

# ZONES ADÉQUATES POUR LES ÉNERGIES SOLAIRE ET ÉOLIENNE À ÉCHELLE INDUSTRIELLE



## BURKINA FASO

Évaluation de  
l'adéquation  
basée sur  
**l'Atlas mondial  
des énergies  
renouvelables**

**© IRENA 2021**

Sauf indication contraire, le contenu de la présente publication peut être librement utilisé, partagé, copié, reproduit, imprimé et/ou stocké, à condition de mentionner l'IRENA comme étant la source et la propriétaire des droits d'auteur. Les éléments de la présente publication attribués à des tiers pouvant faire l'objet de conditions d'utilisation distinctes, il peut être nécessaire d'obtenir les autorisations correspondantes de ces tiers avant d'utiliser ces éléments.

---

## À propos de l'IRENA

L'Agence internationale pour les énergies renouvelables (IRENA) est une organisation intergouvernementale qui sert de plate-forme principale pour la coopération internationale, mais aussi un centre d'excellence, et un référentiel en matière de politiques, de technologies, de ressources et de connaissances financières au sujet des énergies renouvelables et un moteur d'action sur le terrain pour faire avancer la transformation du système énergétique mondial. Organisation intergouvernementale créée en 2011, l'IRENA promeut l'adoption généralisée et l'utilisation durable de toutes les formes d'énergies renouvelables, notamment la bioénergie, la géothermie, l'hydroélectricité, l'énergie des océans, l'énergie solaire et éolienne, dans la poursuite des efforts visant à un développement durable, à l'accès à l'énergie, à la sécurité énergétique, à la croissance et à la prospérité économiques pauvres en carbone. [www.irena.org](http://www.irena.org)

ISBN 978-92-9260-299-4

**Citation** : IRENA (2021), Zones adéquates pour les énergies solaire et éolienne à échelle industrielle : Burkina Faso. Agence internationale pour les énergies renouvelables, Abou Dhabi.

Ce document est traduit de « Utility-scale solar and wind areas: Burkina Faso » ISBN: 978-92-9260-290-1 (2021). En cas de divergence entre cette traduction et l'original anglais, le texte anglais prévaut.

---

## Remerciements

L'IRENA tient à remercier les fournisseurs de données contribuant à l'Atlas mondial des énergies renouvelables, en particulier le Programme d'assistance à la gestion du secteur de l'énergie (ESMAP) de la Banque mondiale, East View Geospatial, la Fondation OpenStreetMap, Solargis, le projet ESA GlobCover 2009 et le Programme des Nations Unies pour l'environnement. La méthodologie utilisée dans cette étude provient d'études antérieures menées par l'IRENA en 2013 et 2016 et a été mise à jour en 2020.

L'IRENA tient à remercier les examinateurs et contributeurs suivants : Xabier Nicuesa Chacon et Ivan Moya (National Renewable Energy Center [CENER], Espagne), Daniel Getman (National Renewable Energy Laboratory [NREL], États-Unis), Hosni Ghedira (Université de Khalifa, EAU), Carsten Hoyer Klick, Christoph Schillings et Thomas Wanderer (Centre aérospatial allemand [DLR]), Bart de Lathouwer (Open Geospatial Consortium), Lionel Menard et Lucien Wald (MINES ParisTech), Nicolas Fichaux (consultant), Jacinto Estima (consultant), Dave Renne (International Solar Energy Society), Sandor Szabo (Joint Research Center - Commission européenne), ainsi que David Villar et Jafaru Abdulrahman (Centre de la CEDEAO pour les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique [CERECC]), Abdulmalik Oricha, Ali.

Le rapport a bénéficié de la précieuse collaboration de Nopenyo Dabla et Elizabeth Njoki Wanjiru (IRENA).

Le présent rapport a été élaboré par Imen Gherboudj et Mohammed Sanusi Nababa (IRENA).

Rapport disponible au téléchargement : [www.irena.org/publications](http://www.irena.org/publications)

Merci d'adresser tout commentaire ou requête à : [GlobalAtlasServices@irena.org](mailto:GlobalAtlasServices@irena.org)

---

## AVIS DE NON-RESPONSABILITE

La présente publication et les éléments qu'elle contient sont fournis « en l'état ». Toutes les précautions raisonnables ont été prises par l'IRENA afin de vérifier la fiabilité du contenu de cette publication. Néanmoins, ni l'IRENA ni aucun de ses fonctionnaires, agents, fournisseurs de contenu tiers ou de données ne peuvent fournir de garantie de quelque nature que ce soit, exprimée ou implicite. Ils déclinent donc toute responsabilité quant aux conséquences découlant de l'utilisation de cette publication ou de son contenu. Toutes les précautions raisonnables ont été prises par l'IRENA afin de vérifier la fiabilité du contenu de cette publication. Les appellations employées dans la présente publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent, de la part de l'IRENA, aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites territoriales.

# TABLE DES MATIÈRES

FIGURES .....	4
ABRÉVIATIONS .....	4
MESURES .....	4
RÉSUMÉ .....	5
<hr/>	
<b>1</b> INTRODUCTION .....	7
<hr/>	
<b>2</b> ÉVALUATION DE L'ADÉQUATION .....	9
2.1 Définition des seuils pour chaque critère .....	10
2.2 Système de notation .....	11
2.3 Attribution d'une pondération permettant la comparaison par paires.....	11
2.4 Agrégation de tous les critères .....	12
2.5 Exclusion des zones réglementées .....	12
2.6 Chiffrage du potentiel de développement.....	12
<hr/>	
<b>3</b> PORTÉE ET QUALITÉ DES DONNÉES.....	14
3.1 Données relatives aux ressources solaires .....	15
3.2 Données relatives aux ressources éoliennes .....	16
3.3 Topographie.....	17
3.4 Répartition de la population.....	18
3.5 Réseau de transmission électrique.....	19
3.6 Réseau routier .....	20
3.7 Aires protégées .....	21
3.8 Occupation du sol .....	22
<hr/>	
<b>4</b> RÉSULTATS.....	23
<hr/>	
<b>5</b> CONCLUSION .....	26
<hr/>	
BIBLIOGRAPHIE .....	27

## FIGURES

---

Figure 1.	Méthode d'évaluation de l'adéquation.....	10
Figure 2.	Rayonnement solaire global sur surface horizontale au Burkina Faso (annuel) .....	15
Figure 3.	Vitesse moyenne annuelle du vent au Burkina Faso.....	16
Figure 4.	Topographie du Burkina Faso.....	17
Figure 5.	Réseau de transmission électrique au Burkina Faso.....	19
Figure 6.	Réseau routier au Burkina Faso.....	20
Figure 7.	Aires protégées au Burkina Faso.....	21
Figure 8.	Occupation du sol au Burkina Faso.....	22
Figure 9.	Solaire photovoltaïque à échelle industrielle : zones de prospection les mieux adaptées au Burkina Faso.....	24
Figure 10.	Énergie éolienne à échelle industrielle : zones de prospection les mieux adaptées au Burkina Faso.....	24

## ABRÉVIATIONS

---

AICD	Diagnostic des infrastructures nationales en Afrique
GHI	Rayonnement solaire global sur surface horizontale
IRENA	Agence internationale pour les énergies renouvelables
OSM	OpenStreetMap
PV	Photovoltaïque
RRA	Évaluation de l'état de préparation aux énergies renouvelables
SIG	Système d'information géographique
WDPA	Base de données mondiale sur les aires protégées

## MESURES

---

GW	gigawatt
km	kilomètre
km <sup>2</sup>	kilomètre carré
kWh	kilowattheure
m <sup>2</sup>	mètre carré
MW	mégawatt

# RÉSUMÉ

La présente étude vise à cartographier les zones propices au déploiement de projets d'énergie solaire photovoltaïque et éolienne à échelle industrielle au Burkina Faso. Elle vise à i) donner un aperçu du potentiel du pays à adopter les énergies solaire photovoltaïque et éolienne ; ii) éclairer la planification des infrastructures nationales tout au long de la chaîne de valeur de l'approvisionnement en électricité, couvrant la production, le transport et la distribution ; et iii) fournir une contribution essentielle à des modèles de politiques publiques à haut niveau visant à assurer l'approvisionnement universel en électricité et à contribuer à la lutte à long terme contre les changements climatiques.

L'étude combine les données de ressources de haute précision avec des facteurs auxiliaires tels que la densité de la population à l'échelle locale, les aires protégées, la topographie, l'occupation du sol, et la proximité des réseaux de transmission électrique et routier, en faisant appel à une méthodologie d'évaluation de l'adéquation. Cette méthodologie – mise au point par l'Agence internationale pour les énergies renouvelables (IRENA) en 2013 et maintenant mise à jour sur la base de l'expérience accumulée au niveau mondial et d'une capacité accrue à collecter des données – a permis d'identifier les zones du pays qui méritent qu'on y mène des recherches plus approfondies, dans le contexte d'un développement intensifié des énergies renouvelables.

