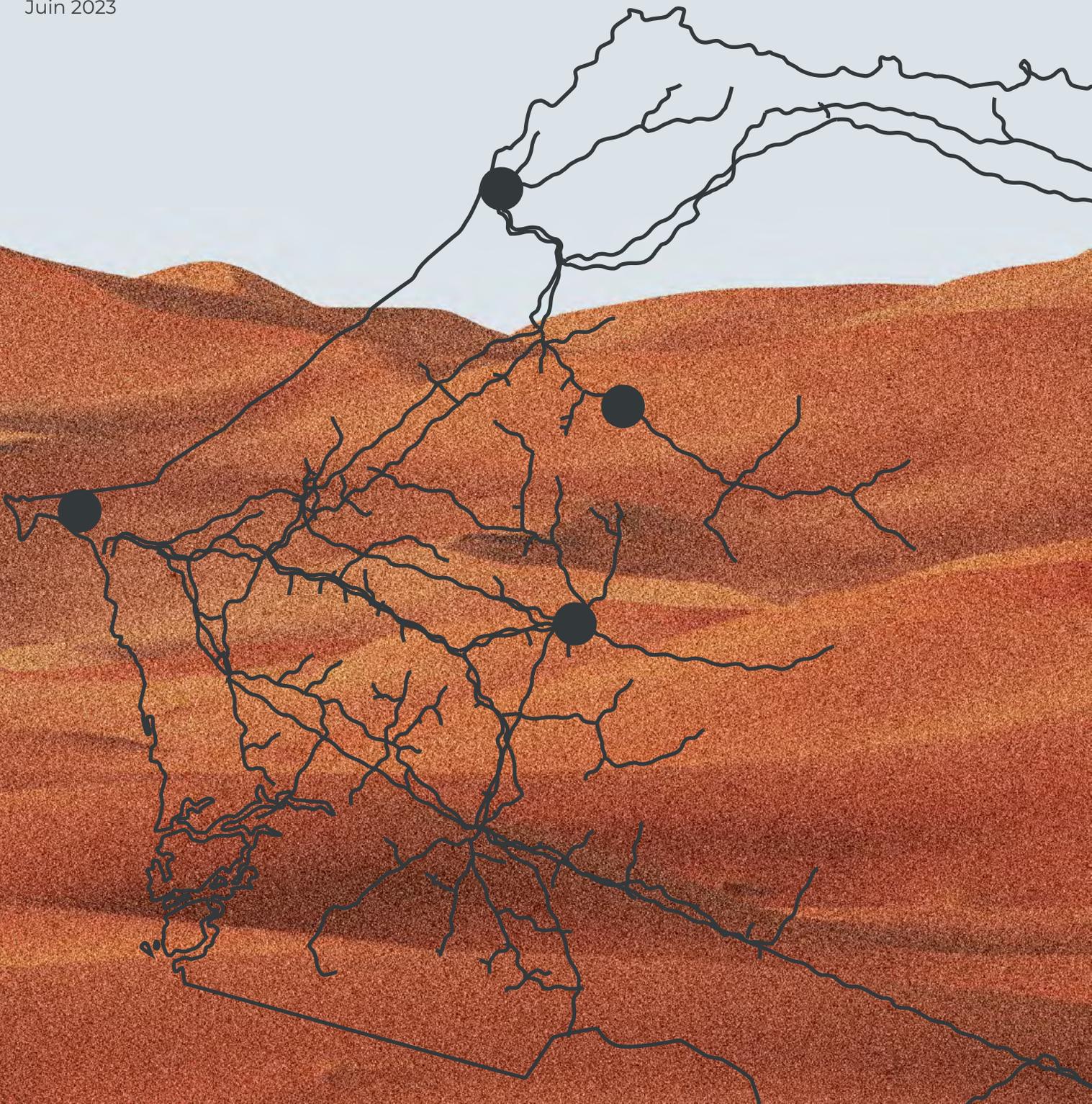


Sénégal renouvelable

Opportunités de coopération au développement germano-sénégalais pour un avenir durable

Juin 2023



Sénégal renouvelable

Opportunités de coopération au développement germano-sénégalais pour un avenir durable

Auteurs

Aki Kachi	NewClimate Institute
Martin Voss	Germanwatch
Juliette de Grandpré	NewClimate Institute
Mats Marquardt	NewClimate Institute

Graphiques, conception et mise en page

Polina Korneeva	NewClimate Institute
-----------------	----------------------

Révision

Aman Gill-Lang	NewClimate Institute
----------------	----------------------

Remerciements et clause de non-responsabilité

Le présent rapport a été commandé par le Groupe d'Alliance 90/Les Verts au Bundestag. L'analyse, les résultats et les recommandations du présent rapport représentent l'opinion des auteurs et ne sont pas nécessairement représentatifs du point de vue du bailleur de fonds.

