

Sénégal : Les énergies renouvelables dans les chaînes de valeur agricoles

Étude de cas : Irrigation à l'énergie solaire – Pompage d'eau à grande échelle pour une exploitation de Melon (350 hectares)



ÉTAT DES LIEUX

Cette étude de cas évalue la viabilité financière potentielle d'un système de pompage d'eau fonctionnant à l'énergie solaire PV pour l'irrigation d'une grande exploitation agricole sur le fleuve Sénégal, près de Saint-Louis au Sénégal. Si l'étude de cas s'appuie sur une exploitation réelle, dont les données ont été collectées à l'occasion d'une visite de terrain en 2017, différentes hypothèses ont aussi été formulées dans le travail d'analyse. Les conclusions de l'étude sont donc exprimées à titre purement indicatif. Cette étude de cas peut intéresser les entreprises agroalimentaires et les grandes exploitations agricoles, les développeurs, les fournisseurs d'équipement et les financeurs envisageant ce type de projet.

L'exploitation occupe une superficie d'environ 350 hectares (ha), consacrée à la culture du melon. Il existe sur la zones plusieurs autres fermes de taille comparable cultivant le riz, les fruits et les légumes. La ferme pratique la rotation des cultures tous les trois à cinq ans, de sorte qu'au cours d'une année donnée, seuls 240 ha sont affectés au melon. La production annuelle atteint 3 000 tonnes de fruits, destinées au marché de l'exportation.

Les melons sont arrosés au moyen d'un système d'irrigation à pivot central (également connu sous le terme de roue hydraulique). Une conduite principale longue de 2 km prélève l'eau dans le fleuve Sénégal, et des conduites secondaires apportent l'eau jusqu'aux parcelles segmentées

GET.invest bénéficie du soutien de



de l'exploitation. Trois pompes de surface fonctionnant au diesel (deux en utilisation quotidienne et une troisième en veille) remontent l'eau de la tête de pompe jusqu'au niveau du fleuve.

De construction italienne, les trois pompes ont été importées de France. Les deux pompes en fonctionnement prélèvent chacune environ 450 m³/h d'eau, irriguant chacune 120 ha. Le système à pivot central utilise des moteurs fonctionnant au diesel pour les roues, mais il n'est pas envisagé de pouvoir les remplacer par des unités solaires PV.

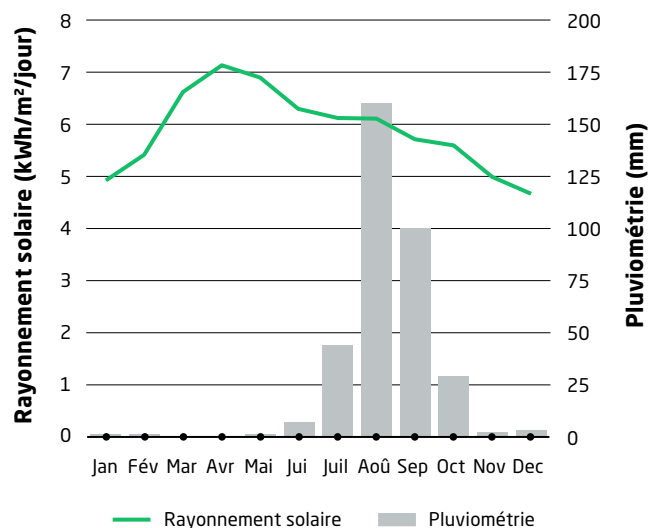
L'étude de cas part du principe que les pompes diesel sont parvenues au terme de leur vie utile, et évalue l'impact possible de a) l'installation d'un système de pompage solaire PV ou b) d'un raccordement au réseau électrique pour répondre aux besoins d'irrigation plutôt que d'acheter de nouvelles pompes diesel.

BESOINS EN EAU ET RAYONNEMENT SOLAIRE

L'exploitation de melon est irriguée toute l'année. L'étude de cas prend pour hypothèse 364 jours opérationnels dans l'année, répartis sur les trois saisons de culture au Sénégal, à savoir :

- **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
- **Saison 3** : Saison sèche et froide (Contre saison froide) de décembre à février — 90 jours

FIGURE 1. Pluviométrie et rayonnement moyens à Saint-Louis¹



Pour des melons dont la durée de croissance est proche de 120 jours en climat chaud, trois récoltes sont produites chaque année. Cette production relativement élevée est jugée réaliste en culture intensive, en considérant qu'environ 1/3 de la superficie totale reste en jachère chaque année.

