer nettement le montant des mensualités pour l'exploitant d'oignons.

TABLEAU 4. Remboursement du prêt par l'exploitant d'oignons

ÉLÉMENT	SCÉNARIO (EUR)	
	Financement A	Financement B
Apport initial de fonds propres 20 %	120	120
Montant du financement	480	480
Remboursement mensuel	55	29
Remboursement total du prêt	495	527

FIGURE 6. Remboursement du crédit contre revenu de la vente d'oignons



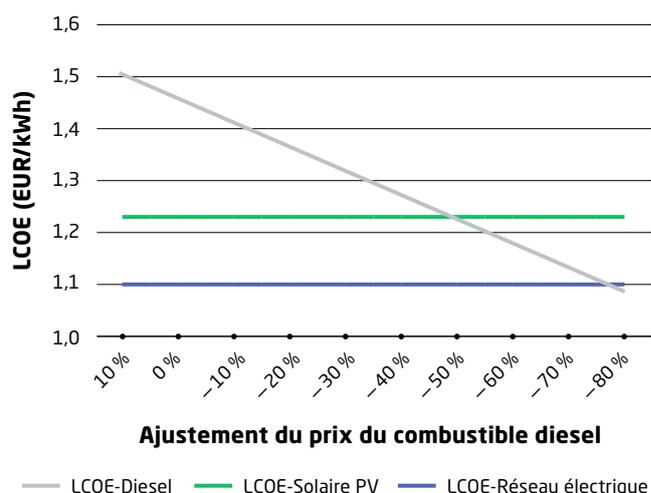
On peut comparer l'échéancier de remboursement du prêt aux recettes de l'exploitant d'oignons sur la durée du prêt. Les revenus de la vente d'oignons et la périodicité des recettes dépendent de la saison, du rendement, des prix du marché, des pertes et d'autres facteurs. En prenant pour hypothèse une production commercialisable de 5 084 kg pour la parcelle de 0,5 ha par saison avec un prix de marché de 0,175 EUR/kg (115 CFA/kg), la parcelle générerait approximativement 891 EUR de revenus bruts chaque saison. En répartissant les revenus de manière égale sur deux mois consécutifs de récolte et de vente (soit 446 EUR/mois), on obtient quatre mois de revenus issus des oignons par an avec des écarts de 4 à 6 mois entre deux en raison d'un stockage insuffisant (Figure 6). Bien que les revenus nets n'ont pas été évalués, les revenus bruts indiquent que la vente des oignons permettrait vraisemblablement à l'agriculteur de rembourser le prêt s'il est possible de négocier un échéancier de remboursement flexible.

ANALYSE DE SENSIBILITÉ

Le tarif du combustible diesel a été soumis à une analyse de sensibilité pour le Financement A, en maintenant constants le coût de la pompe solaire PV et de l'électricité du réseau. En ce qui concerne les résultats présentés à la Figure 7, si les prix du combustible diesel étaient inférieurs de 50 % au prix de base (0,92 EUR/l) ou inférieurs de 65 % à l'hypothèse de prix retenu

pour l'étude de cas (1,06 EUR/l), le LCOE du diesel serait au même niveau que celui du solaire.

FIGURE 7. Sensibilité du LOCE – prix du diesel



Dans un autre test de sensibilité sur le Financement A, la VAN des économies d'une pompe solaire par rapport au pompage diesel reste positive, même en portant le taux d'actualisation à 12 % (Tableau 5).

TABLEAU 5. LCOE et VAN sur les économies résultant de l'utilisation du solaire plutôt que d'autres solutions, pour différents taux d'actualisation

TAUX D'ACTUALISATION	LCOE (EUR/kWh)			VAN DES ÉCONOMIES DU SOLAIRE CONTRE ... (EUR)	
	Diesel	Solaire	Réseau	Diesel	Réseau
4 %	1,46	1,10	1,00	266	-68
6 %	1,49	1,16	1,05	224	-75
8 %	1,53	1,23	1,10	186	-81
10 %	1,56	1,30	1,15	154	-86
12 %	1,60	1,37	1,21	125	-90

NOTE SUR LES MÉTHODES D'IRRIGATION

Le type de systèmes d'irrigation utilisé (tuyau, pulvérisateur ou goutte-à-goutte) peut aussi avoir une incidence sur la consommation d'eau. Ainsi, en comparant les méthodes d'irrigation pour un même résultat, en plaçant l'irrigation au goutte-à-goutte à 100 %, la pulvérisation demanderait 133 % et l'utilisation de tuyaux 250 %. Ce dernier chiffre explique pourquoi les systèmes de tuyaux sont généralement associés à une pompe diesel auto-risant un débit important sur une courte durée. En considérant que l'exploitant d'oignons de l'étude de cas utilise l'irrigation au goutte-à-goutte, le **Tableau 6** présente une comparaison avec les autres méthodes, en termes de consommation d'eau.