© NewClimate Institute et Germanwatch e.V. 2023



Télécharger le rapport



<https://newclimate.org/resources/publications/renewable-senegal>

Résumé

Le Sénégal est un pays qui dispose d'abondantes ressources en énergies renouvelables, notamment solaires et éoliennes. La stratégie nationale pour un "Sénégal émergent" fixe comme objectifs de fournir un accès universel à l'énergie d'ici 2025 et de devenir un pays à revenu intermédiaire d'ici 2035. Cependant, le Sénégal est confronté à un choix important dans l'élaboration de son avenir énergétique : il peut soit atteindre ses objectifs grâce à son potentiel renouvelable, soit risquer des actifs échoués et des émissions élevées en s'appuyant sur des ressources d'énergies fossiles récemment découvertes. Le Sénégal n'a qu'une faible responsabilité historique dans le changement climatique. Sauter l'étape fossile pour aller directement vers les énergies renouvelables serait cohérent avec les objectifs de l'Accord de Paris de limiter le réchauffement moyen de la planète à 1,5°C / bien en dessous de 2°C et apporterait de nombreux autres avantages.

Le Sénégal dispose de vastes ressources renouvelables et connaît déjà un grand succès dans le développement des énergies renouvelables. Le Sénégal bénéficie d'un rayonnement solaire moyen de 4,2 à 5 kWh/m²/jour, soit près de 70 % de plus par mètre carré que l'Allemagne du Nord. Le pays a déjà construit un certain nombre de centrales solaires photovoltaïques à grande échelle et a lancé des programmes pour soutenir les systèmes solaires photovoltaïques décentralisés dans les zones rurales. Le Sénégal dispose également d'un important potentiel éolien, en particulier le long des zones côtières du pays, où les vents sont forts et constants. En 2021, Taïba Ndiaye, le plus grand projet éolien d'Afrique de l'Ouest, a été inauguré au Sénégal, ce qui prouve que le pays sait tirer parti de son potentiel en matière d'énergies renouvelables. Ce succès a permis au Sénégal de dépasser dès 2022 ses objectifs en matière d'énergies renouvelables fixés dans sa contribution déterminée au niveau national (CDN) pour 2030.

Un soutien supplémentaire est nécessaire pour tirer parti de ce succès. En effet, ce bilan positif devrait atteindre un seuil où d'autres mesures sont nécessaires pour améliorer la flexibilité du réseau et permettre une plus grande pénétration des énergies renouvelables dans le mix électrique. Le système énergétique actuel du Sénégal est toujours dominé par des combustibles fossiles importés et coûteux : le fioul lourd continue de représenter la plus grande part de la production d'électricité du pays. Cette dépendance à l'égard des combustibles fossiles importés a pesé lourdement sur l'économie et entraîné des prix de l'électricité parmi les plus élevés d'Afrique. En théorie, l'élimination progressive du

fioul lourd et du charbon pourrait être réalisée grâce aux ressources nationales en gaz du Sénégal, car le gaz a l'avantage de pouvoir équilibrer la disponibilité fluctuante des énergies renouvelables en l'absence de vent et de soleil. Mais la production d'électricité à partir du gaz court également le risque d'un verrouillage des émissions à un niveau élevé – tout en entrant en concurrence avec les énergies renouvelables et en leur nuisant - ou de finir comme actifs échoués en cas de transition plus rapide. Ces risques peuvent être largement évités grâce à des mesures de flexibilité du système de transmission qui permettraient au Sénégal de tirer parti de ses succès en matière d'énergies renouvelables.

Ces mesures de flexibilité comprennent le stockage et les technologies de réseau intelligent, y compris de réponse à la demande, l'amélioration de la transmission et de la distribution au Sénégal et plus largement en Afrique de l'Ouest, ainsi que les réformes des marchés de l'électricité et de la gestion des réseaux. Le couplage des secteurs et l'exploration des options pour la réaffectation ou le retrait du parc existant de centrales électriques à combustibles fossiles pourraient accélérer encore davantage la transition énergétique du Sénégal. Pour éviter de menacer le modèle économique des opérateurs de mini-réseaux renouvelables, de nouveaux modèles de transition pourraient être explorés pour ceux-ci afin qu'ils puissent coexister avec le réseau principal en tant que petits producteurs et distributeurs d'électricité. Cela pourrait contribuer à compenser la baisse de l'investissement dans les mini-réseaux dans les cas où le gouvernement sénégalais a l'intention d'étendre le réseau national et de combler les lacunes dans l'électrification rurale jusqu'à ce que le réseau national puisse être étendu. La transition du Sénégal vers un système d'énergie renouvelable est un objectif ambitieux mais réalisable qui peut apporter des avantages économiques, sociaux et environnementaux significatifs au pays.

