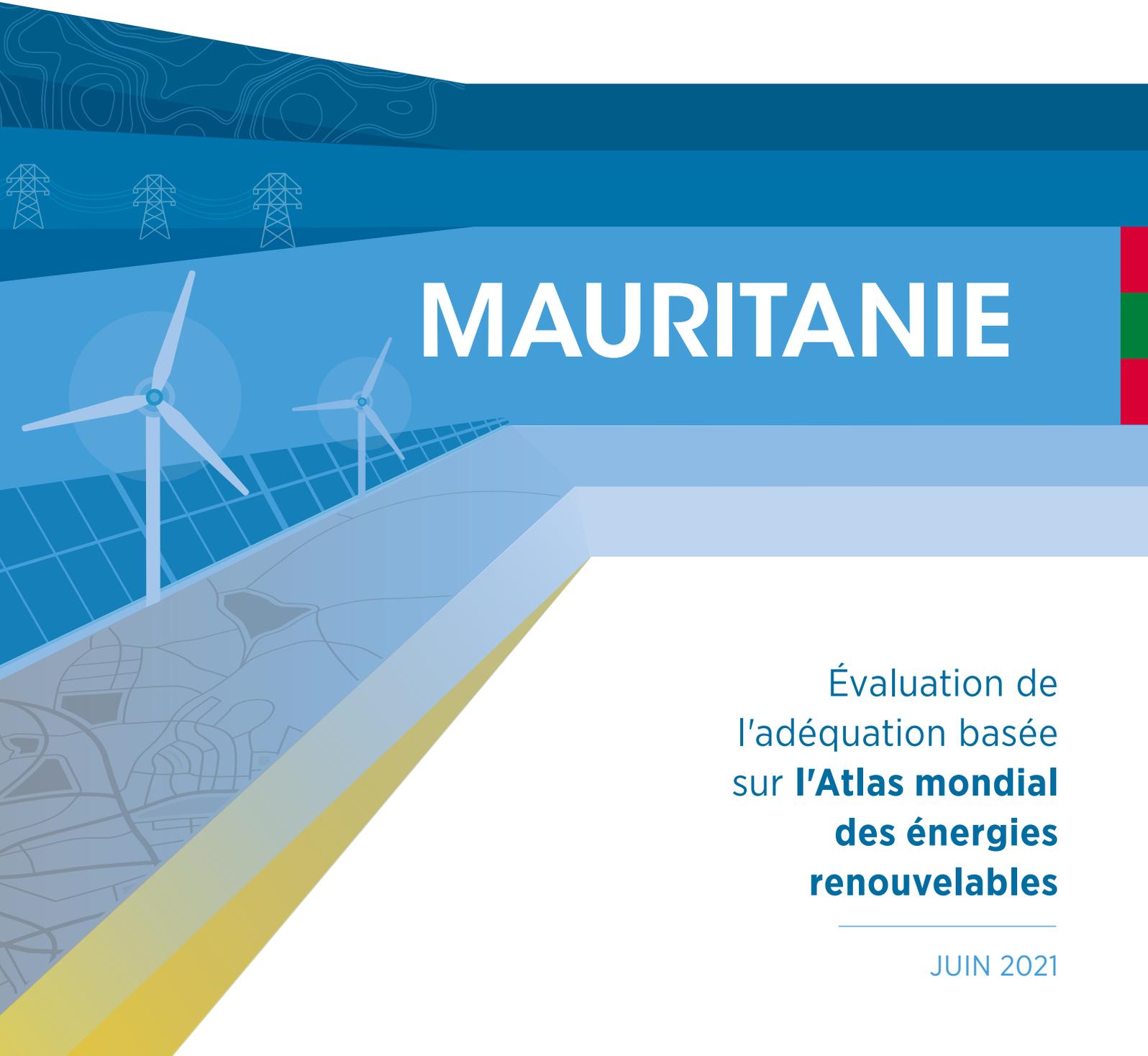


ZONES ADÉQUATES POUR LES ÉNERGIES SOLAIRE ET ÉOLIENNE À ÉCHELLE INDUSTRIELLE



MAURITANIE

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

JUIN 2021

© 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 le 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. L'IRENA promeut la large adoption et l'utilisation durable de toutes les formes d'énergies renouvelables, notamment la bioénergie, la géothermie, l'hydroélectricité, l'énergie

The standard boilerplate ismarine, solaire et éolienne, dans un objectif de développement durable, d'accès à l'énergie, de sécurité énergétique, de croissance économique à sobre en carbone et de prospérité.

www.irena.org

ISBN 978-92-9260-324-3

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

Ce document est traduit de « Utility-scale solar and wind areas: Mauritania » ISBN: 978-92-9260-248-2 (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, le Centre de données socio-économiques et d'applications de la NASA 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 suivants : Xabier Nicuesa Chacon et Ivan Moya (National Renewable Energy Center [CENER], Espagne), Daniel Getman (National Renewable Energy Laboratory [NREL], USA), 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), 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 [CERECEC]).

Les recherches portant sur le contexte et le pays ont été menées par Zoheir Hamed et Reem Korban.

Le présent rapport a été élaboré par Imen Gherboudj, Mohammed Sanusi Nababa, Abdulmalik Oricha Ali et Jacinto Estima.

Rapport disponible au téléchargement : www.irena.org/publications

Merci d'adresser tout commentaire ou requête à : GARE@irena.org

AVIS DE NON-RESPONSABILITÉ

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.

Les informations contenues dans le présent document ne reflètent pas nécessairement les positions de tous les Membres de l'IRENA. La mention d'entreprises spécifiques ou de projets ou produits particuliers ne signifie pas qu'ils sont approuvés ou recommandés par l'IRENA au détriment d'autres éléments de nature similaire qui ne sont pas mentionnés. 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/>	
1 INTRODUCTION	7
<hr/>	
2 ÉVALUATION DE L'ADÉQUATION	9
2.1 Définition des seuils pour chaque critère	10
2.2 Système de notation	11
2.3 Attribution de pondération par 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/>	
3 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.....	17
3.5 Réseau des lignes de transport d'électricité.....	18
3.6 Réseau routier	19
3.7 Aires protégées	20
3.8 Couverture terrestre	21
<hr/>	
4 RÉSULTATS.....	22
<hr/>	
5 CONCLUSION	27
<hr/>	
BIBLIOGRAPHIE	28

FIGURES

Figure 1. Méthode d'évaluation de l'adéquation.....	10
Figure 2. Rayonnement solaire global sur surface horizontale (moyenne annuelle) en Mauritanie	14
Figure 3. Vitesse du vent (moyenne annuelle) en Mauritanie.....	15
Figure 4. Topographie de la Mauritanie.....	16
Figure 5. Réseau des lignes de transports d'électricité en Mauritanie.....	17
Figure 6. Réseau routier en Mauritanie.....	18
Figure 7. Aires protégées en Mauritanie.....	19
Figure 8. Occupation des sols en Mauritanie.....	20
Figure 9. Solaire photovoltaïque à échelle industrielle : les zones de prospection les mieux adaptées en Mauritanie.....	22
Figure 10. Énergie éolienne à échelle industrielle : les zones de prospection les mieux adaptées en Mauritanie.....	22
Figure 11. Énergie solaire photovoltaïque : potentiel technique dans quatre villes de Mauritanie.....	23
Figure 12. Énergie éolienne : potentiel technique dans quatre villes de Mauritanie.....	23

ABRÉVIATIONS

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

MESURES

GW	gigawatt
km	kilomètre
km ²	kilomètre carré
kWh	kilowattheure
m ²	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 en Mauritanie. 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 des données de haute précision quant aux ressources à des facteurs auxiliaires tels que la densité de la population à l'échelon local, les aires protégées, la topographie, l'affectation des sols, les lignes de transport du courant électrique et la proximité du réseau 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 portant sur les ressources renouvelables et informations auxiliaires) est appliqué. La note de 0 % est appliquée 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 importante de la superficie de la Mauritanie est parfaitement adaptée au développement des énergies solaire photovoltaïque et éolienne. Elle suggère un potentiel de développement maximal d'environ 457,9 GW pour les projets solaires photovoltaïques et de 47 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'affectation des sols de 1%. L'indice d'affectation 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 détaillé dans la section 4.

