

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 un système d'irrigation mutualisée (6 hectares)*



ÉTAT DES LIEUX

Cette étude de cas évalue la viabilité financière potentielle du pompage d'eau fonctionnant à l'énergie solaire PV pour un système d'irrigation mutualisée situé à proximité de la ville de Richard Toll sur le fleuve Sénégal, au nord du Sénégal. L'étude de cas s'appuie sur un projet théorique, mais utilise les données collectées à l'occasion d'une visite de terrain sur plusieurs exploitations en 2017 et formule différentes hypothèses. Elle s'adresse aux systèmes d'irrigation mutualisée de petits exploitants agricoles, aux développeurs, aux fournisseurs d'équipement et aux financeurs intéressés par le pompage solaire PV.

Les régions rurales du Sénégal possèdent un réseau local solide constitué de groupements et d'associations de villages, notamment pour l'agriculture. L'irrigation mutualisée (PIV — périmètres irrigués villageois) est un modèle répandu sur les rives et la vallée du fleuve Sénégal, couvrant des superficies allant de quelques hectares à plusieurs dizaines d'hectares (ha). L'eau du fleuve et les nappes d'eau superficielles sont souvent exploitées au moyen de pompes fonctionnant sur générateur diesel.

GET.invest bénéficie du soutien de



Pour l'étude de cas, on prend pour hypothèse que le système d'irrigation mutualisée est géré par une association villageoise et regroupe 18 agriculteurs pour une superficie de parcelle moyenne de 0,34 ha et une superficie totale de 6 ha. La culture de la tomate prédomine, et la production est vendue localement. Une pompe diesel centrale prélève l'eau dans le fleuve pour alimenter un petit réservoir et les parcelles irriguées au moyen d'un ensemble de petits tuyaux ou de conduites raccordées à un système de pulvérisation.

Au Sénégal, la culture de la tomate s'étend en moyenne sur 137 jours. Étant donné que les eaux de surface sont disponibles toute l'année et qu'il existe un système d'irrigation, deux récoltes de tomates sont produites chaque année. Entre les périodes de culture, la terre est laissée en jachère pour lui permettre de se régénérer.

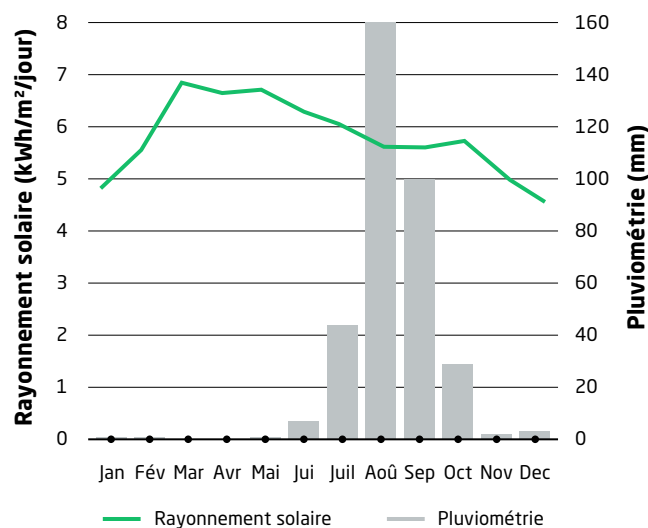
L'association qui gère l'irrigation mutualisée s'intéresse à d'autres solutions de pompage d'eau, car le coût de fonctionnement d'une pompe diesel est élevé. Nous avons comparé la faisabilité financière potentielle de deux solutions de remplacement et le maintien en exploitation de la pompe diesel actuelle : a) une solution de pompage solaire PV et b) une pompe électrique raccordée au réseau d'électricité.

BESOINS EN EAU ET RAYONNEMENT SOLAIRE

La culture des tomates nécessite un arrosage environ 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

FIGURE 1. Pluviométrie et rayonnement moyens dans la région¹



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 dans des climats semi-arides comme celui du Sénégal, la culture de la tomate nécessite approximativement entre 7,15 mm et 9,35 mm d'eau par jour de croissance selon la saison, soit 10 % de plus que les besoins de l'herbe standard.² En tenant compte des variations saisonnières et de la pluviométrie, le besoin d'irrigation est estimé à 938 mm au cours de la Saison 1 et à 1 248 mm au cours de la Saison 2. Le volume total d'eau d'irrigation pour les deux saisons de culture est d'environ 134 775 m³, soit une moyenne de 488 m³ environ par jour ou 79,5 m³/ha/jour.