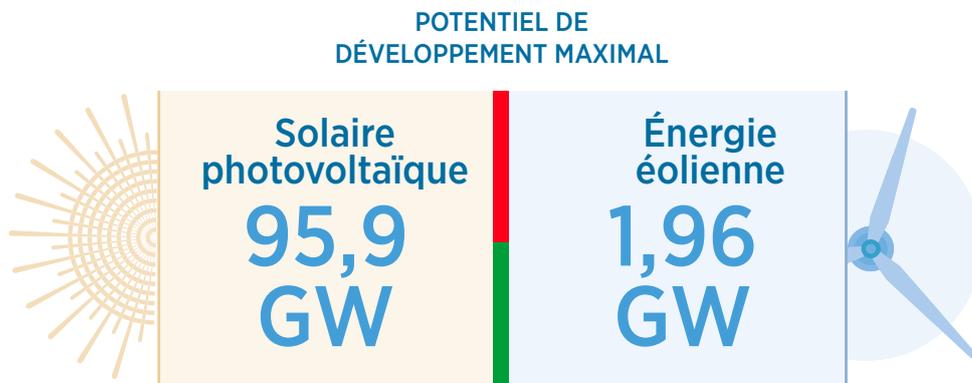
La méthodologie comprend une procédure d'analyse spatiale, dans laquelle chaque parcelle de terrain d'un kilomètre carré est évaluée sur une échelle de 0 à 100 % pour établir son aptitude à accueillir un projet éolien ou solaire photovoltaïque. Un système de notation fondé sur un jeu de critères (eux-mêmes basés sur les données relatives aux ressources renouvelables et informations auxiliaires) est appliqué. Le score de 0 % est appliqué au terrain le moins favorable et 100 % au plus favorable. Ces critères sont agrégés à l'aide d'une combinaison linéaire pondérée visant à chiffrer les conditions de faisabilité d'une centrale solaire photovoltaïque ou éolienne, sur la base de la recherche et des pratiques du secteur (IRENA, 2016c).

Les critères auxquels il est fait appel pour identifier les zones appropriées pour le développement de projets solaires photovoltaïques et éoliens ne sont pas d'égale importance ; ainsi, des pondérations ont été attribuées aux critères sur la base d'une approche analytique hiérarchique, dans laquelle des experts en planification des énergies renouvelables du pays ont fourni indépendamment une opinion éclairée sur l'importance de chaque critère pour l'évaluation.

Les résultats de cette étude indiquent qu'une partie de la superficie du Burkina Faso est adaptée au développement des énergies solaire photovoltaïque et éolienne. Elle suggère un potentiel de développement maximal d'environ 95,9 GW pour les projets solaires photovoltaïques et de 1,96 GW pour les projets éoliens, en posant en principe une densité d'installation de 50 MW par kilomètre carré pour le solaire photovoltaïque, 5 MW par kilomètre carré pour l'éolien et un indice d'occupation du sol de 1 %. L'indice d'occupation a été fixé sur la base du fait que toute la surface propice ne pourra pas être affectée à la production d'électricité, en raison des autres usages concurrents des sols tels que l'agriculture et la protection du patrimoine, entre autres ; cet aspect est abordé plus en détail dans la section 4.

Ces résultats suscitent de nouvelles initiatives visant à identifier des sites spécifiques pour une évaluation approfondie, à l'aide de données spatiales et temporelles à haute résolution. Cependant, il faut être conscient des limites de cette étude – en particulier en termes de sensibilité du résultat aux hypothèses posées lors de la fixation des seuils pour chaque critère et de qualité des jeux de données sous-jacents. Des questions non techniques, telles que la propriété foncière, peuvent également peser sur le choix des zones à envisager pour une évaluation plus approfondie.

Les sites ayant du potentiel dans ces zones bénéficieront du service d'évaluation des sites de l'IRENA. Cela comprend une évaluation de préfaisabilité qui détermine la viabilité technique et financière des sites pour le développement de projets solaires photovoltaïques et éoliens à l'aide de séries de données temporelles à échelle réduite, des caractéristiques spécifiques du site et des paramètres spécifiques de la technologie considérée.



## 1

# INTRODUCTION

**La présente évaluation d'adéquation a été réalisée à la demande du gouvernement du Burkina Faso afin de cartographier des zones susceptibles d'accueillir des projets solaires photovoltaïques (PV) et éoliens à échelle industrielle.**

À l'heure actuelle, les personnes ayant accès à l'électricité vivent majoritairement en zone urbaine, et représentent moins de 25 % de la population. Dans les villes, le taux d'accès à l'électricité est de 65 % en moyenne, mais il plonge pour atteindre à 3 % en zone rurale. Le pays vise à atteindre 95 % d'accès à l'électricité, et 50 % dans les zones rurales, ainsi qu'un accès universel à des appareils de cuisson salubres et peu polluants dans les zones urbaines ; et 65 % dans les zones rurales à l'horizon 2030, contre 9 % en 2020.

L'utilisation du potentiel de ressources renouvelables du Burkina Faso permettrait au pays de réduire sa forte dépendance vis-à-vis de la production d'électricité de source thermique et des importations d'énergie. Le pays pourrait également se rapprocher de l'objectif de 50 % de production d'énergie renouvelable stipulé dans la politique du secteur de l'énergie de 2014 et dans la loi de 2017 portant régulation du secteur de l'énergie.

L'évaluation de l'adéquation pourra aider le Ministère à choisir les zones à développer et permettra la création de plans directeurs à moindre coût. Cela permettra au secteur de l'énergie de mener des évaluations plus détaillées et qui tiennent compte des coûts d'investissement et d'exploitation des

centrales à construire dans les zones jugées les plus propices.

Cet appui, selon le Ministère, contribuera à la conception et à la mise en œuvre de stratégies nationales d'électrification. Ces plans alimenteront l'initiative d'électrification rurale de Yeleen, qui vise à installer une capacité solaire photovoltaïque cumulée de 50 mégawatts (MW), grâce à laquelle 150 000 nouveaux ménages auront accès à l'électricité. Cette évaluation de l'adéquation permettra également de répondre au besoin d'ajouter quelque 650 mégawatts crête (MWc) en projets de centrales solaires photovoltaïques à l'horizon 2025, dans le cadre du Plan national de développement économique et social et du Programme national d'électrification rurale. En outre, les résultats de ce rapport visent à éclairer la conception et le développement de projets à l'échelon régional dans le pays, alors que le Burkina Faso envisage de renforcer les échanges d'électricité avec les pays limitrophes (Bénin, Niger, Nigéria et Togo) grâce à des interconnexions régionales.

L'évaluation de l'adéquation pourra aider le Ministère à choisir les zones à développer et permettra la création de plans directeurs à moindre coût sur la base des analyses réalisées. Cela permettra au secteur de l'énergie de mener des évaluations plus détaillées et qui tiennent compte des coûts d'investissement et d'exploitation des centrales à construire dans les zones jugées les plus propices.

La première section de la présente étude décrit la méthodologie utilisée pour mettre en place les postulats sur lesquels ont été définis les critères d'évaluation de l'adéquation et les exigences servant à mener l'évaluation. Les sept critères pris en compte (qualité des ressources, réseau de transmission électrique, réseau routier, topographie, aires protégées, densité de la population et occupation du sol) font l'objet d'une explication détaillée, en raison de leurs conséquences sur la planification des projets solaires photovoltaïques et éoliens.

La deuxième section du présent rapport indique, pour chaque critère, les sources de données. Elle

comprend des détails spécifiques tels que les résolutions spatiales et temporelles, l'étendue de la validation et l'usage approprié de chaque jeu de données, compte tenu de leur solidité respective.

Les résultats sont présentés dans la troisième section. Cette dernière comprend des cartes indiquant l'aptitude des différentes zones à recevoir des projets liés à l'énergie solaire et éolienne, ainsi qu'une estimation du potentiel de développement maximal dans le pays.

Le rapport se clôt par un résumé des principales conclusions de l'évaluation et présente des recommandations à l'usage des autorités locales.



**Centrale solaire photovoltaïque hybride de 15 MW à Essakane, au Burkina Faso**

Photo : Gouvernement du Burkina Faso

## 2

## ÉVALUATION DE L'ADÉQUATION

**Fondamentalement, l'évaluation de l'adéquation est une analyse décisionnelle multicritères basée sur un SIG. Elle permet une cartographie objective du potentiel d'un pays ou d'une région donné en termes d'énergies renouvelables.**

Les données relatives aux ressources – telles que le rayonnement solaire ou la vitesse du vent à une altitude donnée – constituent le critère le plus important si l'on veut évaluer le potentiel d'une zone pour développer des projets d'énergies solaire et éolienne. Une telle évaluation nécessite une cartographie des énergies renouvelables

Pour ce qui concerne la production d'énergie photovoltaïque, on utilise une partie du rayonnement solaire appelée rayonnement global sur une surface horizontale, représentée par le sigle GHI (pour Global horizontal irradiance). Cette composante du rayonnement est généralement calculée à l'aide de méthodologies basées sur les caractéristiques physiques du site ou de statistiques basées sur des mesures faites au sol ou par satellite. Les jeux de données, tels que ceux fournis par le Global Solar Atlas de la Banque mondiale ou les cartes solaires SODA de Transvalor recouvrent plus de 20 ans de données historiques horaires dont la résolution spatiale est de 1 km ; ils permettent de calculer un GHI annuel moyen représentatif à long terme (voir section 3.1).

Les données relatives à la vitesse du vent proviennent généralement de modèles développés pour la recherche et les prévisions météorologiques ainsi que de techniques d'assimilation de données visant à obtenir une description la plus réaliste possible des événements météorologiques – il s'agit de données de réanalyse. Les jeux de données, tels que l'Atlas mondial des vents de l'Université technique du Danemark ainsi que les cartes des vents dressées par Vortex recouvrent des jeux de données historiques horaires à long terme dont la résolution spatiale est de 1 km. Ils permettent de calculer une vitesse annuelle moyenne du vent représentative à différentes altitudes (voir la section 3.1).

Les critères techniques (pente et altitude), financiers (proximité des réseaux de transmission électrique et routiers) et socio-environnementaux (aires protégées, occupation du sol et croissance démographique) sont d'une grande importance lors du choix d'une zone destinée à la construction d'un parc solaire ou éolien. Les zones à forte déclivité et à haute altitude posent des problèmes liés à l'accès au chantier ; l'éloignement des axes routiers ou du réseau de transmission électrique pèse quant à lui sur les coûts d'infrastructure et de mise en place. Les critères liés aux sols sont moins pertinents, car ils dépendent des législations nationales. Les jeux de données associés à ces critères sont générés à l'aide de différentes techniques et technologies, telles que l'imagerie par satellite et les données SIG (voir la section 3.1).