L'Allemagne et son savoir-faire peuvent jouer un rôle important en aidant le Sénégal à opérer une transition énergétique juste et à atteindre ses objectifs de développement durable. L'Allemagne est, avec la France, l'un des chefs de file du G7 pour la négociation de partenariats pour une transition énergétique juste (Just Energy Transition Partnerships, JETPs), un nouveau modèle de coopération nord-sud lancé pour la première fois avec l'Afrique du Sud lors des négociations sur le climat de Glasgow en 2021. Dans ce rôle, il est important que l'Allemagne maintienne son engagement global envers l'Accord de Paris, ainsi que ses engagements de Glasgow et du G7 « à cesser d'apporter une aide publique directe au secteur international des combustibles fossiles sans dispositif d'atténuation d'ici à la fin de l'année 2022, hormis dans un nombre limité de cas clairement définis par chaque pays conformément à la limite d'élévation de la température de 1,5°C et aux objectifs de l'Accord de Paris ». Alors que les investisseurs privés investissent déjà dans des projets d'énergie renouvelable au Sénégal, les partenaires du JETP peuvent renforcer et faciliter la mobilisation de

l'investissement privé en aidant le Sénégal à mettre en place un environnement politique général favorable à la poursuite de la décarbonisation. Les précieuses subventions et les financements concessionnels sont utilisés au mieux pour soutenir la poursuite des réformes, les études de faisabilité et la facilitation du financement privé par le biais d'une réduction des risques et d'un financement mixte.

Les ressources renouvelables du Sénégal offrent un certain potentiel pour la production d'hydrogène vert, avec d'importantes réserves cependant. L'ambition mondiale de décarbonisation industrielle et la recherche de carburants alternatifs pour le secteur de l'aviation et le transport maritime font de l'hydrogène une opportunité intéressante pour les pays en développement dotés d'importantes ressources renouvelables. Bien qu'il existe des défis importants, à moyen et long terme, les vastes ressources renouvelables du Sénégal pourraient également servir à produire de l'hydrogène pour usage domestique et potentiellement pour l'exportation. Cependant, l'un des principaux obstacles concerne la disponibilité d'eau douce nécessaire à l'électrolyse, un défi croissant avec le changement climatique. Une production d'hydrogène à plus grande échelle nécessiterait une quantité croissante d'eau désalinisée, dont la production doit être gérée avec soin pour protéger les écosystèmes marins environnants et les stocks de poissons dont dépend l'industrie locale de la pêche.

Une transition réussie au Sénégal serait un signal important pour l'ensemble de la région de l'Afrique de l'Ouest et pour les futurs candidats au JETP. Une transition rapide vers un système énergétique durable, juste et à faible teneur en carbone est essentielle pour atténuer les pires effets du changement climatique, non seulement dans les grands pays dépendants du charbon, mais aussi dans les pays tentés de s'engager sur la voie de la dépendance aux combustibles fossiles, avec un risque accru d'actifs échoués et de verrouillage dans une trajectoire de développement à émissions élevées. Le Sénégal, en tant que démocratie relativement stable, est une force stabilisatrice importante dans la région, avec des liens économiques importants avec ses voisins. Comparé à d'autres pays du JETP, le Sénégal n'a pas encore d'émissions significatives et le pays porte peu de responsabilité historique dans le changement climatique. Sa sélection en tant que candidat au JETP, en particulier dans le contexte de ses découvertes de pétrole et de gaz, est un signal important pour les autres pays d'Afrique de l'Ouest et pour les futurs candidats au JETP par son potentiel de transition énergétique basée sur les énergies renouvelables. Outre ce caractère pionnier, le succès du Sénégal aurait également un impact climatique positif direct sur les autres pays du pool énergétique ouest-africain en réduisant leurs émissions par le biais du commerce de l'électricité et en développant l'économie régionale avec laquelle le Sénégal partage une union économique et monétaire.