TABLEAU 6. Consommation d'eau en fonction de la méthode d'irrigation

ÉLÉMENT	DIESEL		SOLAIRE PV	
	Tuyau	Pulvérisateur	Goutte-à-goutte	
Superficie (ha)	0,5	0,5	0,5	
Consommation d'eau (m ³ /jour)	83	44	33	
Durée de fonctionnement (heures/jour)	2-3	9-12	9-12	

L'utilisation d'une pompe diesel associée à un tuyau peut entraîner des ruissellements significatifs d'eau et d'engrais et diminuer le rendement et la qualité de la récolte. En outre, la main-d'œuvre nécessaire pour une irrigation au tuyau est généralement plus importante que pour une irrigation par pulvérisation ou goutte-à-goutte.

REMERCIEMENTS

GET.invest adresse ses remerciements aux propriétaires des exploitations pour le temps et les efforts consacrés au partage de données et d'informations qui ont permis de réaliser cette étude de cas. GET.invest exprime toute sa gratitude à l'ensemble des collaborateurs et des personnes qui ont participé à la révision de l'étude de cas en apportant des éclairages, des recommandations et un retour d'expérience précieuse.

À PROPOS DES ÉCLAIRAGES MARCHÉ GET. INVEST

La première série des Éclairages Marché GET.invest est publiée au début de l'année 2019, dédiée à quatre segments du marché des énergies renouvelables dans trois pays différents, à savoir : les applications des énergies renouvelables dans la chaîne de valeur agricole (Sénégal), production de puissance captive pour consommation propre (Ouganda), mini-réseaux (Zambie) et systèmes solaires indépendants (Zambie).

Chaque dossier d'Éclairage Marché comprend **a)** un Guide du développeur, fournissant la méthode, **b)** des Modèles d'analyse de rentabilité et **c)** des Études de cas. Le Guide du développeur permet au lecteur de découvrir le marché et ses acteurs, de comprendre le cadre réglementaire en vigueur. Il pose les jalons, pas à pas, qui permettront de lancer un nouveau projet, ou une nouvelle activité. Le Modèle d'analyse de rentabilité examine les paramètres économiques d'un projet et formule des scénarios d'investissement hypothétiques mais réalistes. Il indique par conséquent les critères d'un projet/d'une activité viable, qui donneront au lecteur les moyens d'identifier les opportunités de projet/d'activité les plus rentables. L'Étude de cas analyse la viabilité de projets/activités opérationnels ou à fort potentiel pour mettre en lumière les enseignements acquis et les tendances du secteur.

Les Éclairages marché GET.invest proposent ainsi la synthèse d'une quantité considérable de données qui pourront soutenir une première prospection de marché et des études de faisabilité préalables. La lecture croisée du guide, des modèles et des études de cas fournira une vue d'ensemble complète de la problématique. Les différents produits peuvent être consultés sur www.get-invest.eu.

À PROPOS DE GET.INVEST

GET.invest est un programme européen qui encourage les investissements dans des projets promouvant les énergies renouvelables et décentralisées. Le programme cible les développeurs d'affaires et de projets du secteur privé, les financeurs et les régulateurs dans l'objectif d'un développement durable des marchés de l'énergie.

Différents services sont proposés, dont l'aide au développement de projets et d'affaires, la mise à disposition d'informations, la mise en relation, l'aide à la mise en œuvre des processus réglementaires. L'offre est proposée au niveau mondial, sur différents segments de marché.

GET.invest bénéficie du soutien de l'Union européenne, de l'Allemagne, de la Suède, des Pays-Bas et de l'Autriche. Il travaille en collaboration étroite avec différentes initiatives et associations professionnelles du secteur de l'énergie.

EXPRIMEZ-VOUS

Nous serons heureux de connaître votre avis sur les Éclairages marché. N'hésitez pas à poser vos questions ou à nous faire part de vos remarques en écrivant à l'adresse info@get-invest.eu.

AVERTISSEMENT

Les informations de ce document proviennent de sources et d'entretiens sélectionnés avec soin. GET.invest ne peut toutefois garantir qu'elles sont complètes et exactes ; GET.invest exclut par conséquent toute mise en cause de sa responsabilité au motif de l'utilisation d'informations inexactes ou incomplètes. Le contenu du présent document ne reflète pas nécessairement les opinions de GET.invest ou des pays mentionnés. GET.invest n'endosse ni ne recommande aucun produit, procédé ou service commercial dont il est fait mention dans ce document. Ce document n'a pas vocation à remplacer une étude de projet ou analyse commerciale spécifique. Toute décision d'investissement doit se fonder sur une analyse détaillée des caractéristiques spécifiques d'un projet ou d'une activité.

CONTACT

GET.invest
E info@get-invest.eu
I www.get-invest.eu

Lieu et date de publication : Bruxelles, juin 2019
Crédits photographiques : © GIZ, sauf indication contraire