Pour chaque unité définie par le maillage (cellule), un indice d'aptitude est calculé en combinant le potentiel lié aux ressources en énergies renouvelables (solaire ou éolienne) à des critères techniques, financiers et socio-environnementaux, et ce, à l'aide d'une combinatoire linéaire pondérée (voir la section 2.4). De cette manière, la faisabilité ou l'opportunité d'accueillir un projet solaire ou éolien peut être chiffrée dans chaque zone considérée. Une évaluation de ce genre fait appel à un système de notation qui chiffre la faisabilité en fonction de chaque critère retenu (voir sections 2.1 et 2.2) et attribue une pondération à chacun d'entre eux à l'aide d'une méthodologie de hiérarchie analytique (voir section 2.3). Le score final de 0 à 100 % reflète l'adéquation de manière proportionnelle, celle-ci étant d'autant plus forte que le chiffre est élevé. De toute évidence, les zones adéquates sont celles qui présentent un potentiel en ressources élevé ainsi que de faibles impacts techniques, financiers et socio-environnementaux (IRENA, 2016c).

Par exemple, un emplacement idéal pour un parc éolien à échelle industrielle de 50 à 100 MW obtiendra un score élevé lorsque le site présente une vitesse du vent moyenne annuelle élevée, se situe à une distance raisonnable du réseau de transmission électrique et des axes routiers, présente un terrain relativement plat, est très compétitif en termes d'occupation du sol et se situe en dehors de zones écologiquement sensibles.

D'un autre côté, une zone peut présenter un fort potentiel en ressources, mais se trouver à distance des réseaux de transmission électrique ou des axes routiers.

Ces zones seront étudiées, mais se verront attribuer des scores inférieurs à ceux du site idéal. En d'autres termes, elles présenteraient un bon terrain de développement, mais à condition d'envisager des investissements supplémentaires dans le réseau de transmission électrique ou dans le réseau routier.

La méthodologie d'évaluation de l'adéquation des projets solaires photovoltaïques et éoliens a été mise en œuvre en Amérique latine<sup>1</sup>, dans les États du Conseil de coopération du Golfe (CCG),<sup>2</sup> en Asie du Sud-Est, en Europe du Sud-Est et dans certaines parties de l'Afrique. Les étapes de cette méthodologie sont représentées à la Figure 1.

**Figure 1.** Méthode d'évaluation de l'adéquation



## 2.1 Définition des seuils pour chaque critère

Des seuils inférieur et supérieur sont fixés pour chacun des critères ci-dessus afin de déterminer si une cellule du maillage doit être considérée comme marginale ou au contraire particulièrement adaptée au développement du projet (tableau 1).

Pour ce qui concerne l'énergie solaire photovoltaïque, les sites présentant un GHI annuel inférieur à 1000 kWh/m<sup>2</sup> sont considérés comme non adaptés et se voient attribuer un score de 0 %, alors que les zones présentant un GHI annuel de 2200 kWh/m<sup>2</sup> ou davantage sont considérées comme très favorables et se voient attribuer un score de 100 %.

En ce qui concerne les vents, les zones présentant des vitesses du vent moyennes annuelles inférieures à 6 m/s ne valent sans doute pas la peine d'être envisagées pour y développer un projet et reçoivent un score de 0 % (Höfer et al., 2016), alors que les zones présentant des vitesses du vent supérieures à 8 m/s sont considérées comme très favorables et se voient attribuer un score de 100 %. Le seuil inférieur a été fixé à l'aide des conclusions de la méthodologie d'évaluation de site que l'IRENA a menée sur 36 sites de projets éoliens, qui présentaient différents régimes de vent, différentes morphologies et différents reliefs.

Ces évaluations ont démontré que les sites présentant une vitesse annuelle moyenne du vent allant jusqu'à 5,4 m/s ont des facteurs de charge inférieurs à 23 %.

Les zones favorables au développement de projets solaires photovoltaïques devraient présenter une pente inférieure à 11 % (Noorollahi et al., 2016) ; pour les projets éoliens, le maximum serait de 30 % (Tegou et al., 2010 ; Höfer et al., 2016).

Pour ce qui concerne la proximité des réseaux routiers et du réseau de transmission électrique, trois experts burkinabés ont fixé la distance minimale à 0,5 km, sans cependant dépasser respectivement 20 km et 25 km.

<sup>1</sup> Pour de plus amples informations, consulter : IRENA (2016b).

<sup>2</sup> Pour de plus amples informations, consulter : IRENA (2016a).

## 2.2 Système de notation

Chaque unité terrestre dans le maillage fait l'objet d'une notation suivant les seuils et les postulats définis dans le tableau 1. Les zones n'atteignant pas le seuil inférieur (ressources basses, proximité des centres de charge, des réseaux routiers et du réseau de transmission électrique) ou dépassant le seuil supérieur (pente trop élevée, éloignement excessif des axes routiers et des réseaux de transmission électrique) sont exclues de l'analyse.

Les zones qui se voient attribuer des scores compris entre les seuils inférieur et supérieur font quant à elles l'objet d'une notation suivant une interpolation linéaire.

Par exemple, un emplacement présentant un GHI annuel de 1900 kWh/m<sup>2</sup> obtiendra un score de 75 %, compte tenu des seuils inférieur et supérieur figurant au tableau 1.

$$1 - \frac{\text{Valeur du seuil}_{\text{supérieur}} - \text{valeur}}{\text{Valeur du seuil}_{\text{supérieur}} - \text{Valeur du seuil}_{\text{inférieur}}}$$

## 2.3 Attribution d'une pondération permettant la comparaison par paires

Les critères pris en compte pour identifier les zones adaptées au développement de projets solaires photovoltaïques et éoliens au cours de la présente analyse ne sont pas d'égale importance. Les zones à fort potentiel de ressources, mais qui se trouvent plus à l'écart des axes routiers seront, dans l'ensemble, plus facilement prises en considération que les zones présentant un faible potentiel de ressources, mais situées à proximité des routes.

Le processus d'analyse hiérarchique (AHP) élaboré par Saaty (2008) est une méthodologie multicritère d'aide à la décision (MCDM) largement répandue. Elle a pour principal avantage de permettre de gérer facilement plusieurs critères en les comparant deux à deux, par paires.

Il faut souligner que cette méthode repose sur le jugement d'experts, de manière à déterminer l'importance qu'il convient d'accorder à chaque critère lors du choix d'un site où développer des projets solaires photovoltaïques ou éoliens.

Trois experts du Ministère burkinabé du pétrole, de l'énergie et des mines ont réalisé indépendamment une matrice de comparaison par paires applicable aux zones susceptibles d'accueillir des projets solaires photovoltaïques et éoliens. Ces matrices ont été résolues de manière à en déduire les pondérations attribuées à chaque critère par ces experts. La pondération définitive de chaque critère a été fixée en faisant la moyenne des pondérations calculées, comme le montre le tableau 1.

Le retour des experts montre également que la plupart des critères retenus pour le solaire photovoltaïque et l'éolien n'étaient pas d'égale importance. Pour l'énergie solaire photovoltaïque, priorité est donnée aux zones situées à proximité immédiate d'un réseau de transmission électrique, tandis que pour l'énergie éolienne, les zones prioritaires sont celles où les vitesses du vent sont les plus élevées.



Photo : Shutterstock

## 2.4 Agrégation de tous les critères

Pour chaque cellule de maillage, l'indice d'aptitude est calculé en agrégeant tous les critères considérés à l'aide d'une combinaison linéaire pondérée et en attribuant une pondération à chaque critère (tableau 1).

$$SI_i = \sum_{j=1}^n W_j S_{ij}$$

où,

$SI_i$  représente l'indice d'aptitude pour la cellule  $i$ ,

$W_j$  représente la pondération attribuée au critère  $j$ ,

$S_{ij}$  représente le score de la cellule  $i$  sous le critère  $j$ , et

$n$  représente le nombre de critères.

## 2.5 Exclusion des zones réglementées

Contrairement aux critères précédents, les zones restreintes – telles que les aires protégées, les forêts, les zones bâties et les zones humides – sont exclues de la carte d'indice d'aptitude sur la base d'une carte de contraintes binaires produite à l'aide d'une procédure de classification simple. Cela implique que 0 est appliquée à toutes les zones dans la zone réglementée, tandis que 1 est appliquée à toutes les zones situées à 15 mètres au-delà des zones réglementées.

Cette carte de contraintes binaires est ensuite multipliée par l'indice d'aptitude calculé (étape 4) pour obtenir la valeur d'aptitude finale pour chaque cellule de maillage. Autrement dit, une cellule de maillage dans une zone restreinte avec un score de 90 % dans les calculs précédents obtiendra finalement un score de 0 % (90 % x 0), tandis qu'une autre cellule de maillage avec un score similaire dans les zones non restreintes obtiendra un score de 90 % (90 % x 1).

## 2.6 Chiffrage du potentiel de développement

Pour quantifier les perspectives révélées par les cartes en potentiel de développement maximal, les empreintes foncières (capacité d'accueil par kilomètre carré de superficie) et les indices d'occupation du sol (pourcentage de la superficie totale appropriée pouvant être utilisée pour le développement de projets) pour les projets solaires photovoltaïques et éoliens doivent être définis.

Peu d'études ont estimé l'empreinte foncière pour l'énergie solaire photovoltaïque à échelle industrielle à 33 MW/km<sup>2</sup> (Ong et al., 2013). Cependant, selon les conditions du site et les lois locales, un système plus grand jusqu'à 50 MW – comme la centrale électrique de Masdar Sheikh Zayed à Nouakchott, en Mauritanie – peut occuper un kilomètre carré de superficie (Masdar, 2013).