Les résultats de l'étude révèlent que plusieurs zones situées dans quatre des principales villes de la Mauritanie - à savoir Nouakchott (qui compte 661 400 habitants), Nouadhibou (72 337 habitants), Kiffa (40 281 habitants) et Zouérate (38 000 habitants) (World Population Review, 2020) - se prêtent au développement de projets solaires photovoltaïques et éoliens qui devraient faire l'objet d'explorations plus poussées.

Ces résultats visent à susciter 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 la 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.

POTENTIEL DE DÉVELOPPEMENT MAXIMAL



1

INTRODUCTION

Cette étude a été réalisée à la demande du Gouvernement mauritanien. La demande faisait suite à la conclusion d'une évaluation de l'état de préparation aux énergies renouvelables (RRA) menée en coopération avec l'Agence internationale pour les énergies renouvelables (IRENA) en 2017.

Les études RRA constituent un outil de grande envergure pour évaluer les conditions de déploiement des énergies renouvelables au niveau national et plus spécifiquement les actions nécessaires pour améliorer ces conditions. Le processus de RRA de la Mauritanie, lancé à la demande du Gouvernement en septembre 2015, a été mené par l'IRENA en collaboration avec le bureau pays du Programme des Nations Unies pour le développement et le Ministère mauritanien du pétrole, de l'énergie et des mines.

La RRA de Mauritanie répertorie les difficultés auxquelles la capacité du Gouvernement à déployer des technologies liées aux énergies renouvelables risque de se heurter, l'objectif étant d'atteindre une croissance économique accélérée dans le pays. L'évaluation fournit un ensemble de recommandations élaborées en consultation avec les parties prenantes des secteurs public et privé pour aider la Mauritanie à tirer le meilleur parti de ses vastes ressources en énergies renouvelables.

Conformément au processus post-RRA, le Ministère mauritanien du pétrole, de l'énergie et des mines a demandé en mai 2019 le soutien de l'IRENA pour entreprendre une évaluation de l'adéquation, l'objectif étant de cartographier les zones présentant un potentiel pour accueillir des projets solaires photovoltaïques et éoliens à échelle industrielle.

Ce soutien, selon le Ministère, aidera à l'introduction de projets solaires photovoltaïques et éoliens supplémentaires sur le réseau de transport d'énergie et contribuera à atteindre les objectifs nationaux visant à atteindre 50 % de la production totale d'électricité à partir de sources renouvelables d'ici 2020 et 100 % d'ici 2050.

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 lignes de transport d'électricité, réseau routier, topographie,

aires protégées, densité de la population et affectation des sols) 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 de la présente étude 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. Les résultats couvrent également le potentiel de développement de quatre villes, à savoir Nouakchott, Nouadhibou, Kiffa et Zouérate.

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



Installation solaire photovoltaïque de 16,6 MW destinée à faire partie du programme d'électrification rurale de la Mauritanie

Photo : Masdar et SOMELEC (Société mauritanienne de l'électricité)

2

ÉVALUATION DE L'ADÉQUATION

Fondamentalement, l'évaluation de l'adéquation consiste en une analyse décisionnelle multicritères basée sur un SIG. Elle permet de cartographier le potentiel d'un pays ou d'une région donné en termes d'énergies renouvelables et ce sur des bases objectives.

Les données portant sur les 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 qui permette de rendre compte des ressources en termes d'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 de l'ensoleillement 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 correspond à un maillage de 1 km ; ils permettent de calculer un GHI annuel moyen représentatif à long terme (voir section 3.1).

Les données portant sur 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 correspond à un maillage 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 lignes de transport d'électricité et des réseaux routiers) et socio-environnementaux (aires protégées, affectation des sols 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 transport 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 (v. 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). La note finale, de 0 à 100 % reflète l'adéquation de manière proportionnelle, l'adéquation 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 transport et des axes routiers, présente un terrain relativement plat, est très compétitif en termes d'affectation des sols 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 transport d'énergie ou des axes routiers.

Ces zones seront étudiées mais se verront attribuer des notes inférieures à celles du site idéal. En d'autres termes, elles présentent un bon terreau de développement mais à condition d'envisager des investissements supplémentaires dans le réseau de transport d'électricité ou dans le réseau routier.

La méthodologie d'évaluation de l'adéquation des projets solaires photovoltaïques et éoliens a été mise en oeuvre en Amérique latine¹, dans les États du Conseil de coopération du Golfe (CCG)², en Asie du Sud-Est, en Europe du Sud-Est et dans certaines parties de l'Afrique. La méthodologie suit les étapes suivantes (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/m² sont considérés comme non adaptés et se voient attribuer une note de 0 %, alors que les zones présentant un GHI annuel de 2200 kWh/m² ou davantage sont considérées comme très favorables et se voient attribuer une note 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 une note 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 une note 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 capacité 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 des lignes de transport d'énergie, les trois experts mauritaniens fixent la distance maximale à respectivement 77 km et 70 km. Quant aux distances minimales, elles sont généralement fixées à : (i) 0,05 km du réseau routier et 0 km du réseau de lignes de transport d'électricité (Mott MacDonald, 2017) pour les centrales solaires photovoltaïques ; et (ii) 0,2 km des axes routiers et des lignes de transport d'énergie si l'on tient compte de la hauteur moyenne des grandes éoliennes (hauteur du moyeu plus rayon du rotor) (ENA, 2012) (voir tableau 1).

¹ Pour de plus amples informations, consulter : IRENA (2016b).

² 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 transport d'énergie) ou dépassant le seuil supérieur (pente trop élevée, éloignement excessif des axes routiers et des réseaux de transport d'énergie) sont exclues de l'analyse.

Les zones qui se voient attribuer des notes comprises 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 1 900 kWh/m² obtiendra une note 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 tout en se situant 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 mauritanien du pétrole, de l'énergie et des mines ont réalisé indépendamment une matrice de comparaison par paires applicable aux zones susceptibles d'héberger 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.

Les retours des experts montrent également que la plupart des critères retenus pour le solaire photovoltaïque et l'éolien étaient considérés comme étant d'égale importance.



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" (4x) l'indice d'aptitude pour la cellule i ,

W_j est la pondération attribuée au critère j ,

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

n est 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 à l'aide 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 réseau. Autrement dit, une cellule de réseau dans une zone restreinte avec une note de 90 % dans les calculs précédents obtiendra finalement une note de 0% (c'est-à-dire 90 % x 0), tandis qu'une autre cellule de réseau avec un score similaire dans les zones non restreintes obtiendra un score de 90 % (soit 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 d'affectation des sols (capacité d'accueil par kilomètre carré de superficie) et les facteurs d'affectation des sols (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 d'affectation des sols pour l'énergie solaire photovoltaïque à l'échelle industrielle à 33 MW/km² (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/km² (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/km² (Eurek *et al.*, 2017).