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 du melon nécessite approximativement entre 6,5 mm et 8,5 mm d'eau par jour de croissance selon la saison, soit l'équivalent des besoins de l'herbe standard.² En tenant compte des variations saisonnières et de la pluviométrie, le besoin d'irrigation est estimé à 853 mm au cours de la saison 1,

1) Données du rayonnement solaire fournies par le « Solar Electricity Handbook », Manuel d'électricité solaire 2017, lien : <https://tinyurl.com/qg6rybt> et les données de pluviométrie 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

à 1 118 mm au cours de la saison 2 et à 585 mm durant la saison 3. Le volume total d'eau d'irrigation pour une année est d'environ 6,13 millions m³, soit une moyenne de 16 850 m³ par jour ou 69 m³/ha/jour.

Comme on peut le voir sur la **Figure 1**, le rayonnement solaire moyen sur un plan horizontal sur la zone de Saint-Louis au Sénégal va de 4,7 kWh/m²/jour en décembre à 7,2 kWh/m²/jour en avril au plus fort de la saison sèche. Le rayonnement serait encore supérieur en tenant compte d'une inclinaison de 15°. Les données historiques du rayonnement solaire mensuel ont permis de dimensionner et d'estimer la puissance du système PV nécessaire pour alimenter une pompe PV sur une année.

HYPOTHÈSES ET PARAMÈTRES

Pour les trois solutions envisagées pour le pompage d'eau sur l'exploitation de melon (diesel, solaire PV ou électricité du réseau), différents paramètres ont été maintenus constants par souci de simplification. Ainsi, le système d'irrigation à proprement parler (par ex. les conduites) a été écarté de l'analyse et les coûts associés communs aux trois scénarios (par ex. ingénierie, redevance d'utilisation de l'eau...) ont été ignorés. 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 15 m et d'un rendement de pompe de 70 %. On considère qu'une capacité électrique installée (totale) de pompe d'environ 206 kW est nécessaire pour assurer l'irrigation annuelle sur la base du débit maximum requis de 0,9803 m³/s mesuré en septembre.

- Pour le scénario utilisant une pompe diesel, on considère que les générateurs ont un rendement de 25 % et que la densité énergétique du diesel est de 9,94 kWh/l.
- 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 0,80 permet de déduire une puissance du système PV de 258 kW.
- Pour le scénario utilisant un raccordement au réseau d'électricité, on suppose que le réseau national est accessible à proximité et que le propriétaire de l'exploitation doit payer une ligne de raccordement aérien de 2 km à

33 kV et un transformateur pour se raccorder au réseau. Un système de pompage électrique doit également être installé.

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

TABLEAU 1. Paramètres du système de pompage d'eau

PARAMÈTRE	DIESEL	SOLAIRE PV	RÉSEAU
Besoins quotidiens en eau, en moyenne (m ³ /ha)	69,48	69,48	69,48
Hauteur dynamique (m)	15	15	15
Puissance de la pompe (kW)	206,3	206,3	206,3
Capacité PV (kWp)	—	257,8	—
Besoins annuels en électricité (kWh)	251 672	251 672	251 672
Consommation annuelle de diesel (l)	101 236	—	—
Raccordement au réseau (km)	—	—	2

COÛTS D'INVESTISSEMENT ET D'EXPLOITATION

Le montant des dépenses d'investissement pour les pompes diesel s'appuie sur les coûts de l'installation initiale, fournis par le propriétaire de l'exploitation de melon.

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 0,45 EUR/W) sur la base des derniers tarifs connus

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.

pour des systèmes de capacité similaire. 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

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 %, **b)** pompe PV — 2 % et faisceau PV — 2,5 % et **c)** pompe électrique — 2 %. Par ailleurs, le prix du combustible diesel a été estimé au tarif de 0,92 EUR le litre (environ 603 CFA/litre)⁵.