En ce qui concerne l'éolien, des études menées par le Laboratoire national des énergies renouvelables (NREL) en tenant compte des données de 172 projets éoliens suggèrent une densité de capacité moyenne globale de 3,0 ± 1,7 MW/km<sup>2</sup> (Denholm et al., 2009).

Cependant, une étude plus récente menée par la même institution a montré que l'empreinte foncière a diminué pour se fixer en moyenne à 5 MW/km<sup>2</sup> (Eurek et al., 2017).

Quant à l'indice d'occupation du sol, il est généralement fixé à 1 % pour couvrir les zones proches de la partie domiciliée du pays et éviter toute surestimation du potentiel de développement.

**Tableau 1.** Méthodologie d'évaluation de l'adéquation des projets solaires photovoltaïques et éoliens : système de notation, seuils inférieur et supérieur et pondérations attribuées à chaque critère

Critères	Système de notation (%)		Unités	Pondérations
Rayonnement solaire global annuel	{ 0 [0,100] 100	pour $GHI < 1\,000$ ; pour $1\,000 \leq GHI \leq 2\,200$ ; pour $GHI \geq 2\,200$	kWh/m <sup>2</sup>	0,15
Vitesse annuelle du vent à 100 m de hauteur	{ 0 [20,100] 100	pour $VV < 6$ ; pour $6 \leq VV \leq 8$ ; pour $VV \geq 8$	m/s	0,48
Distance au réseau électrique pour le solaire photovoltaïque	{ 0 [0,100]	pour distance $> 25$ pour $25 \geq \text{distance} \geq 0,5$	km	0,43
Distance au réseau électrique pour l'éolien terrestre	{ 0 [0,100]	pour distance $> 25$ pour $25 \geq \text{distance} \geq 0,5$	km	0,24
Distance à la route pour le solaire photovoltaïque	{ 0 [0,100]	pour distance $> 20$ pour $20 \geq \text{distance} \geq 0,5$	km	0,16
Distance à la route pour l'éolien terrestre	{ 0 [0,100]	pour distance $> 20$ pour $20 \geq \text{distance} \geq 0,5$	km	0,08
Pente pour le solaire photovoltaïque	{ 0 [0,100]	pour pente $> 11$ pour $11 \geq \text{pente} \geq 0$	%	0,16
Pente pour l'éolien terrestre	{ 0 [0,100]	pour pente $> 30$ pour $30 \geq \text{pente} \geq 0$	%	0,11
Densité de la population	{ 0 [0,100]	pour habitants $> 500$ pour $500 \geq \text{habitants} \geq 0$	-	0,10 pour le solaire PV 0,09 pour l'éolien
Aires protégées	{ 0 1	à l'intérieur 15 km à l'extérieur	-	-
Occupation du sol	{ 0 1	à l'intérieur à l'extérieur	-	-

# 3

## PORTÉE ET QUALITÉ DES DONNÉES

Les données prises en compte pour mener l'évaluation de l'adéquation des projets solaires photovoltaïques et éoliens ont été collectées en fonction des critères définis (section 2). Ces critères comprennent les cartes des ressources solaires et éoliennes, les caractéristiques topographiques (altitude et pente), la proximité du réseau de transmission électrique et des réseaux routiers et la proximité des centres de population et des zones écologiquement sensibles.

Les critères comprennent les ressources, la topographie, les infrastructures locales et la protection de l'environnement



**Centrale solaire photovoltaïque hybride de 15 MW à Essakane, Burkina Faso**

Photo : Gouvernement du Burkina Faso

## 3.1 Données relatives aux ressources solaires

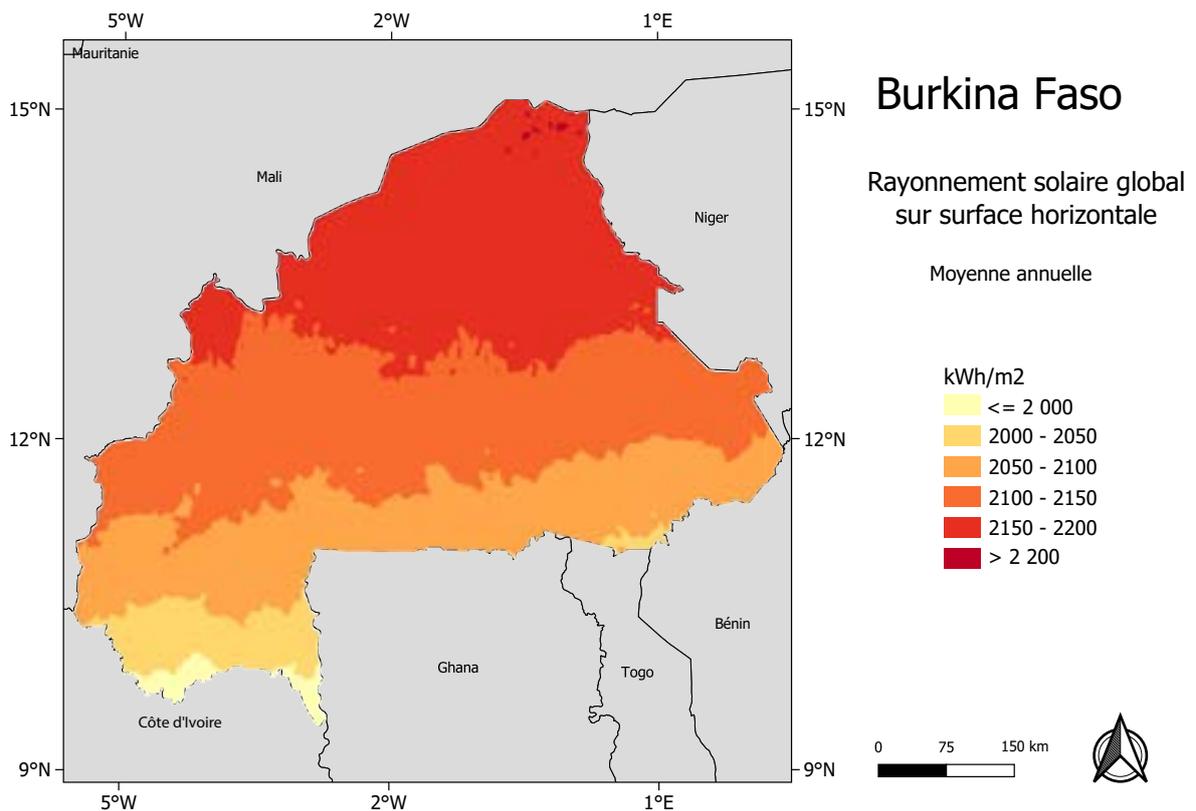
Les données annuelles moyennes de rayonnement solaire global sur surface horizontale (GHI) utilisées par la présente étude proviennent du Global Solar Atlas de la Banque mondiale, développé par Solargis (ESMAP, 2019b), (Figure 2).

Les données sont calculées à une résolution de 1 km de côté, à l'aide du rayonnement solaire détecté par satellite à long terme, sur une période allant de 1994 à 2015.

Parmi les satellites utilisés, on peut citer ceux de l'Organisation européenne pour l'exploitation des satellites météorologiques (EUMETSAT), de la flotte météorologique géostationnaire japonaise (qui a pour nom « Himawari ») et de la National Oceanic and Atmospheric Administration du Département du commerce des États-Unis d'Amérique (ibid.).

Les données du Global Solar Atlas ont été validées à l'aide de mesures au sol dans 228 sites à travers le monde. La précision des valeurs annuelles de GHI est de ce fait comprise entre  $\pm 4\%$  et  $\pm 8\%$  (ESMAP, 2019a).

**Figure 2.** Rayonnement solaire global sur surface horizontale au Burkina Faso (annuel)



Source : Global Solar Atlas (ESMAP, 2019b).

Remarque : également disponible sur le site de l'Atlas mondial des énergies renouvelables de l'IRENA.

Clause de non-responsabilité : les limites indiquées sur ces cartes n'impliquent aucune approbation ou acceptation officielle par l'IRENA.

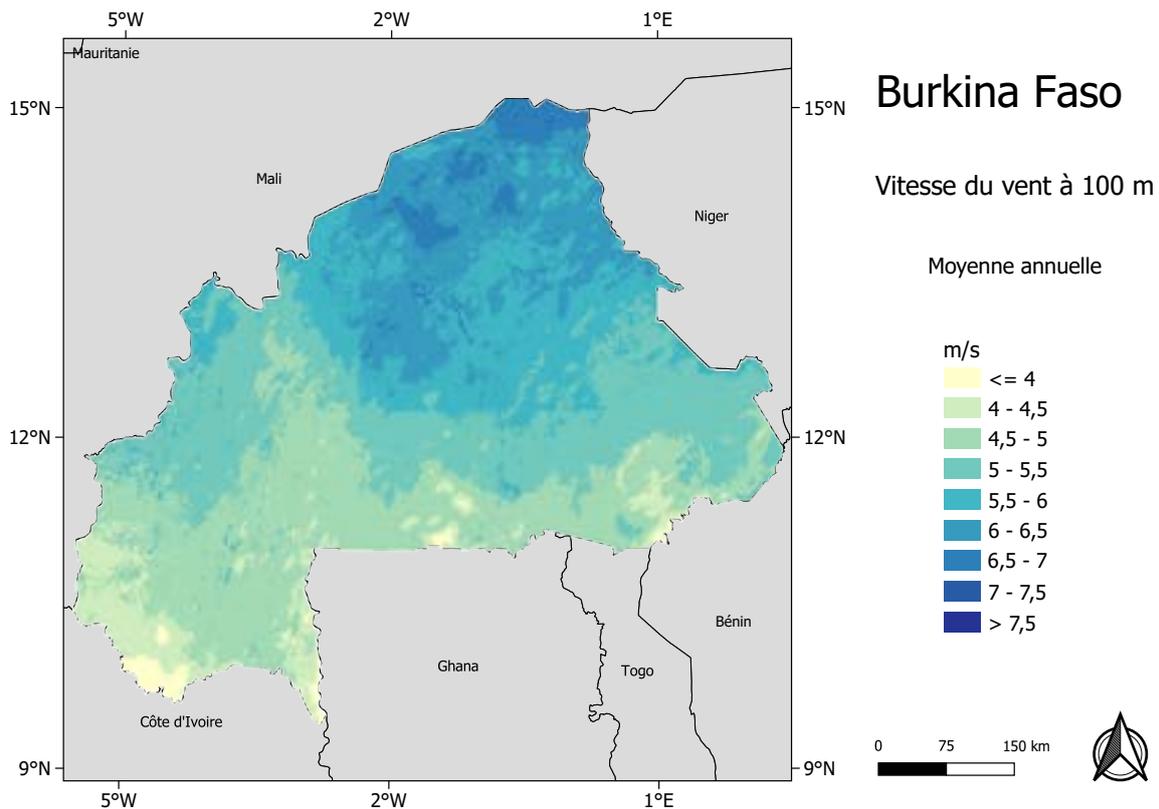
## 3.2 Données relatives aux ressources éoliennes