Summary

Senegal is a country with abundant renewable energy resources notably solar and wind. The national strategy for an “Emerging Senegal” sets the objectives of providing universal energy access by 2025 and becoming a middle-income country by 2035. However, Senegal faces an important choice in laying out its energy future: it can either accomplish these goals with its renewable potential or risk stranded assets and high emission lock-in by relying on its newly discovered fossil fuel resources. While Senegal bears little historical responsibility for climate change, leapfrogging to the renewable energy future follows a pathway consistent with Paris Agreement's objectives of limiting average global warming to 1.5°C / well below 2°C and brings multiple other benefits.

Senegal has vast renewable resources and has already had major success in renewable energy development. Senegal enjoys an average of 4.2 – 5 kWh/m²/day of solar irradiation – almost 70% more per square meter than Northern Germany. The country has already built a number of utility-scale solar PV plants and has launched programmes to support decentralized solar PV systems in rural areas. Senegal also has significant wind power potential, particularly along the country's coastal areas, where there are strong and consistent winds. In 2021, Taïba N’Diaye, West Africa’s largest utility scale wind project, was opened in Senegal – another strong demonstration of the country taking advantage of its renewable potential. This success enabled Senegal to overachieve what may have seemed to be ambitious renewable energy targets for 2030 laid out in its NDC already in 2022.

Additional support will be needed to build on this success. This positive track record is likely coming to a threshold where other measures will be needed to improve grid flexibility and enable a higher penetration of renewables in its electricity mix. Senegal's current energy system is still dominated by expensive imported fossil fuels: heavy fuel oil continues to make up the largest share of the country's electricity generation. This dependence on imported fossil fuels has placed a major strain on the economy and led to some of the highest electricity prices in Africa. In addition to the growing renewable portfolio, phasing out heavy fuel oil and coal can be done with domestic Senegalese gas resources. While gas could potentially help balance the fluctuating availability of renewables by coming online when the sun isn't shining and the wind isn't blowing, gas to power expansion also runs a risk of either high emission lock-in – competing and undermining renewables – or ending up as stranded assets in a more rapid transition. These can largely be avoided with transmission and system flexibility measures to allow Senegal to build on its existing renewable success.

Such measures include storage and smart grid technologies, including demand response, improved transmission and distribution both in Senegal and in the wider West African region, and reforms in electricity markets and network management. Sector coupling and exploring options for the repurposing or retirement of the existing fossil fuel power plant fleet further accelerate the Senegalese energy transition. To avoid threatening the business model of renewable mini-grid operators, new transition models could be explored for them to co-exist with the main grid as small-scale electricity producers and distributors. This could help offset the decline in investment in mini-grids in cases where the Senegalese government intends to extend the national grid and fill the gaps in rural electrification until the national grid can be extended. Senegal's transition to a renewable energy system is an ambitious but achievable goal that can bring significant economic, social, and environmental benefits to the country.

Germany and its know-how has the potential to play an important role in supporting Senegal with a just energy transition and reaching its sustainable development goals. Germany is a co-lead, together with France, within the G7 to negotiate Just Energy Transition Partnerships – a new model for north-south cooperation first launched with South Africa at the Glasgow climate negotiations in 2021. In this role, it is important that Germany is guided by its overall commitment to the Paris Agreement, as well as its Glasgow and G7 commitments to phase out public financing for fossil fuels except in limited and clearly defined circumstances that are consistent with a 1.5°C warming limit and do not foster fossil fuel lock-in. While private investors have shown willingness and are already investing in renewable energy projects in Senegal, JETP partners can enhance and facilitate mobilisation of private investment by supporting Senegal to set the right general policy environment for continued decarbonisation. Limited grant funding and concessional finance are best used to support continued reforms, feasibility studies, and further enabling private finance through de-risking and blended finance.

Senegal's renewable resources have potential for green hydrogen production but with caveats. With increased global ambition for industrial decarbonisation and the search for alternative fuels for international aviation and maritime transport, hydrogen is increasingly seen as an opportunity for developing countries with large renewable endowments. Although there are significant challenges, in the medium to long term Senegal's vast renewable resources could also produce hydrogen for domestic use and potentially for export. For hydrogen, one major barrier is likely to be the availability of fresh water for electrolysis, which will become a growing challenge with the changing climate. Larger scale hydrogen production will eventually require a growing amount of desalinated water, the production of which must be carefully managed to protect surrounding marine ecosystems and fish stocks on which the local fishing industry depends.