1) 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 Saint Louis (les données disponibles les plus proches de Richard Toll) 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

2) 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

Comme on peut le voir sur la **Figure 1**, le rayonnement solaire moyen sur un plan horizontal sur la zone de Richard Toll va de 4,6 kWh/m²/jour en décembre à 6,9 kWh/m²/jour en mars, juste avant le plus fort de la saison sèche. Le rayonnement serait encore supérieur en tenant compte d'une inclinaison optimale de 18°. Les données du rayonnement solaire mensuel ont permis de dimensionner et d'estimer la puissance du système PV nécessaire pour alimenter une pompe PV pendant les deux saisons de culture.

HYPOTHÈSES ET PARAMÈTRES

Pour les trois scénarios, l'hypothèse retenue est celle de l'utilisation d'une pompe de surface, d'une hauteur dynamique de 12 m et d'un rendement de pompe de 70 %. On considère qu'une capacité électrique installée de pompe d'environ 4,6 kW est nécessaire pour assurer l'irrigation annuelle sur la base du débit maximum requis de 0,0275 m³/s mesuré en novembre.

Pour le scénario utilisant une pompe diesel, on considère que le générateur a un rendement de 25 % et que la densité énergétique du diesel est de 9,94 kWh/l. La pompe diesel actuelle restera en utilisation.

Pour le scénario utilisant une pompe solaire PV, on suppose que la pompe et les modules PV sont des unités séparées, achetées ensemble. Un coefficient de perte du panneau PV de 0,85 permet de déduire une puissance du système PV de 5,5 kW.

Pour le scénario utilisant un raccordement au réseau d'électricité, on suppose que le réseau national est accessible à proximité et que l'association du village doit payer une ligne basse tension d'une longueur de 1 km pour se raccorder au réseau. Une pompe de surface électrique doit également être installée.

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

TABLEAU 1. Paramètres du système de pompage d'eau

PARAMÈTRE	SOLAIRE		
	DIESEL	PV	RÉSEAU
Besoins quotidiens en eau, en moyenne (m ³ /ha)	79,49	79,49	79,49
Hauteur dynamique (m)	12	12	12
Puissance de la pompe (kW)	4,6	4,6	4,6
Capacité PV (kWp)	—	5,5	—
Besoins annuels en électricité (kWh)	4 395	4 395	4 395
Consommation annuelle de diesel (l)	2 210	—	—
Raccordement au réseau (km)	—	—	1

COÛTS D'INVESTISSEMENT ET D'EXPLOITATION

Les coûts d'investissement pour l'achat d'une pompe diesel n'ont pas été pris en compte car on considère que la pompe actuelle a été installée récemment et peut continuer à fonctionner encore plusieurs années. Pour le solaire PV, l'unité de pompage doit être capable de réagir à un rayonnement solaire variable et donc à une puissance d'entrée variable à différents régimes moteurs. Certaines pompes solaires sont équipées de régulateurs à cet effet. Ces systèmes, à la fois plus efficaces mais plus coûteux, ont été pris en compte pour cette étude de cas.³ Le prix des modules PV est calculé séparément (à 1,15 EUR/W). Les chiffres comprennent également le coût d'une structure de sécurité fermant à clé pour loger les équipements critiques, dont la pompe et le panneau de commande.

Les coûts d'extension du réseau proviennent d'un article rédigé en 2017 sur l'électrification en Afrique subsaharienne.⁴

3) Les estimations s'appuient sur les prix catalogue des différents systèmes. Toutefois, certains prix peuvent être inférieurs au Sénégal en fonction du distributeur, de la marque, de l'emplacement, etc.

4) Mentis D. et al. (2017) « Lighting the world: the first application of an open source, spatial electrification tool (OnSSET) on Sub-Saharan Africa », Environmental Research Letters

Pour les coûts annuels d'exploitation et de maintenance (E et M), l'hypothèse pour les trois scénarios tient compte d'un pourcentage des coûts d'investissement : **a)** diesel — 10 % du coût installé estimé de la pompe actuelle, **b)** pompe PV — 2 % et faisceau PV — 2,5 % et **c)** pompe électrique — 2 %. On a par ailleurs estimé le prix du combustible diesel à 1,06 EUR/litre (environ 694 CFA/litre)⁵, pour tenir compte des prix de transport et de revente plus élevés du diesel en zone rurale. Les dépenses 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).⁶

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 ou des coûts de contrepartie.