Les données annuelles portant sur les ressources éoliennes moyennes prises en compte dans cette étude proviennent du Global Wind Atlas (GWA 1.0) développé par l'Université technique du Danemark (DTU) en collaboration avec l'IRENA et d'autres instituts internationaux (Figure 3).

Le jeu de données Global Wind Atlas contient des données relatives à la climatologie du vent, par couches, à une résolution de 1 km et pour des hauteurs de moyeu de 50 m, 100 m et 200 m au-dessus du sol.

Les données par couches ont été produites à l'aide du modèle à échelle micro du Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP) sur la base de données de réanalyse telles que la Climate Forecasting System Reanalysis (CFSR), la Climate Four-Dimensional Data Assimilation (C-FDDA), la Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications (MERRA), et la Réanalyse du Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (ECMWFRA ou ERA). Les données produites permettent de saisir la variabilité spatiale à petite échelle des vitesses du vent en raison du relief, de la rugosité de surface et des effets du changement, et ce, avec une haute résolution (Badger et al., n.d).

**Figure 3.** Vitesse moyenne annuelle du vent au Burkina Faso



Source : Global Wind Atlas 1.0 (Université technique du Danemark (DTU), 2015).

Remarque : également disponible sur le site de l'Atlas mondial des énergies renouvelables de l'IRENA.

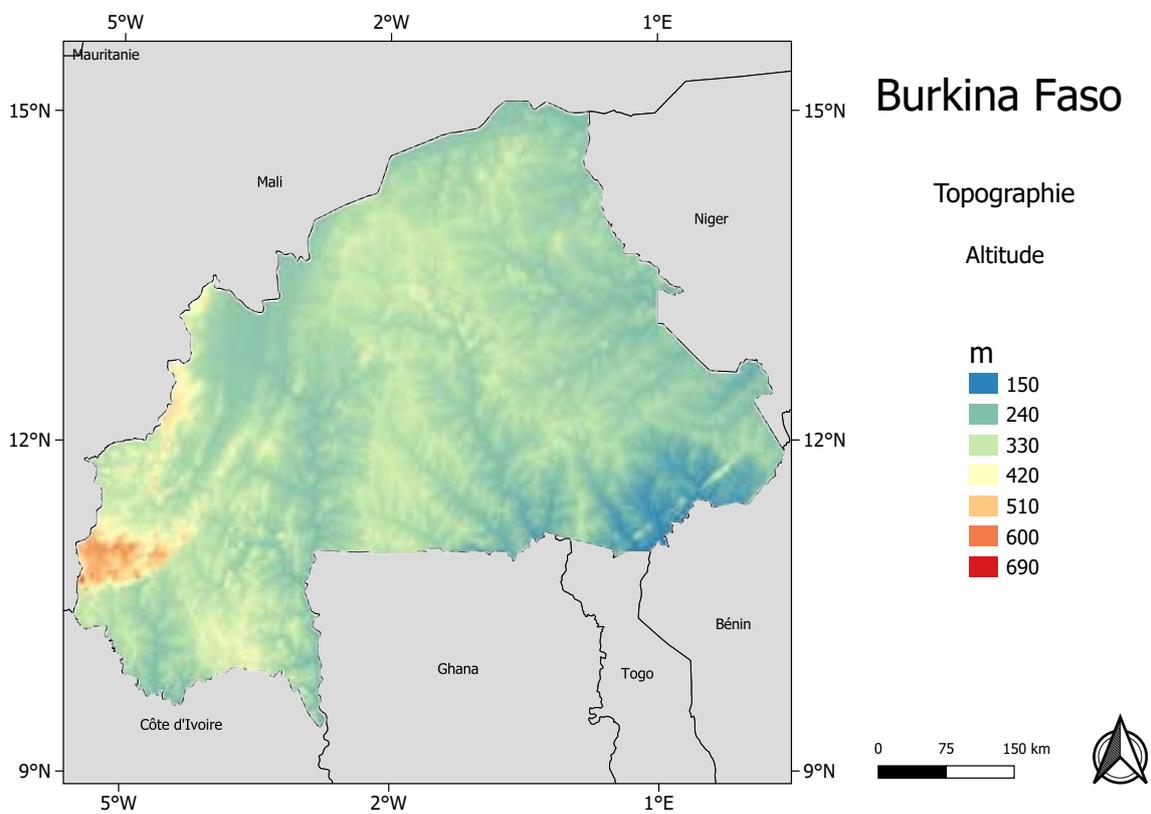
Clause de non-responsabilité : les limites indiquées sur ces cartes n'impliquent aucune approbation ou acceptation officielle par l'IRENA.

### 3.3 Topographie

Les données altimétriques (au-dessus du niveau de la mer) proviennent du jeu de données topographiques numériques à haute résolution (90 mètres) élaboré en 2004 à l'aide des données de la Mission de cartographie radar de la Terre par la navette spatiale (SRTM).

Ce jeu de données a établi la pente des terres émergées et permis de profiler des environnements complexes dont il est probable que les développements resteront absents. La topographie prise en compte pour le Burkina Faso est illustrée à la figure 4.

**Figure 4.** Topographie du Burkina Faso



Source : modèle d'élévation numérique de la Mission de cartographie radar de la Terre par la navette spatiale.

Remarque : également disponible sur le site de l'Atlas mondial des énergies renouvelables de l'IRENA.

Clause de non-responsabilité : les limites indiquées sur ces cartes n'impliquent aucune approbation ou acceptation officielle par l'IRENA.

## 3.4 Répartition de la population

---

La couche de densité de population considérée dans cette étude provient du jeu de données relatives à la répartition mondiale de la population LandScan™ 2018 élaboré par le Laboratoire national de Oak Ridge (ORNL). Ces données sont générées à une résolution spatiale d'environ 1 km et distribuées par East View Geospatial. Les données représentent la répartition de la population ambiante de jour et de nuit, modélisée à l'aide d'algorithmes asymétriques.

Ces algorithmes se fondent sur des informations tirées des recensements dans les pays et sont combinés avec des informations spatiales (la topographie, les infrastructures routières, les agglomérations en zones urbaine et rurale, par exemple) pour délimiter les zones inhabitables et affiner leur répartition. Ces estimations sont répétées jusqu'à ce qu'un dénombrement approximatif de la population soit réalisé.



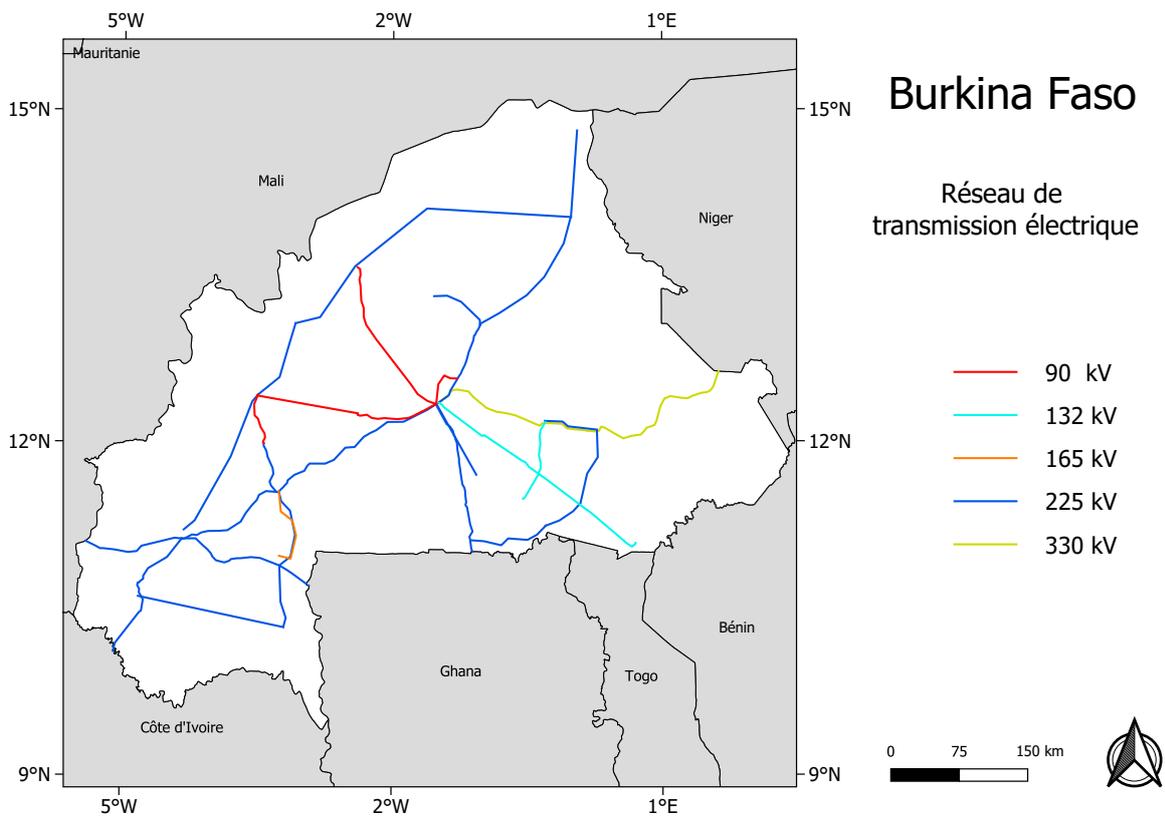
**Ouagadougou, Burkina Faso**

Photo : Shutterstock

### 3.5 Réseau de transmission électrique

Le réseau de transmission utilisé dans la présente analyse a été fourni par le bureau de l'Observatoire national de l'économie territoriale du Burkina Faso, comme le montre la figure 5.