A successful transition in Senegal would be an important signal for the wider West African Region and future JETP candidates. A rapid transition to a sustainable, just, low-carbon energy system is essential to mitigate the worst impacts of climate change not only in large coal dependent countries but also in countries that may consider starting down a fossil fuel dependent pathway with heightened stranded asset and fossil fuel lock-in risk. Senegal, as a relatively stable democracy is an important stabilising force in the region with important economic ties to its neighbours. Compared to other JETP countries, Senegal does not yet have significant emissions and the country bears little historical responsibility for climate change. Its selection as a JETP candidate especially in the context of its oil and gas discoveries is an important signal to both other West African countries and other future JETP candidates about the potential for a renewable based energy transition. In addition to its potential pioneering character more generally, success in Senegal would also have a direct positive climate impact on the other countries in the West African Power Pool by lowering their emissions through electricity trading as well as growing the regional economy with which Senegal shares an economic and monetary union.

Zusammenfassung

Der Senegal ist ein Land mit reichlich erneuerbaren Energieressourcen, vor allem Solar- und Windenergie. Die nationale Strategie für ein "aufstrebendes Senegal" hat das Ziel, bis 2025 landesweite Energieversorgung sicherzustellen und Senegal bis 2035 zu einem Land mit mittlerem Einkommen zu machen. Bei der Gestaltung seiner Energiezukunft steht der Senegal jedoch vor einer wichtigen Entscheidung: Entweder kann das Land diese Ziele durch die Nutzung seines Potenzials an erneuerbaren Energien erreichen oder es riskiert "Stranded Assets" und hohe Emissionen, wenn es sich auf seine neu entdeckten fossilen Brennstoffressourcen verlässt. Auch wenn der Senegal historisch gesehen wenig Verantwortung für den Klimawandel trägt, wäre der Sprung in die Zukunft der erneuerbaren Energien ein Weg, der mit den Zielen des Pariser Abkommens zur Begrenzung der durchschnittlichen globalen Erwärmung auf 1,5°C bzw. deutlich unter 2°C im Einklang steht und zahlreiche weitere Vorteile mit sich bringen würde.

Der Senegal verfügt über enorme erneuerbare Ressourcen und hat bereits große Erfolge bei der Entwicklung erneuerbarer Energien erzielt. Der Senegal hat eine durchschnittliche Sonneneinstrahlung von 4,2 bis 5 kWh/m²/Tag - fast 70 % mehr pro Quadratmeter als Norddeutschland. Das Land hat bereits eine Reihe von PV-Parks gebaut und Programme zur Förderung dezentraler PV-Anlagen in ländlichen Gebieten aufgelegt. Der Senegal verfügt außerdem über ein beträchtliches Windenergiepotenzial, vor allem in den Küstenregionen des Landes, wo starke und beständige Winde wehen. Im Jahr 2021 wurde in Senegal Taïba N'Diaye, das größte Windkraftprojekt Westafrikas, eröffnet - ein weiterer Beweis dafür, dass das Land sein Potenzial für erneuerbare Energien bereits teilweise nutzt. Dieser Erfolg ermöglichte es dem Senegal, die ehrgeizigen Ziele für erneuerbare Energien für 2030, die in seinem NDC festgelegt sind, bereits im Jahr 2022 zu übertreffen.

Um auf diesem Erfolg aufzubauen, wird zusätzliche Unterstützung benötigt. Um die positive Erfolgsbilanz weiter fortzuführen werden weitere Maßnahmen erforderlich um die Netzflexibilität zu verbessern und einen höheren Anteil erneuerbarer Energien am Strommix zu ermöglichen. Das derzeitige Energiesystem Senegals wird immer noch von teuren importierten fossilen Brennstoffen dominiert: Schweröl macht nach wie vor den größten Anteil an der Stromerzeugung des Landes aus. Diese Abhängigkeit von importierten fossilen Brennstoffen belastet die Wirtschaft stark und führt dazu, dass der Senegal die höchsten Strompreise in Afrika hat. Neben dem wachsenden Anteil an erneuerbaren

Energien kann der Ausstieg aus Schweröl und Kohle durch die einheimischen Gasressourcen des Senegals erfolgen. Während Gas potenziell dazu beitragen könnte, die variable Verfügbarkeit erneuerbarer Energien auszugleichen, indem es dann ans Netz geht, wenn die Sonne nicht scheint und der Wind nicht weht, birgt der Ausbau der Gasverstromung auch das Risiko, dass entweder hohe Emissionen gebunden werden - was die erneuerbaren Energien verdrängen würde und ihren Ausbau untergraben könnte - oder dass sie bei einer schnellen Energiewende als "Stranded Assets" enden. Diese Risiken lassen sich durch Übertragungs- und Systemflexibilitätsmaßnahmen weitgehend vermeiden, so dass Senegal auf seinen bisherigen Erfolgen im Bereich der erneuerbaren Energien aufbauen könnte.