Quant au facteur d'utilisation des terres, 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 (en %)		Unités	Pondérations
Ensoleillement global annuel	{ 0 [0,100] 100	pour GHI < 1000; pour 1000 ≤ GHI ≤ 2 200; pour GHI ≥ 2 200	kWh/m ²	0,38
Vitesse annuelle du vent à 100 m de hauteur	{ 0 [20,100] 100	pour VV < 6; p ≤ VV ≤ 8 pour VV ≥ 8	m/s	0,39
Distance au réseau pour l'énergie solaire photovoltaïque	{ 0 [0,100]	pour distance > 70 pour 70 ≥ distance ≥ 0	km	0,33
Distance au réseau pour l'éolien terrestre	{ 0 [0,100]	pour distance > 70 pour 70 ≥ distance ≥ 0,2	km	0,33
Distance à la route pour le solaire photovoltaïque	{ 0 [0,100]	pour distance > 77 pour 77 ≥ distance ≥ 0,05	km	0,13
Distance de la route pour l'éolien terrestre	{ 0 [0,100]	pour distance > 77 pour 77 ≥ distance ≥ 0,2	km	0,13
Pour le solaire photovoltaïque	{ 0 [0,100]	pour pente > 11 pour 11 ≥ pente ≥ 0	%	0,05
Valeur de pente pour l'éolien terrestre	{ 0 [0,100]	pour pente > 30 pour 30 ≥ pente ≥ 0	%	0,05
Densité de la population	{ 0 [0,100]	pour habitants > 500 pour 500 ≥ habitants ≥ 0	-	0,11 pour le solaire PV 0,10 pour l'éolien
Aires protégées	{ 0 1	à l'intérieur 15 km à l'extérieur	-	-
Couverture terrestre	{ 0 1	à l'intérieur à l'extérieur	-	-

3

PORTÉE ET QUALITÉ DES DONNÉES

Les données prises en compte pour mener l'évaluation de la pertinence 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 des lignes de transport d'électricité 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 Cheikh Zayed à Nouakchott, d'une capacité de 15 MW

Photo : Masdar et SOMELEC (Société mauritanienne de l'électricité)

3,1 Données portant sur les ressources solaires

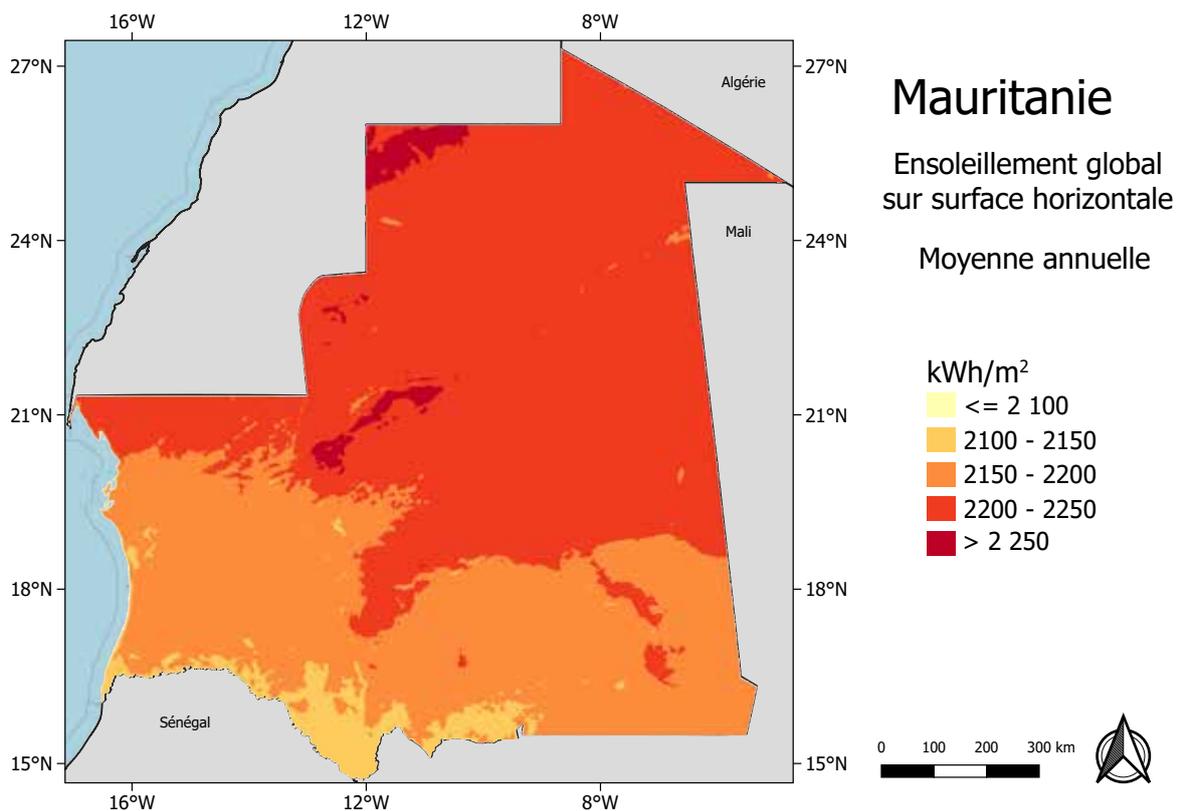
Les données annuelles moyennes de rayonnement solaire global sur surface horizontale (GHI) utilisées par la présente étude proviennent du Global Solar Atlas de la Banque mondiale, développé par Solargis (ESMAP, 2019b), (Figure 2).

Les données sont calculées avec une résolution de cellule d'un maillage 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 en Mauritanie (moyenne annuelle)



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 : Cette carte est fournie uniquement à titre d'illustration. Les frontières et noms y figurant n'impliquent l'expression d'aucune opinion de la part de l'IRENA concernant le statut d'une région, d'un pays, d'un territoire, d'une ville ou d'une zone géographique ni de leurs autorités, ni concernant la démarcation des frontières.