**Figure 5.** Réseau de transmission électrique au Burkina Faso



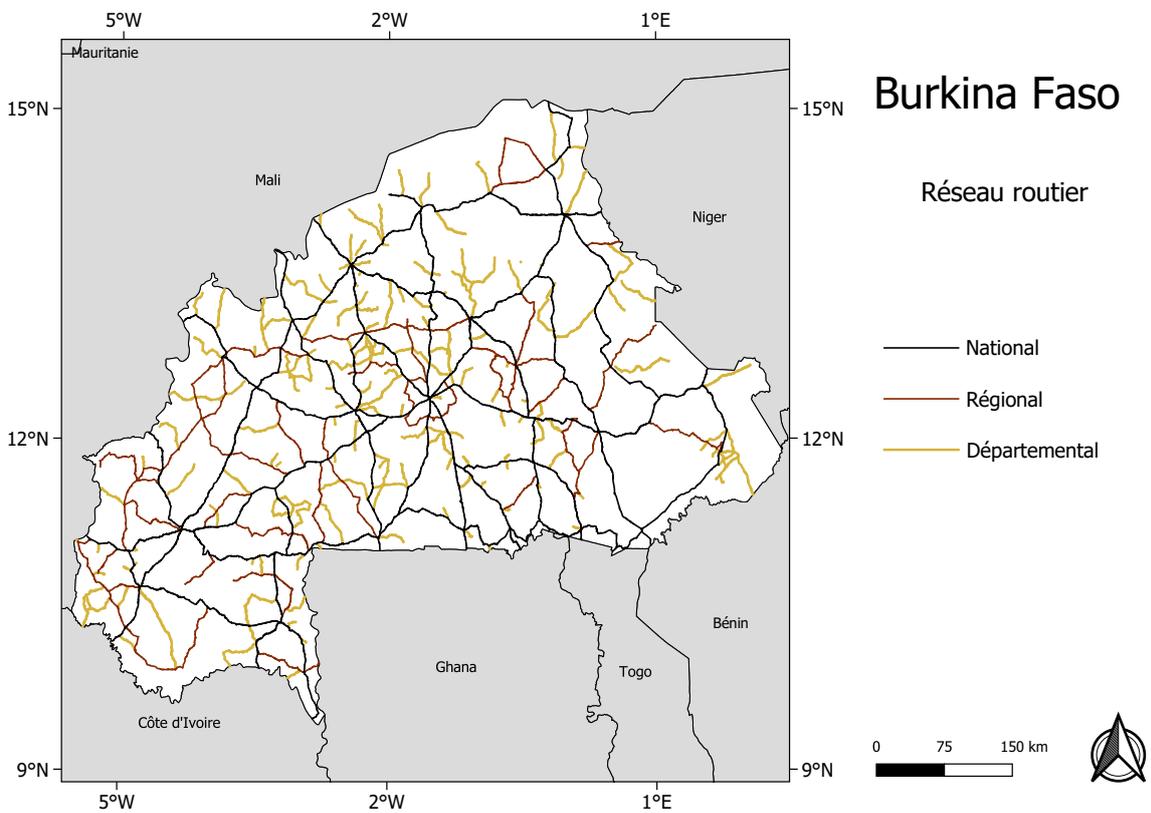
Source : Observatoire national de l'économie territoriale, Burkina Faso (2020).

Clause de non-responsabilité : les limites indiquées sur ces cartes n'impliquent aucune approbation ou acceptation officielle par l'IRENA.

## 3.6 Réseau routier

Le réseau routier considéré dans cette analyse provient du bureau de l'Observatoire national de l'économie territoriale du Burkina Faso. Il comprend les routes nationales, régionales et départementales du pays, comme le montre la figure 6.

**Figure 6.** Réseau routier au Burkina Faso



Source : Observatoire national de l'économie territoriale, Burkina Faso (2020).

Clause de non-responsabilité : les limites indiquées sur ces cartes n'impliquent aucune approbation ou acceptation officielle par l'IRENA.

### 3.7 Aires protégées

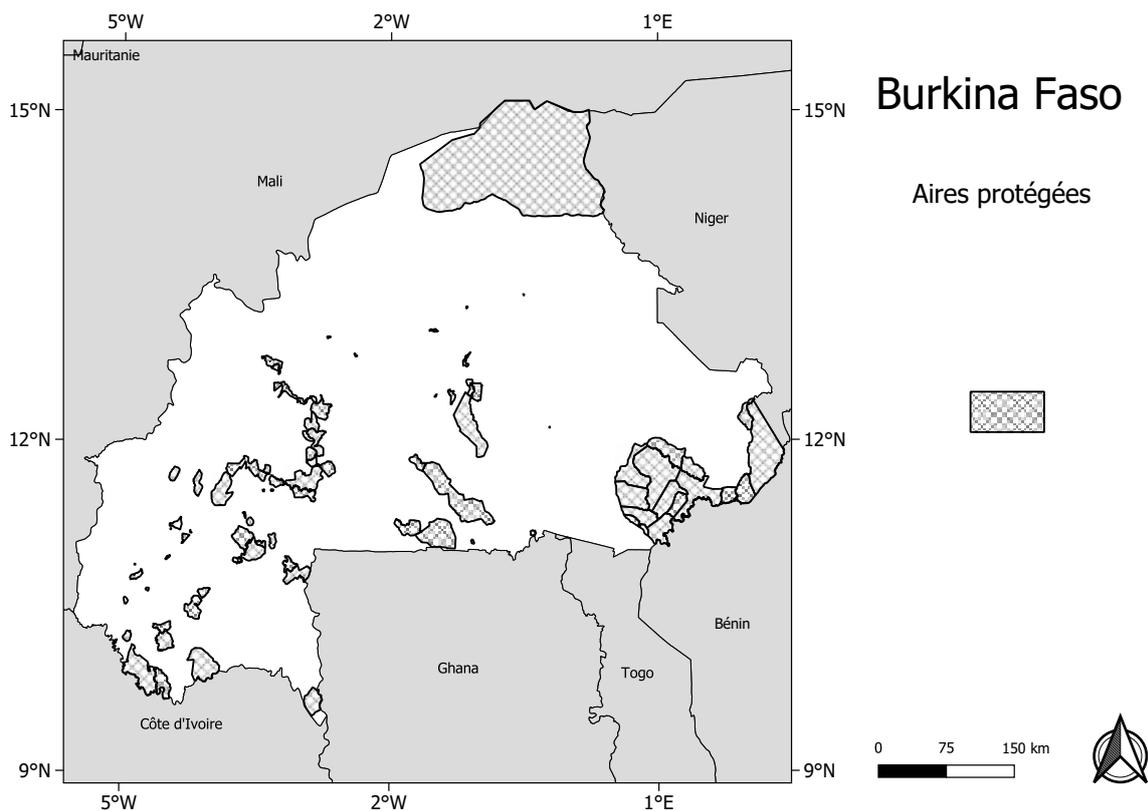
La base de données mondiale sur les aires protégées (WDPA) est la plus complète qui soit sur les aires protégées terrestres et marines. Elle est mise à jour chaque mois. Les scientifiques, les secteurs public et privé et les organisations internationales de développement l'utilisent, entre autres, pour éclairer la planification, l'élaboration des politiques et la gestion (PNUE et al., 2019).

La WDPA est un projet conjoint d'ONU Environnement et de l'Union internationale pour la conservation de la nature.

La compilation et la gestion de la WDPA, qui en est à son édition 2018, sont effectuées par le Centre mondial de surveillance de la conservation de la nature d'ONU Environnement, en collaboration avec les gouvernements, les organisations non gouvernementales, les universités et le secteur privé (PNUE et al., 2019).

Les zones considérées comme écologiquement ou culturellement sensibles seront très probablement exclues du développement de projets et de ce fait on n'en a pas tenu compte pour l'évaluation, comme le montre la figure 7.

**Figure 7.** Aires protégées au Burkina Faso



Source : ONU Environnement, WCMC, UICN (2019).

Remarque : une copie est disponible dans l'« Atlas mondial des énergies renouvelables » de l'Agence internationale pour les énergies renouvelables.