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

INVESTISSEMENT

Élément	Diesel	Solaire PV	Réseau
Pompe	—	4 500	1 700
Panneau PV	—	6 268	—
Raccordement au réseau	—	—	4 261
Total EUR	0	10 768	5 961

EXPLOITATION ANNUELLE

Élément	Diesel	Solaire PV	Réseau
E ET M	170	247	119
Combustible diesel	2 339	—	—
Électricité du réseau	—	—	905
Total EUR	2 509	247	1 042

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 Sénégal⁷ 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 fonds propres de 70/30 et un remboursement trimestriel de l'emprunt :

5) Pour les coûts convertis à partir d'une monnaie locale, les calculs appliquent un taux de change CFA/EUR fixe de 655,957/1.
 6) Le système d'irrigation mutualisée est situé sur la concession d'électrification rurale exploitée par la société COMASEL. Même si le tarif client de COMASEL peut être différent des tarifs Senelec, ce sont les tarifs Senelec qui ont été utilisés, dans l'impossibilité d'obtenir les tarifs de COMASEL. Voir le Guide du développeur, consultable sur www.get-invest.eu pour de plus amples informations

7) Le fonds octroie actuellement 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 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 %.

Financement A

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

Financement B

- Prêt sur 4 ans
- Période de grâce 1 an
- Taux d'intérêt 12 %

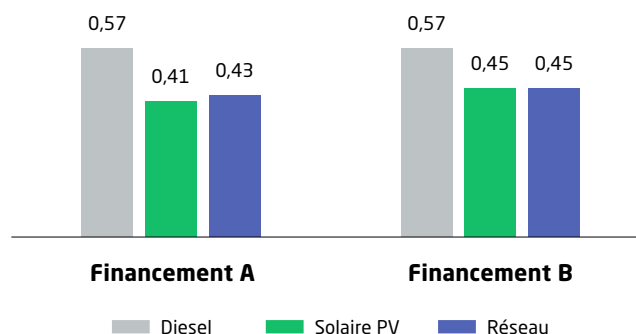
Pour l'association du village responsable du système d'irrigation mutualisée, nous avons modélisé une rentabilité des capitaux propres de 17,5 % (réels). On obtient ainsi un coût moyen pondéré du capital (CMPC) de 9,24 % (avant impôts, réels) selon le premier scénario de financement (Financement A) et 12,39 % (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.

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. Dans les deux cas, on a constaté que la pompe solaire PV avait le LCOE le plus faible, même si dans le second scénario, le solaire est quasiment à parité avec la pompe raccordée au réseau d'électricité (0,448 EUR/kWh pour le solaire contre 0,450 EUR/kWh pour l'électricité) (Figure 2).⁸

8) L'étude de cas utilise le LCOE comme indicateur de comparaison du coût de l'électricité des différentes solutions

FIGURE 2. LCOE (EUR/kWh) des solutions de pompage



La valeur actualisée nette (VAN)⁹ des économies résultant de l'utilisation du solaire PV par rapport aux autres scénarios est positive :

TABLEAU 3. VAN sur les économies résultant de l'utilisation du solaire

SCÉNARIO	VAN DU POMPAGE SOLAIRE CONTRE (EUR)	
	Diesel	Réseau
Financement A	4 926	586
Financement B	3 371	52

Les Figure 3 et Figure 4 présentent le cumul des coûts actualisés. Pour le Financement A, on constate que la 6e année, le cumul des coûts actualisés pour une pompe solaire PV est inférieur à celui de la pompe diesel que l'on continuerait à utiliser. Par comparaison à une pompe électrique raccordée au réseau d'électricité, la solution solaire PV n'atteint pas l'équilibre avant 9 ans d'exploitation environ. Pour le Financement B, le projet atteint l'équilibre au cours des années 7 et 10, respectivement.