Zu diesen Maßnahmen gehören Speicher- und intelligente Netztechnologien, einschließlich Lastmanagement, eine verbesserte Übertragung und Verteilung sowohl im Senegal als auch in der gesamten westafrikanischen Region sowie Reformen der Strommärkte und des Netzmanagements. Die Sektorkopplung und die Prüfung von Optionen für die Umnutzung oder Stilllegung der bestehenden fossilen Kraftwerkflotte beschleunigen die senegalesische Energiewende weiter. Um der Bedrohung entgegenzuwirken, die der Netzausbau für Betreiber von Mini-Grids mit erneuerbaren Energien darstellt, könnten neue Modelle für die Berücksichtigung von Mini-Grid-Betreibern untersucht werden, damit diese als kleine Stromerzeuger und -verteiler neben dem Hauptnetz bestehen können. Dies könnte wichtig sein, um die Untergrabung der derzeitigen Investitionsmöglichkeiten für Mini-Grids zu überwinden, wenn die senegalesische Regierung beabsichtigt, das nationale Netz auszubauen und Lücken in der ländlichen Elektrifizierung zu schließen, bis das nationale Netz ausgebaut werden kann. Die Entwicklung Senegals zu einem erneuerbaren Energiesystem ist ein ehrgeiziges, aber erreichbares Ziel, das dem Land erhebliche wirtschaftliche, soziale und ökologische Vorteile bringen kann.

Deutschland und sein Know-How haben das Potenzial, eine wichtige Rolle bei der Unterstützung des Senegals bei einer gerechten Energiewende und der Erreichung seiner Ziele für nachhaltige Entwicklung zu spielen. Deutschland ist gemeinsam mit Frankreich federführend innerhalb der G7 bei der Aushandlung von Just Energy Transition Partnerships - einem neuen Modell für die Nord-Süd-Zusammenarbeit, das erstmals mit Südafrika bei den Klimaverhandlungen in Glasgow 2021 vorgestellt wurde. Deutschland sollte getreu seines Engagements im Pariser Klimaabkommen, sowie seiner Verpflichtungen aus Glasgow und der G7, die öffentliche Finanzierung für fossile Brennstoffe beendend und keine weitere Förderung von fossilen Brennstoffen fördern. Ausnahmen können nur unter klar definierten Umständen zulässig sein (1.5°C Kompatibilität). Während private Investoren ihre Bereitschaft gezeigt haben und bereits in Projekte für erneuerbare Energien im Senegal investieren, können die JETP-Partner die Mobilisierung privater Investitionen verbessern und erleichtern,

indem sie den Senegal dabei unterstützen, günstige politische Rahmenbedingungen für die weitere Dekarbonisierung zu schaffen. Begrenzte Zuschüsse und Kredite zu Vorzugsbedingungen werden am besten zur Unterstützung weiterer Reformen, Machbarkeitsstudien und zur weiteren Ermöglichung privater Finanzierungen durch De-Risking und Mischfinanzierung eingesetzt.

Senegals erneuerbare Ressourcen verleihen dem Land das Potenzial für die Produktion von grünem Wasserstoff, allerdings mit Vorbehalten. Angesichts der zunehmenden weltweiten Bestrebungen zur Dekarbonisierung der Industrie und der Suche nach alternativen Kraftstoffen für den internationalen Luft- und Seeverkehr wird Wasserstoff zunehmend als eine Chance für Entwicklungsländer mit großen erneuerbaren Ressourcen gesehen. Trotz erheblicher Herausforderungen könnten die umfangreichen erneuerbaren Ressourcen Senegals mittel- bis langfristige auch Wasserstoff für den inländischen Gebrauch und möglicherweise für den Export produzieren. Ein Haupthindernis für die Wasserstoffproduktion dürfte die Verfügbarkeit von Frischwasser für die Elektrolyse sein, die angesichts des Klimawandels zu einer immer größeren Herausforderung wird. Für die Wasserstoffproduktion in größerem Maßstab wird schließlich eine wachsende Menge an entsalztem Wasser benötigt, dessen Produktion sorgfältig gesteuert werden muss, um die umliegenden Meeresökosysteme und Fischbestände zu schützen, von denen die lokale Fischereiindustrie abhängt.