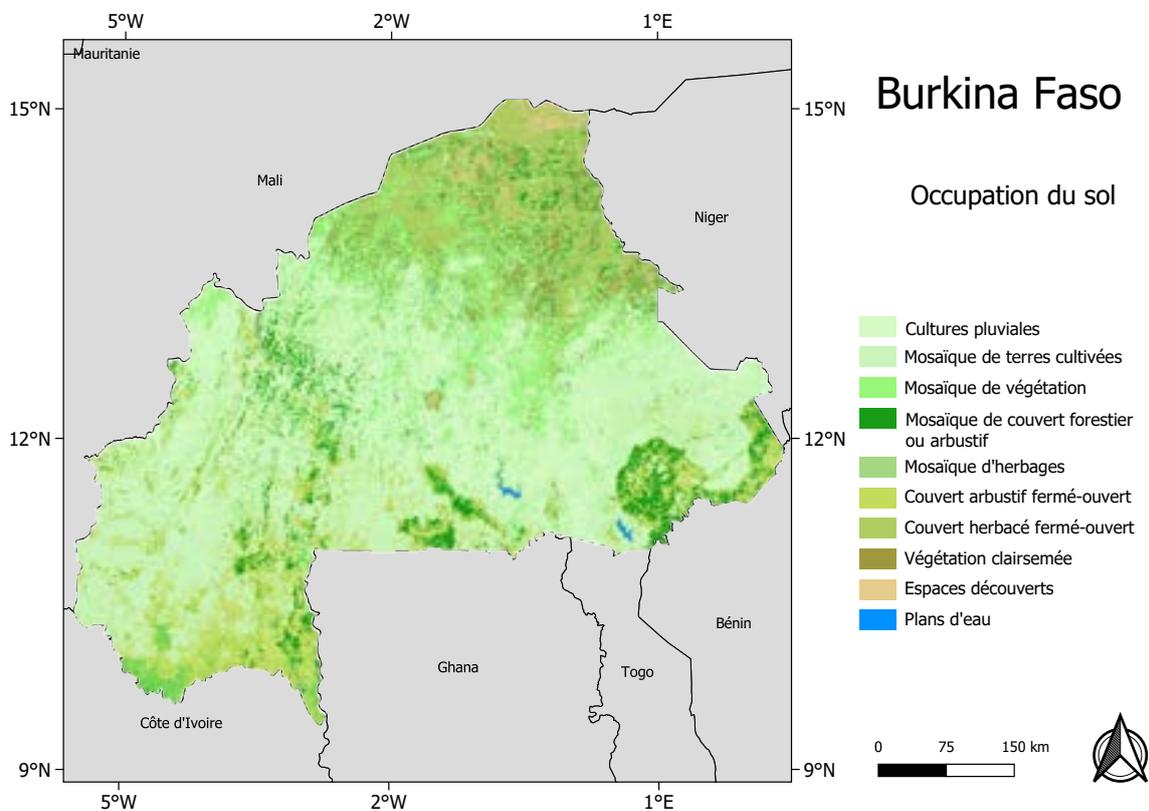
Clause de non-responsabilité : les limites indiquées sur cette carte n'impliquent aucune approbation ou acceptation officielle par l'IRENA.

## 3.8 Occupation du sol

Le jeu de données 2009 GlobCover (Global Land Cover Map) présente la distribution spatiale de 22 types distincts d'occupation du sol — bâti, plans d'eau, terres cultivées et végétation, notamment — à travers le monde à une résolution de 300 mètres.

Ce jeu de données a été largement validé à l'aide d'informations provenant de 3134 stations de terrain à travers le monde. Ainsi, la précision de la classification de l'occupation du sol est d'environ 62,6 % (Bontemps et al., 2011). La figure 8 montre l'occupation du sol au Burkina Faso.

**Figure 8.** Occupation du sol au Burkina Faso



Source : GlobCover 2009 (ESA et UCLouvain).

Remarque : une copie figure dans l'« Atlas mondial des énergies renouvelables » de l'Agence internationale pour les énergies renouvelables.

Clause de non-responsabilité : les limites indiquées sur cette carte n'impliquent aucune approbation ou acceptation officielle par l'IRENA.

# 4

## RÉSULTATS

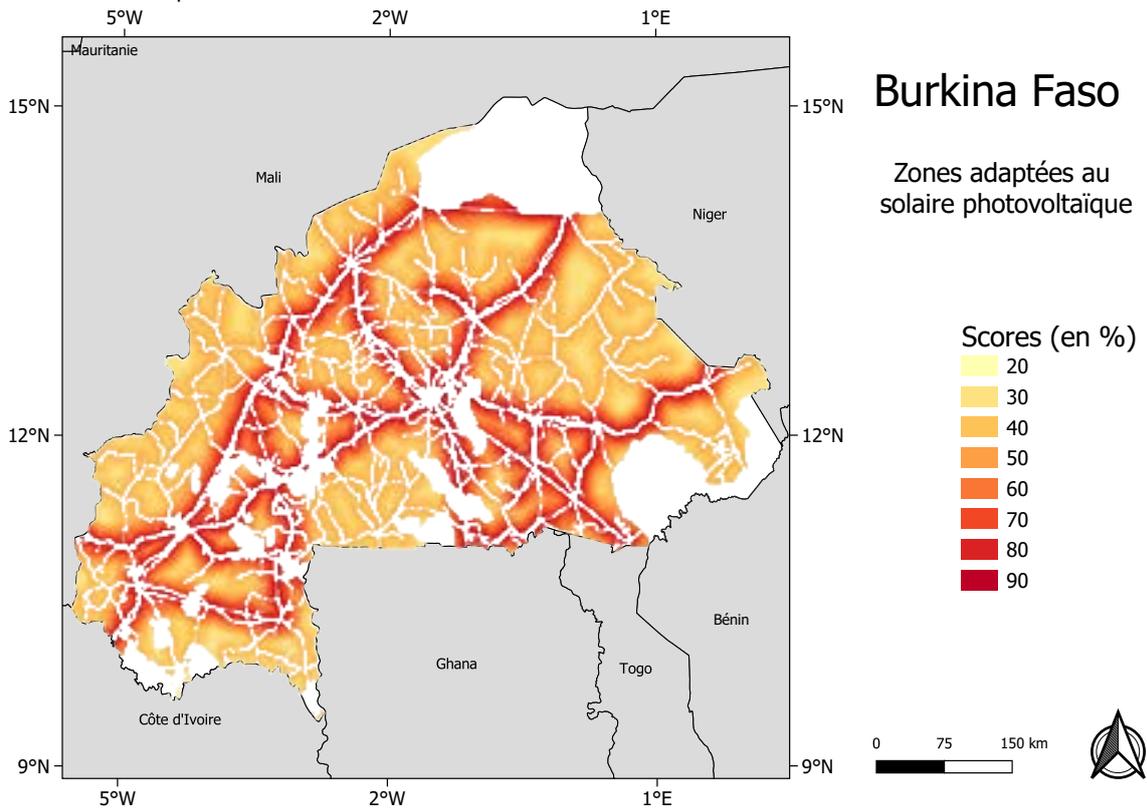
Les figures 9 et 10 ci-dessous présentent la carte d'adéquation des zones pour le développement de projets solaires photovoltaïques et éoliens au Burkina Faso, générée à l'aide de la méthodologie d'évaluation de l'adéquation présentée dans la section 2.

Les résultats obtenus indiquent que 27,4 % et 0,5 % de la superficie totale du pays se prêtent respectivement au développement de projets solaires photovoltaïques et éoliens (soit un indice d'adéquation supérieur à 60 %). Ces zones sont en grande partie situées le long du réseau de transmission.

Pour valider le potentiel de développement indiqué par les cartes, deux hypothèses consécutives ont été émises :

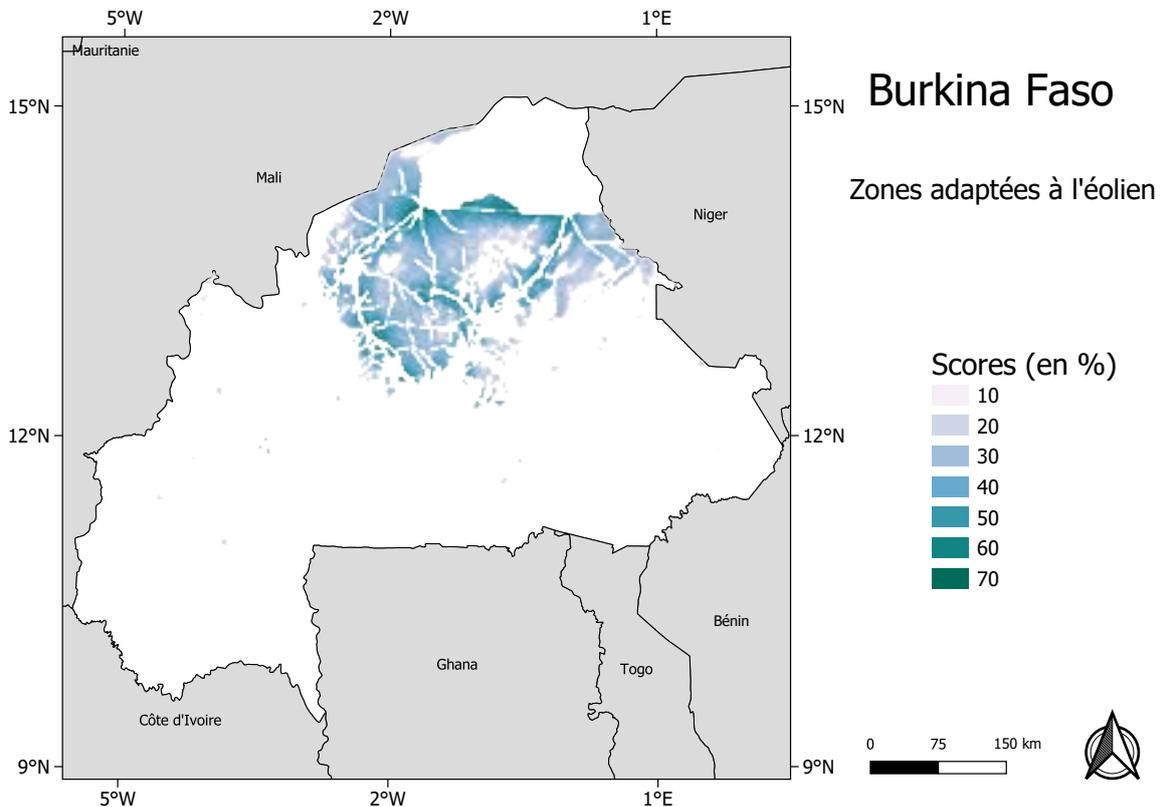
- a. L'emprise au sol des projets solaires photovoltaïques et éoliens a été fixée à 50 MW/km<sup>2</sup> (Masdar, 2013) et 5 MW/km<sup>2</sup>, respectivement (Eurek *et al.*, 2017), ce qui équivaut à des potentiels de développement maximum d'environ 9 589 GW pour le solaire photovoltaïque et de 196 GW pour l'éolien.
- b. L'indice d'occupation du sol pour le développement des projets a été fixé à 1 %, ce qui se traduit par une baisse du potentiel de développement, lequel s'établit à environ 95,9 GW pour les projets solaires photovoltaïques et 1,96 GW pour les projets éoliens.