9) La VAN correspond à la différence entre la valeur actualisée des flux de trésorerie futurs du projet et l'investissement initial. La valeur actualisée est la valeur courante d'une future somme d'argent ou d'un flux de trésorerie futur, en appliquant un taux d'actualisation théorique représentant le risque d'investissement

FIGURE 3. Équilibre budgétaire – Financement A

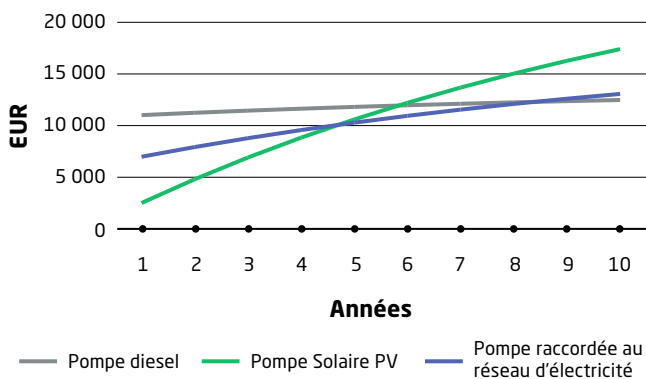


FIGURE 4. Équilibre budgétaire – Financement B

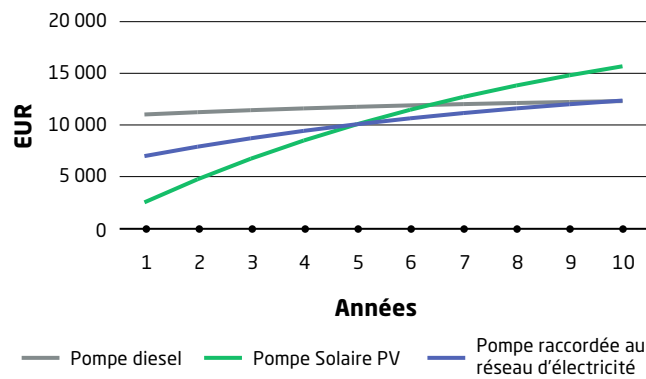
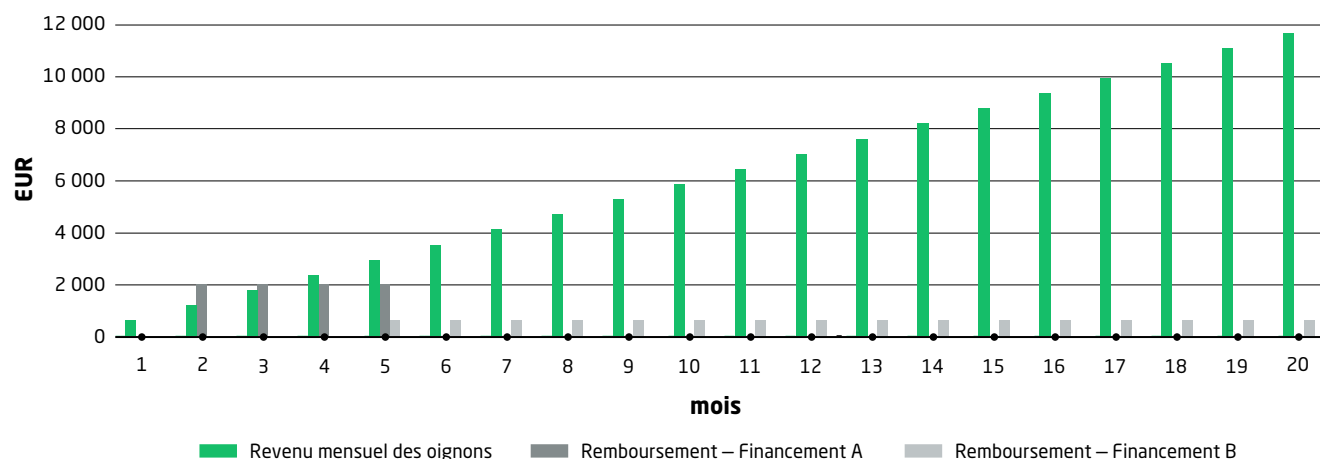


FIGURE 5. Remboursement du crédit contre économies de combustible diesel



Pour les deux scénarios d'emprunt, on considère que le système d'irrigation mutualisée (SIM) doit consentir un investissement initial de 3 230 EUR pour la pompe solaire. Cela correspond à un investissement de 179 EUR par agriculteur. 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 754 EUR à 10 % et 1 508 EUR à 20 %, soit respectivement 42 EUR et 84 EUR par agriculteur. Le décaissement initial total maximum serait donc de 4 738 EUR pour le SIM, ou 263 EUR par agriculteur.