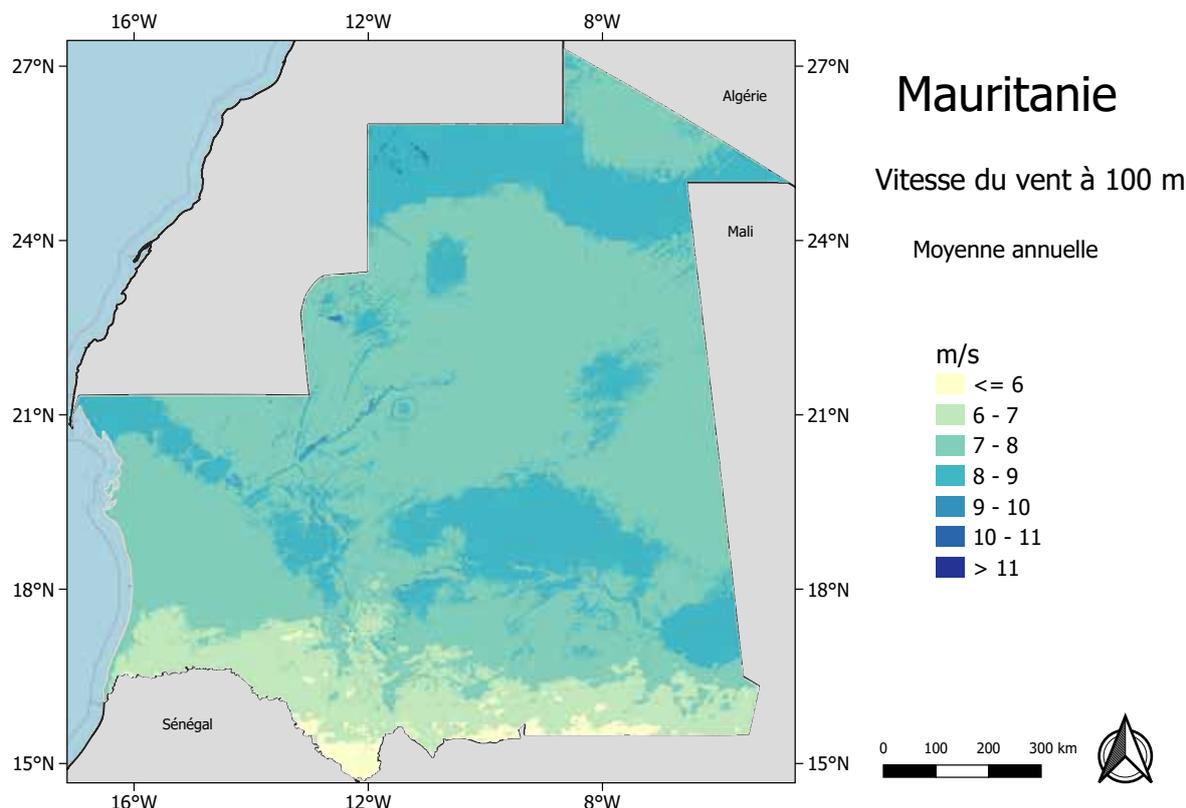
3.2 Données portant sur les ressources éoliennes

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, 100 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 du vent en Mauritanie (moyenne annuelle)



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.

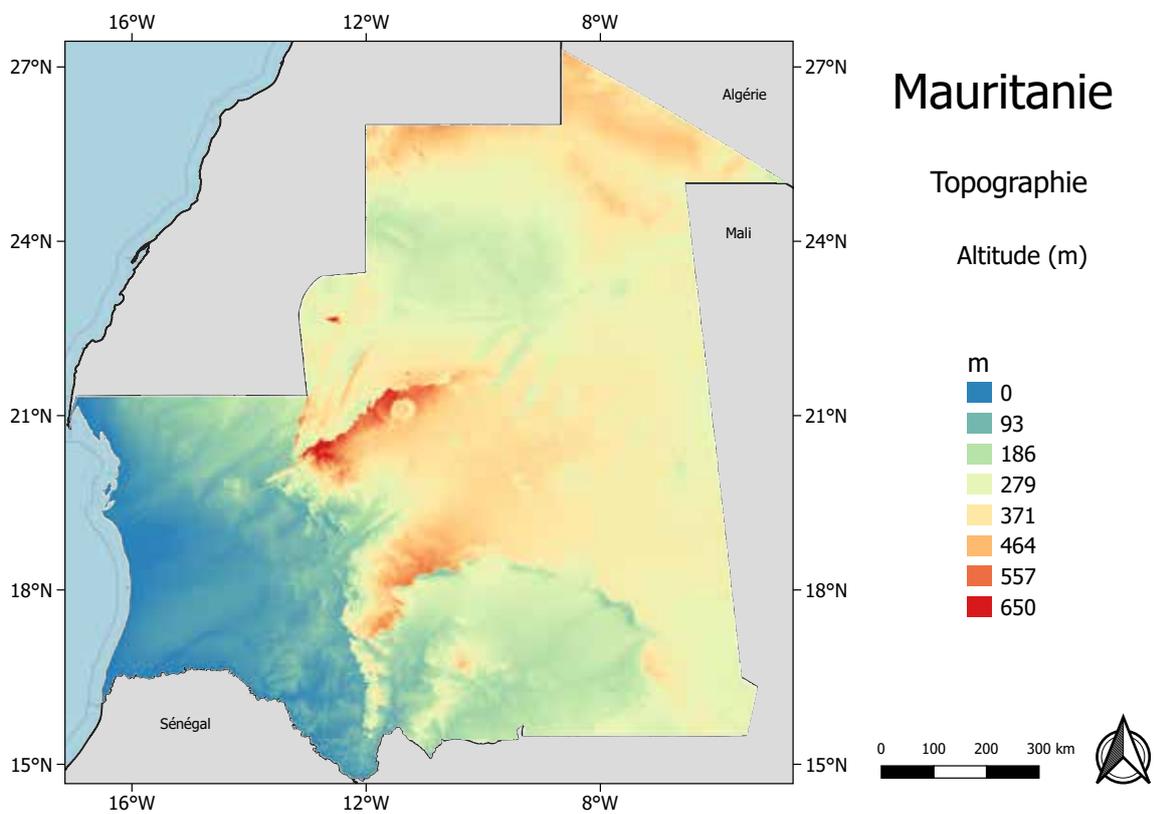
Clause de non-responsabilité : Cette carte est fournie uniquement à titre d'illustration. Les frontières et noms y figurant n'impliquent l'expression d'aucune opinion de la part de l'IRENA concernant le statut d'une région, d'un pays, d'un territoire, d'une ville ou d'une zone géographique ni de leurs autorités, ni concernant la démarcation des frontières.

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 la Mauritanie est illustrée à la figure 4.

Figure 4. Topographie de la Mauritanie



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 : Cette carte est fournie uniquement à titre d'illustration. Les frontières et noms y figurant n'impliquent l'expression d'aucune opinion de la part de l'IRENA concernant le statut d'une région, d'un pays, d'un territoire, d'une ville ou d'une zone géographique ni de leurs autorités, ni concernant la démarcation des frontières.

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 de cellule de maillage 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.