Eine erfolgreiche Energiewende im Senegal wäre ein wichtiges Signal für die gesamte westafrikanische Region und künftige JETP-Kandidaten. Ein rascher Ausbau zu einem nachhaltigen, gerechten und kohlenstoffarmen Energiesystem ist von entscheidender Bedeutung, um die schlimmsten Auswirkungen des Klimawandels abzumildern, und zwar nicht nur in den großen, von Kohle abhängigen Ländern, sondern auch in den Ländern, die möglicherweise einen von fossilen Brennstoffen abhängigen Weg einschlagen wollen, der mit einem erhöhten Risiko von "Stranded Assets" und "Lock-in" bei fossilen Brennstoffen verbunden ist. Der Senegal ist als relativ stabile Demokratie eine wichtige stabilisierende Kraft in der Region mit bedeutenden wirtschaftlichen Beziehungen zu seinen Nachbarn. Im Vergleich zu anderen JETP-Ländern hat der Senegal noch keine nennenswerten Emissionen, und das Land trägt kaum historische Verantwortung für den Klimawandel. Seine Auswahl als JETP-Kandidat, insbesondere vor dem Hintergrund seiner Öl- und Gasfunde, ist ein wichtiges Signal sowohl für andere westafrikanische Länder als auch für andere künftige JETP-Kandidaten in Bezug auf das Potenzial für eine auf erneuerbaren Energien basierende Energiewende. Neben seinem potenziellen Pioniercharakter im Allgemeinen hätte ein Erfolg in Senegal auch direkte positive Auswirkungen auf die Klimafreundlichkeit anderer Länder im Westafrikanischen Strompool, indem er deren Emissionen durch den Stromhandel senkt, und die regionale Wirtschaft, mit der Senegal eine Wirtschafts- und Währungsunion bildet, stärkt.

Table des matières

Liste des figures
Liste des tables
Liste des encadrés
Abréviations

01	Introduction	1
02	Historique et contexte	4
	2.1 Politique climatique sénégalaise	7
	2.2 Politique énergétique actuelle	9
	2.3 Un partenariat pour une transition énergétique juste pour le Sénégal	11
03	Avantages du développement des énergies renouvelables pour le Sénégal	14
	3.1 Le vaste potentiel renouvelable du Sénégal	15
	3.1.1 Énergie solaire	15
	3.1.2 Énergie éolienne	17
	3.1.3 Hydroélectricité	19
	3.2 Avantages financiers des énergies renouvelables par rapport à la dépendance au gaz	20
	3.3 Résilience supérieure des énergies renouvelables	22
	3.4 Croissance économique et autres avantages du développement durable	23
04	Domaines prioritaires et modes de soutien pour un système basé sur les énergies renouvelables	25
	4.1 Favoriser un système électrique flexible et réactif	26
	4.1.1 Stockage et réseaux intelligents	27
	4.1.2 Le transport d'électricité et le Système d'Echanges d'Énergie Électrique Ouest Africain (EEEOA)	29

	4.1.3 Réformes réglementaires, marchés de l'électricité et gestion des réseaux	31
	4.1.4 Couplage sectoriel et prosommation	32
	4.1.5 Renégociation des contrats existants d'achat d'énergie fossile et réaffectation et retrait de la flotte existante fonctionnant aux combustibles fossiles	35
	4.2 Coopération au développement actuelle entre l'Allemagne et le Sénégal	36
	4.2.1 Réduction des risques et renforcement des capacités des institutions financières locales	37
05	Production d'hydrogène à moyen et long terme	39
06	Conclusion et recommandations	44
	Bibliographie	54

Liste des figures

Figure 1: Production d'électricité par source	6
Figure 2: Niveaux d'émissions et objectifs CDN	8
Figure 3: Objectifs de la CDN du Sénégal en matière d'énergies renouvelables et état d'avancement en 2022	11
Figure 4: Émissions de CO ₂ par habitant dans les pays du JETP et en Allemagne	12
Figure 5: Potentiel d'énergie solaire	16
Figure 6: Potentiel éolien	18
Figure 7: L'hydrogène vert et la chaîne de valeur associée	41

Liste des tables

Table 1: Objectifs d'énergies renouvelables pour 2030	10
--	----

Liste des encadrés

Encadré 1: Le point de vue de la société civile sénégalaise	22
Encadré 2: Électrification des zones rurales	30