**Figure 9.** Solaire photovoltaïque à échelle industrielle : zones de prospection les mieux adaptées au Burkina Faso



Source : carte de base (OpenStreetMap) ; scores d'aptitude et zones (IRENA).

**Figure 10.** Éolien à échelle industrielle : zones de prospection les mieux adaptées au Burkina Faso



Source : Carte de base (OpenStreetMap) ; scores d'aptitude et zones (IRENA).

Clause de non-responsabilité : les limites indiquées sur ces cartes n'impliquent aucune approbation ou acceptation officielle par l'IRENA.

Le potentiel de développement maximal découlant de la présente analyse à travers le pays doit néanmoins être interprété avec prudence à la lumière des contraintes suivantes :

1. La proximité d'un réseau de transmission électrique ne signifie pas qu'une connexion est assurée, car celui-ci peut déjà fonctionner à sa capacité de charge maximale.
2. Les aires protégées n'ont pas nécessairement le même niveau de protection et les autorités locales en modifient parfois le statut.
3. Le développement de projets n'aura probablement pas lieu, à vues humaines, dans de vastes zones inoccupées en raison de leur éloignement des infrastructures et des centres de population.
4. D'autres facteurs, tels que la densité de l'air, la rugosité de la surface, la complexité du terrain et la direction du vent pourraient influencer considérablement la production d'électricité d'un parc éolien. Des études plus approfondies doivent être menées pour affiner le choix des zones, en utilisant d'autres critères que la vitesse moyenne annuelle du vent et les autres paramètres sur lesquels se concentre la présente étude.



**Monument des héros nationaux**

Photo : Gouvernement du Burkina Faso

# 5

## CONCLUSION

---

Les résultats de la présente étude indiquent qu'il existe un potentiel important pour le développement des énergies solaire photovoltaïque et éolienne à échelle industrielle au Burkina Faso. Le potentiel de développement maximal à travers le pays est estimé à environ 95,9 GW pour les projets solaires photovoltaïques et 1,96 GW pour les projets éoliens, compte tenu d'une emprise au sol de 50 MW/km<sup>2</sup> pour l'énergie solaire photovoltaïque et de 5 MW/km<sup>2</sup> pour l'éolien et d'un indice d'occupation du sol de 1 %.

Ces conclusions ont pour objectif de susciter une enquête plus approfondie de manière à choisir certains sites qui feront l'objet d'une évaluation détaillée, menée à l'aide de données relatives aux ressources à haute résolution temporelle et spatiale.

Il convient de rappeler les limites de la présente étude - notamment la sensibilité des cartes d'adéquation des zones aux postulats posés pour fixer les seuils et à la qualité des jeux de données

sous-jacents aux différents critères retenus. Des questions non techniques, telles que la propriété foncière, peuvent en outre influencer elles aussi le choix des zones retenues pour y mener une prospection plus approfondie.

Il est loisible au Burkina Faso de choisir des sites prometteurs parmi les zones identifiées comme telles dans la présente étude pour les soumettre au service d'évaluation des sites de l'IRENA ([www.irena.org/globalatlas/Services](http://www.irena.org/globalatlas/Services)) - une étude de préfaisabilité qui déterminerait la viabilité financière et technique d'un site pour le développement de projets solaires photovoltaïques et éoliens en utilisant une série chronologique réduite de données portant respectivement sur le rayonnement solaire et la vitesse du vent. Les jeux de données chronologiques sont soumis à un modèle de production d'électricité robuste et à un modèle financier simplifié, mis au point pour simuler une gamme de tarifs auxquels tel ou tel site se révélerait viable pour le développement d'un projet.

# BIBLIOGRAPHIE

- Baban, S., and T. Parry (2001)**, *“Developing and applying a GIS-assisted approach to locating wind farms in the UK”*, *Renewable energy* 24, pp. 59–71.
- Badger, J.G., et al.**, *“Methodology”*, *Global wind atlas* ; disponible à l'adresse : <http://science.globalwindatlas.info/methods.html>, consulté le 3 octobre 2019.
- Bontemps, S., et al. (2011)**, *GLOBCOVER 2009 Products description and validation report; disponible à l'adresse : [https://epic.awi.de/31014/16/GLOBCOVER2009\\_Validation\\_Report\\_2-2.pdf](https://epic.awi.de/31014/16/GLOBCOVER2009_Validation_Report_2-2.pdf)*, consulté le 1er juin 2020.
- Denholm, P., M. Hand, M. Jackson and S. Ong (2009)**, *Land-use requirements of modern wind power plants in the United States, Technical Report NREL/TP-6A2-45834*, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado ; disponible à l'adresse : [www.nrel.gov/docs/fy09osti/45834.pdf](http://www.nrel.gov/docs/fy09osti/45834.pdf)
- ESMAP (2017)**, *“Global solar atlas.”* Base de données (2017). Banque mondiale, Washington, <https://globalsolaratlas.info>, consulté le 3 mars 2019.
- ESMAP (2019)**, *“Global solar atlas.”* Base de données (2019). Banque mondiale, Washington, DC. <https://globalsolaratlas.info>, consulté le 10 mai 2020.
- Eurek, K. et al. (2017)**, *An improved global wind resource estimate for integrated assessment models, prépublication.*
- DTU (Technical University of Denmark) (2015)**, *Global wind atlas, base de données, DTU, Lyngby (Denmark)*, <http://science.globalwindatlas.info/map.html>, consulté le 20 juin 2019.
- IRENA (International Renewable Energy Agency) (2019)**, base de données de l'Atlas mondial, <https://irena.masdar.ac.ae/gallery>, consultée le 24 mars 2019.
- IRENA (2017)**, *Cost-competitive renewable power generation: Potential across South East Europe, IRENA, Abou Dhabi*, [www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/IRENA\\_Cost-competitive\\_power\\_potential\\_SEE\\_2017.pdf](http://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/IRENA_Cost-competitive_power_potential_SEE_2017.pdf)
- IRENA (2016a)**, *Investment opportunities in the GCC: Suitability maps for grid-connected and off-grid solar and wind projects*, Abou Dhabi, [www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA\\_Atlas\\_investment\\_GCC\\_2016.ashx](http://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_Atlas_investment_GCC_2016.ashx)
- IRENA (2016b)**, *Investment opportunities in Latin America (Global Atlas)*, Abou Dhabi, <https://www.irena.org/publications/2016/Jan/Investment-Opportunities-in-Latin-America-Global-Atlas>
- IRENA (2016c)**, *Investment opportunities in West Africa: Suitability maps for grid connected and off-grid solar and wind projects*, Abou Dhabi.

**Masdar (2013)**, *The Sheikh Zayed Solar Power Plant*, <https://masdar.ae/en/masdar-clean-energy/projects/the-sheikh-zayed-solar-power-plant>, consulté le 11 mai 2020.

**Noorollahi, E. et al. (2016)**, “*Land suitability analysis for solar farms exploitation using GIS and fuzzy analytic hierarchy process (FAHP): A case study of Iran*”, *Energies*, vol. 9, no. 8, p. 643.

**Saaty, T.L. (2008)**, “*Decision making with the analytic hierarchy process*”, *International journal of services sciences*, vol. 1, no. 1, pp. 83–98.

**Sean Ong, S., C. Campbell, P. Denholm, R. Margolis & G. Heath (2013)**, *Land-use requirements for solar power plants in the United States*, prepared under Task Nos. SS12.2230 and SS13.1040, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, United States, [www.nrel.gov/docs/fy13osti/56290.pdf](http://www.nrel.gov/docs/fy13osti/56290.pdf)

**Tegou, L-I., H. Polatidis and D. A. Haralambopoulos (2010)**, “*Environmental management framework for wind farm siting: Methodology and case study*”, *Journal of environmental management*, vol. 91, no. 11, pp. 2134–2147, doi:10.1016/j.jenvman.2010.05.010

**PNUE (Programme des Nations Unies pour l'environnement), WCMC (Centre de surveillance de la conservation de la nature) et IUCN (Union internationale pour la conservation de la nature) (2019)**, “*About protected planet*”, UN Environment, WCMC, IUCN, [www.protectedplanet.net/c/about](http://www.protectedplanet.net/c/about), consulté le 24 mars 2019.





---

Le potentiel existe sur  
le terrain pour que le  
Burkina Faso développe  
de solides industries  
solaires et éoliennes

---





[www.irena.org](http://www.irena.org)

**Siège de l'IRENA**

P.O. Box 236, Abou Dhabi  
Émirats arabes unis

© IRENA 2021