Pour les dépenses d'exploitation dans le scénario d'un raccordement au réseau d'électricité, l'hypothèse tient compte d'une facturation de l'électricité dans la catégorie tarifaire des « livraisons en moyenne tension », qui comprend une composante mensuelle fixe par kW et une composante de consommation par kWh en fonction de la durée d'utilisation. On suppose que l'activité de pompage peut intégralement être réalisée en heures creuses (de 23 h à 19 h).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	60 000	220 000	100 000
Panneau PV	—	116 030	—
Raccordement au réseau	—	—	19 173
Total EUR	60 000	336 030	119 173

EXPLOITATION ANNUELLE

Élément	Diesel	Solaire PV	Réseau
E et M	6 000	7 301	2 383
Combustible diesel	93 166	—	—
Électricité du réseau	—	—	47 297
Total EUR	99 166	7 301	49 680

FINANCEMENT

L'étude de cas prend pour hypothèse que l'exploitation de melon sur 350 ha parviendra à obtenir un prêt auprès d'une banque commerciale pour mettre en œuvre le nouveau projet de pompage d'eau. Les mêmes conditions de prêt ont été retenues pour chaque scénario :

- Rapport de 70/30 entre fonds propres et endettement pour le projet
- Taux d'intérêt de 14,25 % (nominal), sur la base des taux moyens pratiqués par les banques commerciales au Sénégal en 2016
- Durée de prêt de 7 ans
- Période de grâce de 2 ans

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 13,97 %

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

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.

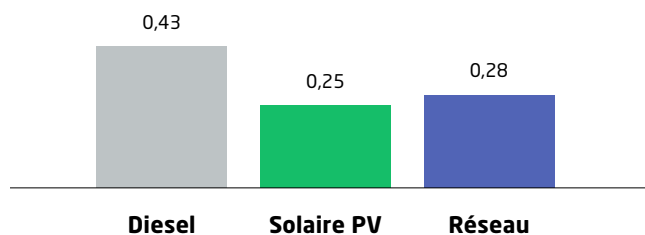
6) L'exploitation de melon est située sur la concession d'électrification rurale exploitée par la société COMASEL. Même si le tarif client de COMASEL peut être différent des tarifs SENELEC, ce sont les tarifs SENELEC qui ont été utilisés, dans l'impossibilité d'obtenir les tarifs de COMASEL. Voir le Guide du développeur, consultable sur www.get-invest.eu

(avant impôts, réels), avec une prévision de taux d'inflation à 1,8 % pour le Sénégal. Ce CPMC 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. Le LCOE le plus faible est obtenu pour la pompe solaire PV (Figure 2)⁷.

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



La valeur actualisée nette (VAN)⁸ des économies résultant de l'utilisation du solaire PV par rapport aux autres scénarios est positive dans les deux cas :

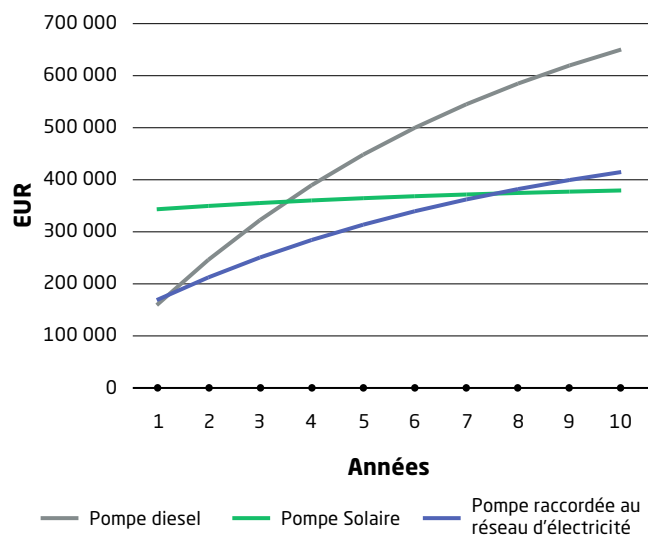
- Pompe solaire contre diesel — VAN des économies de coûts 270 811 EUR
- Pompe solaire contre réseau — VAN des économies de coûts 35 412 EUR

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

8) 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

La Figure 3 présente le cumul des coûts actualisés. On constate que la 3^e année, le cumul des coûts actualisés pour une pompe solaire PV est inférieur à celui d'une pompe diesel. Par comparaison à une pompe électrique raccordée au réseau d'électricité, la solution solaire PV n'atteint pas l'équilibre avant 8 ans d'exploitation environ.