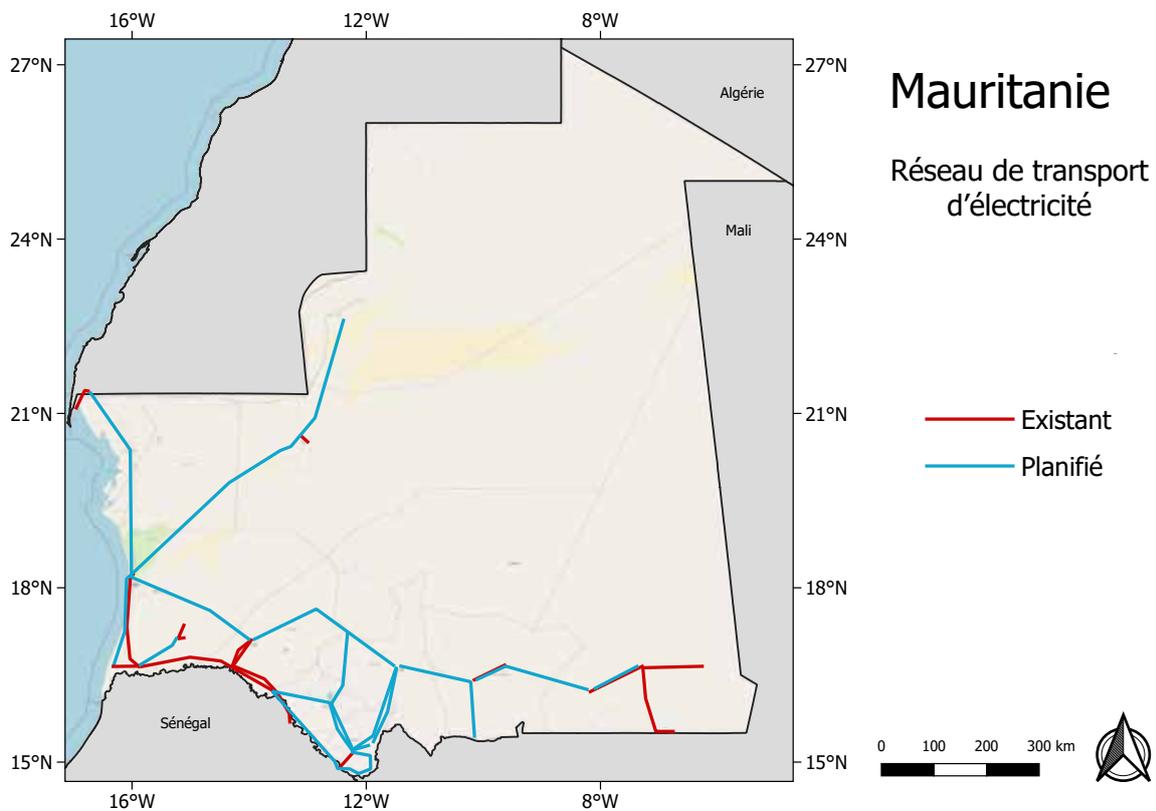
Nouakchott

Photo : Shutterstock

3.5 Réseau des lignes de transport d'électricité

Le réseau de lignes de transport utilisé dans la présente analyse a été fourni par le Ministère mauritanien du pétrole, de l'énergie et des mines, comme le montre la figure 5.

Figure 5. Réseau de lignes de transport d'électricité en Mauritanie



Source : Ministère mauritanien du pétrole, de l'énergie et des mines (2019).

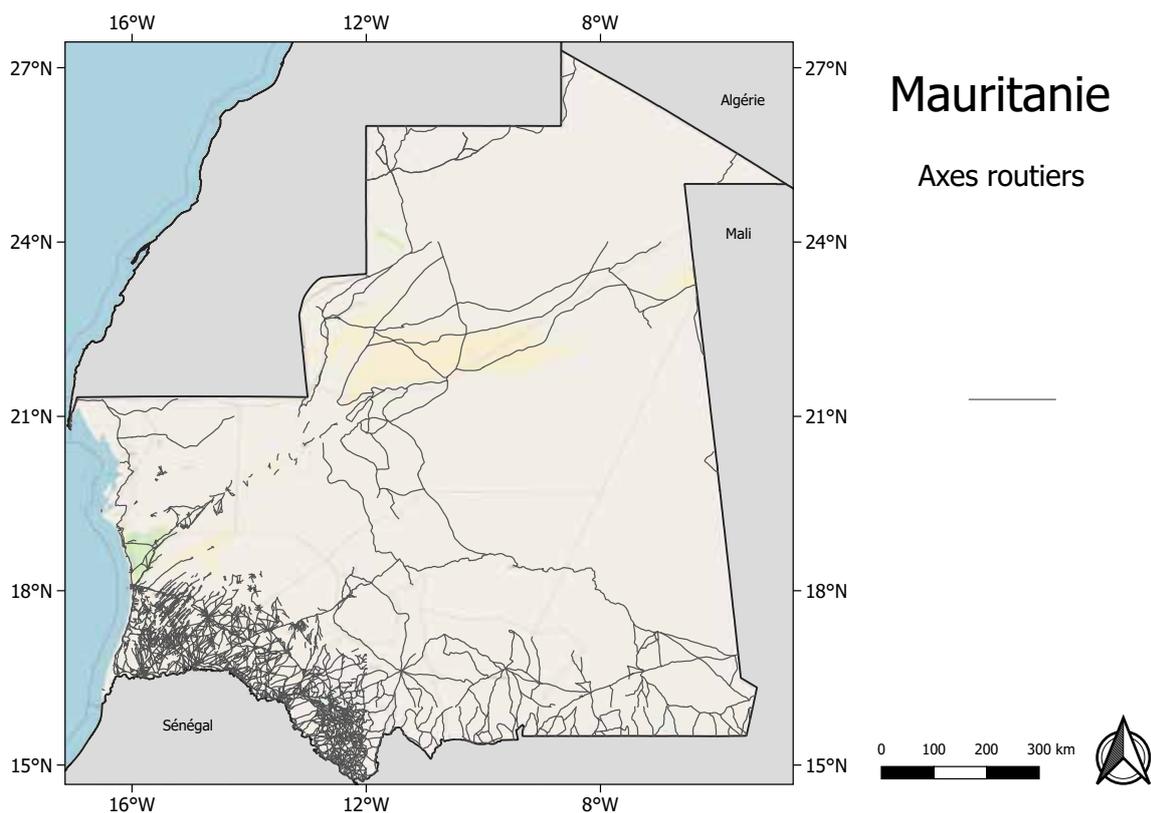
Clause de non-responsabilité : Cette carte est fournie uniquement à titre d'illustration. Les frontières et noms y figurant n'impliquent l'expression d'aucune opinion de la part de l'IRENA concernant le statut d'une région, d'un pays, d'un territoire, d'une ville ou d'une zone géographique ni de leurs autorités, ni concernant la démarcation des frontières.

3.6 Réseau routier

Le réseau routier considéré dans cette analyse provient du Global Roads Open Access Data Set (gROADs). Ce jeu de données a été élaboré sous les auspices du CODATA Global Roads Data Development Task Group par le Center for International Earth Science Information Network (CIESIN) de l'Université Columbia en collaboration avec le Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC) et le Centre des services de sensibilisation aux technologies de l'information (ITOS) de l'Université de Géorgie, aux États-Unis d'Amérique.

Ce jeu de données combine les meilleures données disponibles concernant les routes en zone rurale de manière à présenter la couverture mondiale, à l'aide du modèle de données UNSDI-T v.2 (SEDAC, 2020). La couche de réseau routier pour la Mauritanie est illustrée à la figure 6.

Figure 6. Réseau routier en Mauritanie



Source : NASA Socioeconomic Data and Applications Center, SEDAC (2013).

Clause de non-responsabilité : Cette carte est fournie uniquement à titre d'illustration. Les frontières et noms y figurant n'impliquent l'expression d'aucune opinion de la part de l'IRENA concernant le statut d'une région, d'un pays, d'un territoire, d'une ville ou d'une zone géographique ni de leurs autorités, ni concernant la démarcation des frontières.