Le **Tableau 4** présente la contribution initiale de fonds propres et les mensualités de remboursement du prêt (principal et intérêts) amorties sur une durée de 1 et 4 an(s). Même si le prêt sur 4 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 échéances trimestrielles pour les agriculteurs adhérents du système.

TABLEAU 4. Impact du prêt sur le SIM et les agriculteurs

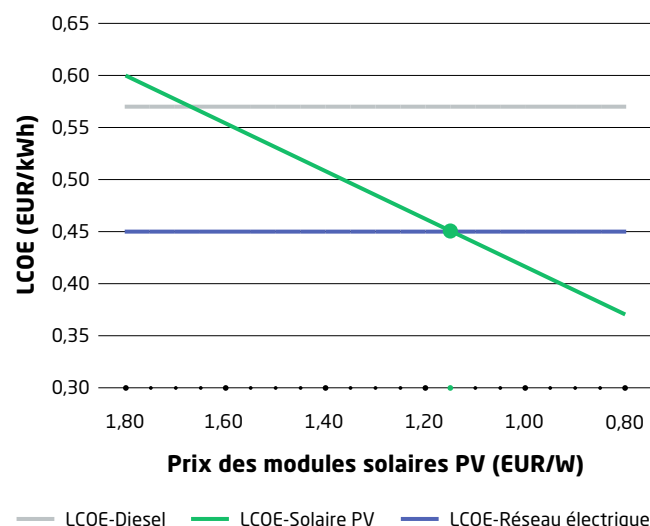
ÉLÉMENT	SCÉNARIO (EUR)	
	Financement A	Financement B
Apport initial de fonds propres du SIM (30 %)	3 230	3 230
Contribution par agriculteur	179	179
Échéance trimestrielle SIM	1 974	600
Contribution par agriculteur	110	33
Remboursement total SIM	7 894	9 601
Paiement total par agriculteur	439	533

Le montant du remboursement du prêt au niveau du SIM peut être comparé aux dépenses trimestrielles engagées pour le combustible diesel, dans le scénario où l'irrigation mutualisée continuerait d'utiliser les pompes diesel actuelles. La **Figure 5** indique que le prêt se rembourse rapidement grâce aux économies réalisées sur le coût du combustible diesel pour le Financement B. Pour le Financement A en revanche, le cumul des économies réalisées sur le coût du combustible diesel ne suffit pas à couvrir le remboursement de l'emprunt sur les deux premiers trimestres suivant la période de grâce.

ANALYSE DE SENSIBILITÉ

Le tarif des modules solaires PV a été soumis à une analyse de sensibilité pour le Financement B, en maintenant constants les coûts du combustible diesel et de l'électricité du réseau. Comme l'indiquent les résultats de la **Figure 6**, si le prix du module augmentait au-delà de 1,15 EUR/W, le LCOE d'un système de pompage électrique fonctionnant à l'électricité du réseau serait inférieur à celui du solaire PV. En revanche, le prix du module devrait dépasser le seuil de 1,70 EUR/W pour que le pompage diesel devienne financièrement plus intéressant.

FIGURE 6. Sensibilité du LCOE – Prix du module PV¹⁰



Dans un autre test de sensibilité sur le Financement B, la VAN des économies d'une pompe solaire par rapport au pompage diesel reste positive, même en portant le taux d'actualisation à 18 % (**Tableau 5**). En revanche, à mesure que le taux d'actualisation augmente, le scénario du pompage solaire devient moins intéressant comparé au pompage électrique.

TABLEAU 5. LCOE et VAN solaire 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 DU POMPAGE SOLAIRE CONTRE... (EUR)	
	Diesel	Solaire	Réseau	Diesel	Réseau
8,4 %	0,57	0,40	0,42	5 394	747
10,4 %	0,57	0,42	0,44	4 318	377
12,4 %	0,57	0,45	0,45	3 371	52
14,4 %	0,57	0,47	0,47	2 523	-239
16,4 %	0,57	0,50	0,48	1 722	-498

D'autres variables, que nous n'avons pas évaluées dans l'analyse de sensibilité, peuvent avoir un impact important : **a)** le prix du combustible diesel et **b)** la longueur du câble électrique (le cas échéant) nécessaire pour raccorder la pompe au réseau.

10) Le cercle indique le prix par module utilisé dans l'analyse (1,15 EUR/W)

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 précieux.

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 inexacts 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