FIGURE 3. Équilibre budgétaire des différentes solutions de pompage



Au terme de la période de grâce de deux ans, le propriétaire de l'exploitation de melon doit commencer à rembourser le prêt bancaire. Sur la période d'amortissement de 7 ans, le remboursement annuel du crédit (remboursement du capital et des intérêts) est calculé à 55 271 EUR. Ce montant est comparable aux dépenses annuelles de combustible diesel dans le scénario où le propriétaire de l'exploitation choisit plutôt d'installer des pompes diesel (ou de conserver les pompes diesel actuelles et de continuer à payer les coûts estimés du combustible diesel sur la base des dépenses actuelles). La Figure 4 indique que le prêt se rembourse rapidement grâce aux économies réalisées sur le coût du combustible diesel.

FIGURE 4. Remboursement du crédit contre économies de combustible diesel

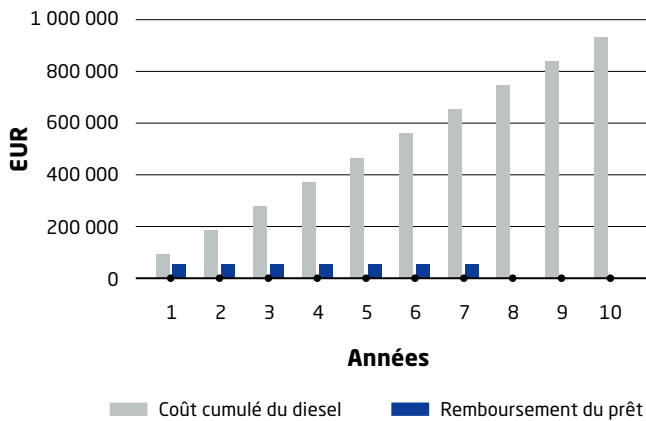
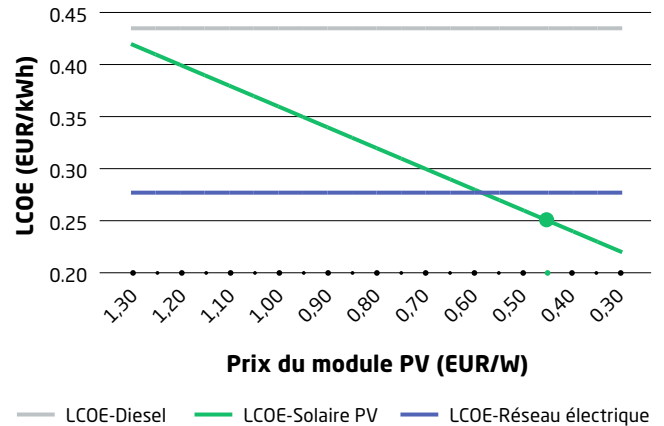


FIGURE 5. Sensibilité du LCOE – Prix du module PV⁹



ANALYSE DE SENSIBILITÉ

Le tarif des modules solaires PV a été soumis à une analyse de sensibilité, en maintenant constants le coût du combustible diesel et de l'électricité du réseau. Comme l'indiquent les résultats de la **Figure 5**, si le prix du module augmentait au-delà de 0,55 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, même avec un prix par module d'1,30 EUR/W, le pompage solaire conserve un LCOE inférieur à celui du pompage diesel.

Dans un autre test de sensibilité, la VAN des économies d'une pompe solaire par rapport aux autres solutions reste positive, même si le taux d'actualisation est porté à 18 % (**Tableau 3**).

TABLEAU 3. 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
10 %	0,43	0,23	0,27	345 000	70 000
12 %	0,43	0,24	0,27	305 000	51 000
14 %	0,43	0,25	0,28	271 000	35 000
16 %	0,44	0,27	0,28	239 000	21 000
18 %	0,44	0,28	0,29	211 000	7 000

9) Le cercle indique le prix par module utilisé dans l'analyse (0,45 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 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