3.7 Aires protégées

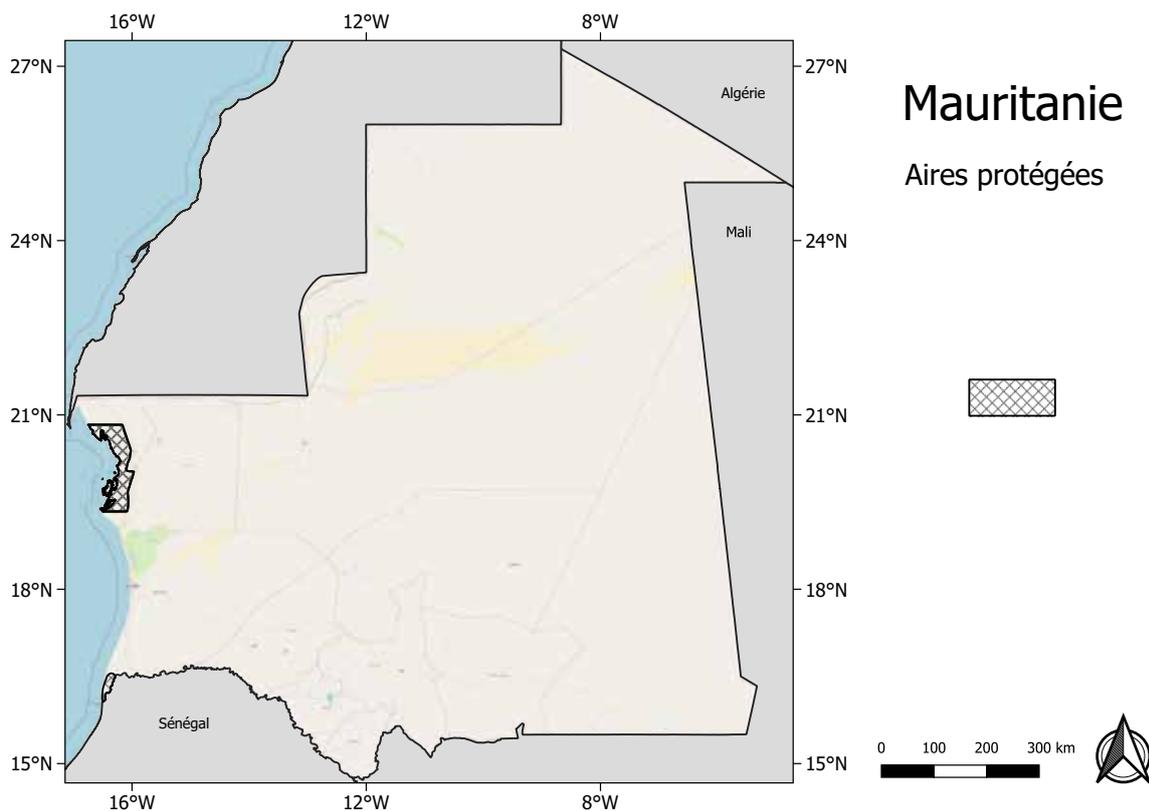
La base de données mondiale sur les aires protégées (WDPA) est la base de données mondiale la plus complète qui soit sur les aires protégées terrestres et marines. Elle est mise à jour chaque mois. Les scientifiques, les secteurs public et privé et les organisations internationales de développement l'utilisent, 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 en Mauritanie



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.

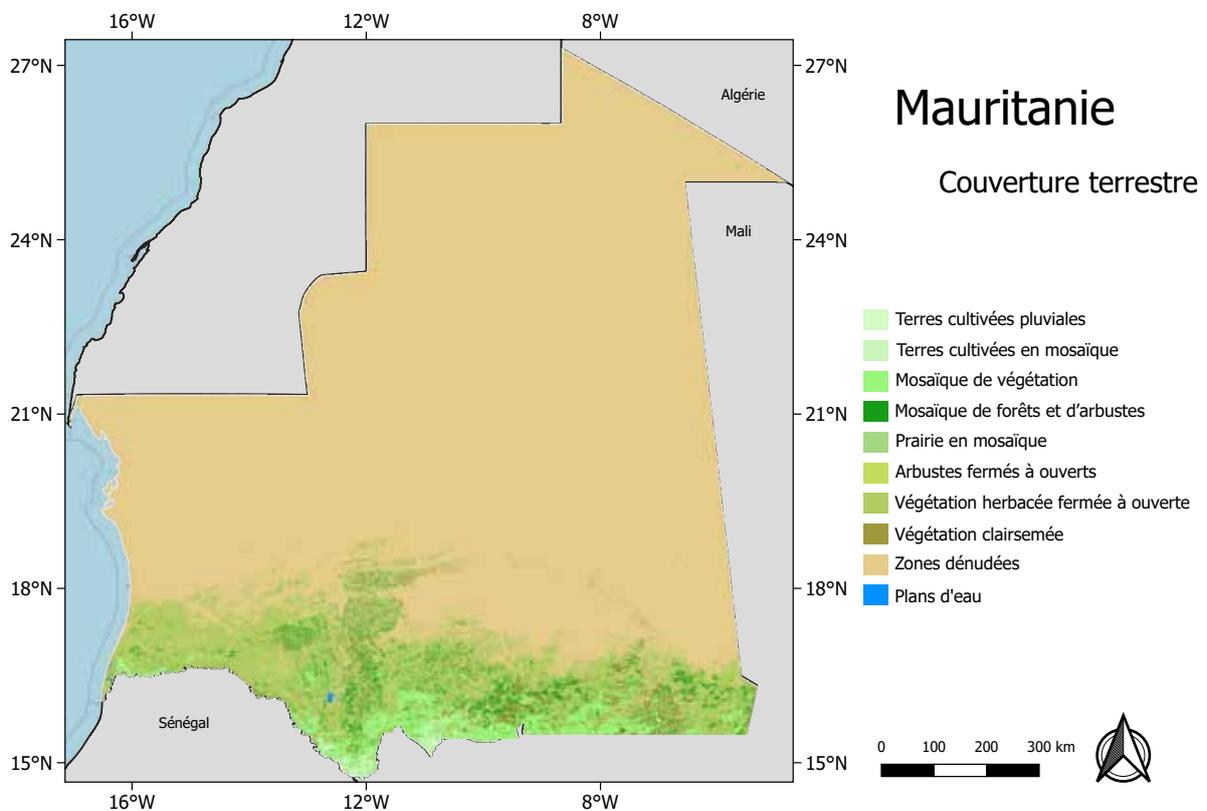
Clause de non-responsabilité : Cette carte est fournie uniquement à titre d'illustration. Les frontières et noms y figurant n'impliquent l'expression d'aucune opinion de la part de l'IRENA concernant le statut d'une région, d'un pays, d'un territoire, d'une ville ou d'une zone géographique ni de leurs autorités, ni concernant la démarcation des frontières.

3.8 Couverture terrestre

Le jeu de données 2009 GlobCover (Global Land Cover Map) présente la distribution spatiale de 22 types de couverture terrestre distincts — 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 la couverture terrestre est d'environ 62,6 % (Bontemps, *et al.*, 2011). La figure 8 montre la couverture terrestre de la Mauritanie.

Figure 8. Couverture terrestre en Mauritanie



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 : Cette carte est fournie uniquement à titre d'illustration. Les frontières et noms y figurant n'impliquent l'expression d'aucune opinion de la part de l'IRENA concernant le statut d'une région, d'un pays, d'un territoire, d'une ville ou d'une zone géographique ni de leurs autorités, ni concernant la démarcation des frontières.

4

RÉSULTATS

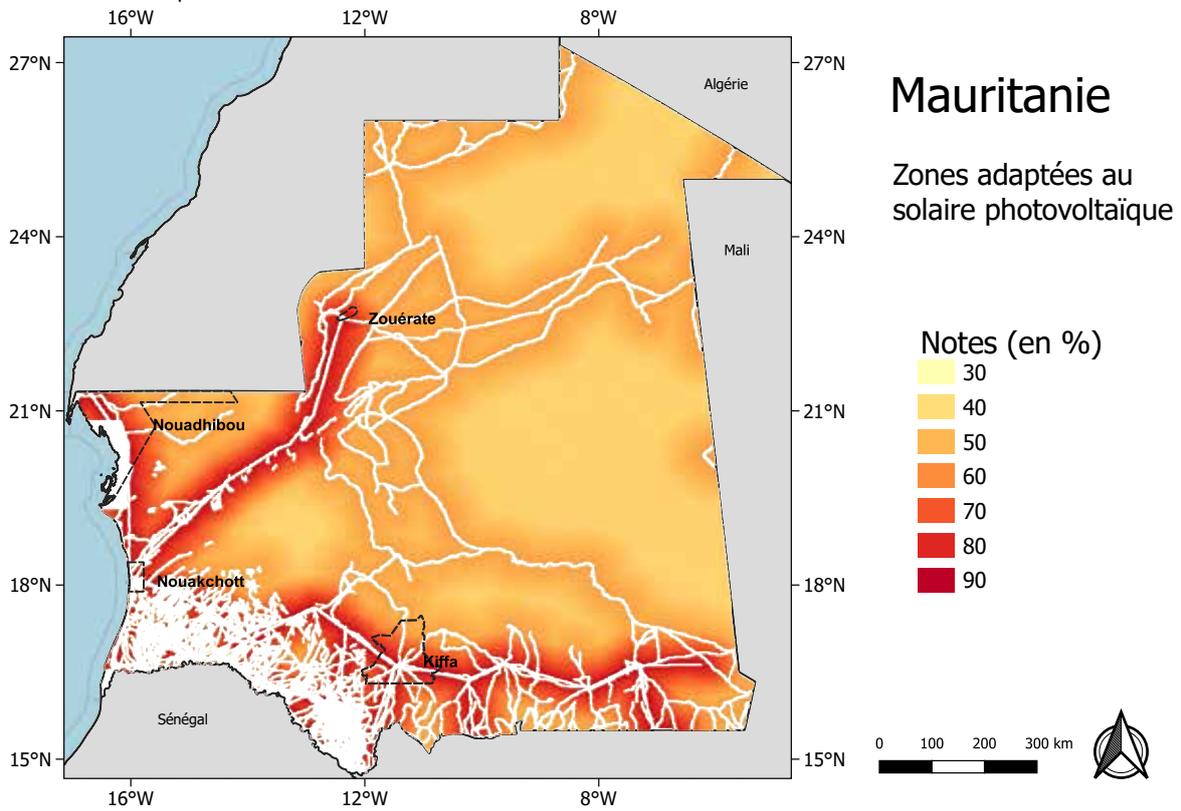
Les figures 9 et 10 présentent la carte d'adéquation des zones pour le développement de projets solaires photovoltaïques et éoliens en Mauritanie, générée à l'aide de la méthodologie d'évaluation de l'aptitude présentée dans la section 2.

Les résultats obtenus indiquent que 23 % et 18,5 % 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 dans le nord et l'est du pays, loin des centres de population situés dans l'ouest et dans le sud du pays.

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

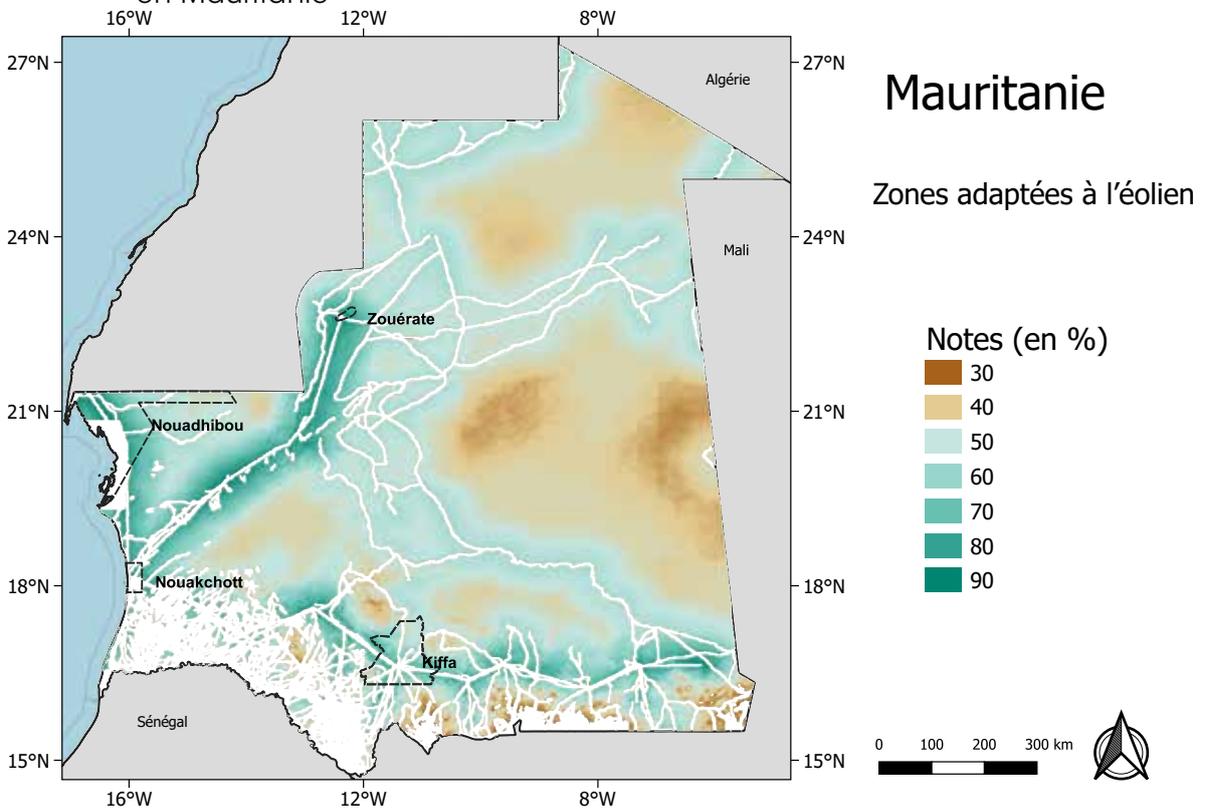
- a. L'emprise au sol des projets solaires photovoltaïques et éoliens a été fixée à 50 MW/km² (Masdar, 2013) et 5 MW/km², respectivement (Eurek *et al.*, 2017), ce qui équivaut à des potentiels de développement maximum d'environ 45 787 GW pour le solaire photovoltaïque et de 4700 GW pour les projets éoliens.
- b. Le facteur d'affectation des sols 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 457,9 GW pour les projets solaires photovoltaïques et 47 GW pour les projets éoliens.

Figure 9. Solaire photovoltaïque à échelle industrielle : Zones de prospection les mieux adaptées en Mauritanie



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

Figure 10. Éolien à échelle industrielle : Zones de prospection les mieux adaptées en Mauritanie



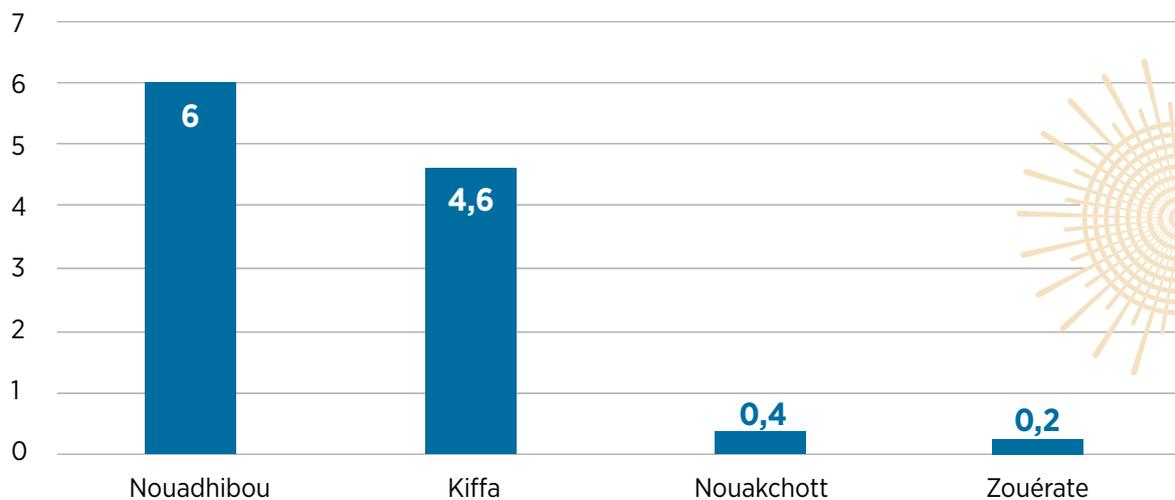
Source : Carte de base (OpenStreetMap) ; scores d'aptitude et zones (IRENA).

Clause de non-responsabilité : Ces cartes sont fournies uniquement à titre d'illustration. Les frontières et noms y figurant n'impliquent l'expression d'aucune opinion de la part de l'IRENA concernant le statut d'une région, d'un pays, d'un territoire, d'une ville ou d'une zone géographique ni de leurs autorités, ni concernant la démarcation des frontières.

Plus précisément, les figures 11 et 12 présentent le potentiel de développement des projets solaires photovoltaïques et éoliens dans quatre villes à savoir Nouakchott (661 400 habitants), Nouadhibou (72 337 habitants), Kiffa (40 281 habitants) et Zouérate (38 000 habitants).

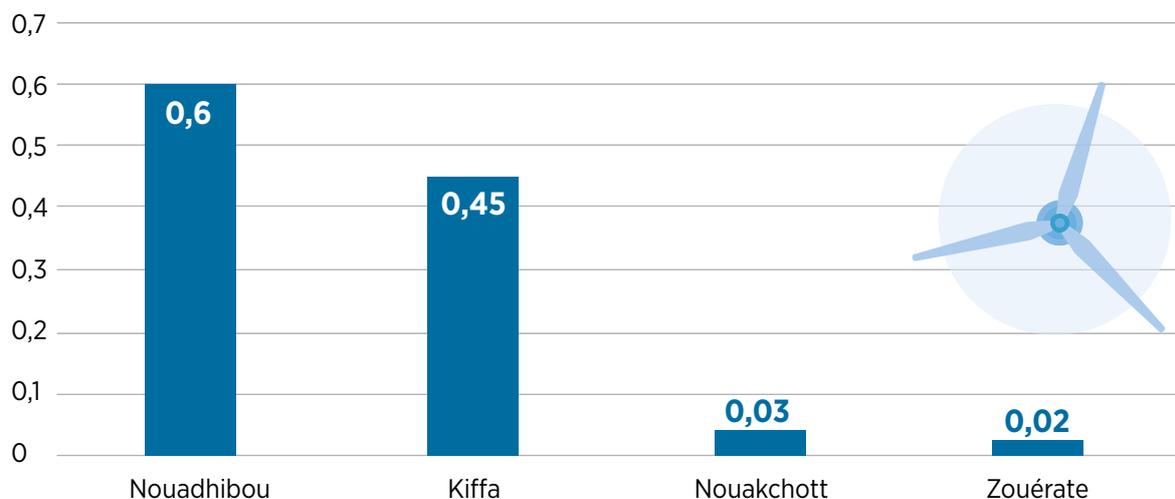
Comme le montre cette figure, un potentiel de développement plus élevé est observé à Nouadhibou et Kiffa en raison de leur taille, de leur proximité avec les infrastructures de transport d'électricité et des axes routiers et enfin de la faible densité de la population. De plus, le potentiel de développement total de ces quatre villes se traduit par une capacité d'environ 11,2 GW pour le solaire photovoltaïque et 1,12 GW pour l'éolien.

Figure 11. Énergie solaire photovoltaïque : potentiel technique dans quatre villes de Mauritanie (GW)



Source : IRENA.

Figure 12. Énergie éolienne : potentiel technique dans quatre villes de Mauritanie (GW)



Source : IRENA.

Le potentiel de développement maximal tiré de la présente analyse à travers le pays et les quatre villes doit néanmoins être interprété avec prudence à la lumière des restrictions suivantes :

1. La proximité d'une ligne de transport d'électricité ne signifie pas qu'une connexion est assurée, car elle 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.



Parc éolien de 30 MW à Nouakchott

Photo : Gouvernement de la Mauritanie

5

Kiffa

CONCLUSION

Les résultats de la présente étude indiquent qu'il existe un potentiel important pour le développement des énergies solaires photovoltaïque et éolienne à échelle industrielle en Mauritanie. Le potentiel de développement maximal à travers le pays est estimé à environ 457,9 GW et 47 GW pour les projets solaires photovoltaïques et 47 GW pour les projets éoliens, compte tenu d'une emprise au sol de 50 MW/km² pour l'énergie solaire photovoltaïque et de 5 MW/km² pour l'éolien et d'un facteur d'affectation des sols de 1 %.

Cela étant, le potentiel de développement combiné des zones entourant les principales villes de Nouadhibou, Kiffa, Nouakchott et Zouérate, sur la base des mêmes hypothèses, peut s'estimer à environ 11,2 GW pour le solaire photovoltaïque et 1,12 GW pour l'éolien.

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 à la Mauritanie 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) - une pré-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

Anon. (2012), “Separation between wind turbines and overhead lines”, *Energy Networks Association (ENA) Engineering Recommendations L44, (1)*; disponible à l'adresse : www.spenergynetworks.co.uk/userfiles/file/Energy_Networks_Association_Separation_Wind_Turbines_Overhead.pdf, consulté le 4 juin 2020.

Anon. (2017), *Transmission lines solar farm clearances*, Dublin: Mott MacDonald.

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, 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

Eurek, K., et al. (2017), *An improved global wind resource estimate for integrated assessment models*, prépublication.

DTU (Université technique du Danemark) (2015), *Global wind atlas, base de données*, DTU, Lyngby (Denmark), <http://science.globalwindatlas.info/map.html>, consultée le 20 juin 2019.

ESMAP (Energy Sector Management Assistance Program) (2017), “Data description: Geographical coverage and spatial resolution”, *Global solar atlas*, World Bank, Washington, DC, <https://globalsolaratlas.info/about/data-description>, consulté le 3 mars 2019.

ESMAP (2017), “Global solar atlas.” *Base de données (2017)*. Banque mondiale, Washington, DC. <https://globalsolaratlas.info>, consultée le 3 mars 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

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

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 and 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

Tegou, L-I., H. Polatidis et 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

Center for International Earth Science Information Network (CIESIN)/Université Columbia, and Information Technology Outreach Services (ITOS)/Université de Géorgie (États-Unis d’Amérique) (2013), *Global roads open access data set* version 1 (gROADSv1), Palisades, NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC), <http://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/groads-global-roads-open-access-v1>, consulté le 5 mai 2020.

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

World Population Review (2019). “*Population of cities in Mauritania*”, base de données, <http://worldpopulationreview.com/countries/mauritania-population/cities/>, consultée le 24 mars 2020.



Le potentiel existe sur
le terrain pour que la
Mauritanie développe
de solides industries
solaires et éoliennes



www.irena.org

Siège de IRENA

Boîte postale 236, Abou Dhabi
Émirats Arabes Unis

© IRENA 2021