Abréviations

AFD	Agence française de développement
AIE	Agence internationale de l'énergie
BAD	Banque africaine de développement
BAU	Business as Usual (statu quo)
BCEAO	Banque centrale des États de l'Afrique de l'Ouest
BEI	Banque européenne d'investissement
BMZ	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (Ministère fédéral allemand pour la coopération économique et le développement)
BOAD	Banque ouest-africaine de développement
CAE	Contrat d'achat d'électricité
CCNUCC	Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques
CEDEAO	Communauté économique des États de l'Afrique de l'Ouest
CFA	Franc CFA
CGCC	Centrale à gaz à cycle combiné
EEEOA	Système d'échanges d'énergie électrique ouest-africain
FL	Fioul lourd
FONSIS	Fonds souverain d'investissements stratégiques du Sénégal
GCF	Green Climate Fund (Fonds vert pour le climat)
GES	Gaz à effet de serre
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (Agence allemande pour la coopération internationale)
GPL	Gaz de pétrole liquéfié
IFC	International Finance Corporation (Société financière internationale)
IFD	Institution financière de développement
IRENA	International Renewable Energy Agency (Agence internationale pour les énergies renouvelables)
JETP	Just Energy Transition Partnership (Partenariat pour une transition énergétique juste)
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau (Institut de crédit pour la reconstruction)
LoSENS	Local sustainable energy systems in Senegal (Systèmes énergétiques durables locaux au Sénégal)
Mtep	Millions de tonnes d'équivalent pétrole
ODD	Objectif de développement durable
OMVG	Organisation pour la mise en valeur du fleuve Gambie
OMVS	Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal
PEI	Producteur d'électricité indépendant
PME	Petites et moyennes entreprises
PtL	Power to Liquids (Liquides à partir d'hydrogène et de CO ₂)
PV	Photovoltaïque
SSD	Systèmes solaires domestiques
SSEB	Système de stockage d'énergie par batterie
TWh	Térawattheure
UEMOA	Union économique et monétaire ouest-africaine
US MCC	Millennium Challenge Corporation des États-Unis
USD	Dollars américains
WASCAL	West African Science Service Centre on Climate Change and Adapted Land Use (Centre de services scientifiques d'Afrique de l'Ouest sur le changement climatique et l'utilisation adaptée des terres)

>> 01

Introduction

L'accès à une énergie fiable et abordable est fondamental en vue du développement économique, du progrès social et du bien-être humain. Au Sénégal, bien que la majorité de la population urbaine ait accès à l'électricité, l'accès à l'énergie reste globalement un défi important : quelque 4,8 millions de Sénégalais n'ont toujours pas accès à l'électricité et dépendent de sources d'énergie peu fiables et polluantes, notamment le bois de chauffage et le charbon de bois pour cuire des aliments (Our World in Data, 2023c). Le pays continue de dépendre fortement de l'importation de combustibles fossiles pour répondre à ses besoins énergétiques.

Sur la période 2014-2017, des sociétés internationales d'exploration et d'extraction ont découvert d'importants gisements pétrolifères et gaziers au large des côtes sénégalaises (Schaps, 2014; BP, 2017). Depuis lors, le Sénégal envisage d'exploiter ces ressources pour garantir l'accès de l'ensemble de sa population à l'énergie et dégager ainsi des revenus pour la croissance économique et éliminer la pauvreté. Près de 40 % de la population sénégalaise vit sous le seuil de pauvreté des pays à revenu intermédiaire, tranche inférieure (Our World in Data, 2023d). Bien que le Sénégal ait développé avec succès les énergies renouvelables, la nature variable des énergies éolienne et solaire et l'infrastructure électrique existante imposent de plus en plus un défi de raccorder les nouveaux projets au réseau et de maintenir en parallèle sa stabilité. À l'avenir, les décisions politiques prises à Dakar et au sein des gouvernements des pays donateurs exerceront une influence majeure sur le rôle des combustibles fossiles au Sénégal. Elles détermineront également le niveau de dépendance du Sénégal à l'égard des combustibles fossiles. Il est capital que le Sénégal dispose des moyens pour abandonner les modes de production d'énergie à forte intensité d'émissions, modes qui s'observent dans de nombreux pays en développement ayant fait la découverte de champs pétrolifères et gaziers. S'il existe des avantages évidents, à l'échelle locale, à emprunter la voie du développement des énergies renouvelables, ce choix s'accompagne également de défis majeurs, et le Sénégal devra compter sur un soutien important afin de concilier ses objectifs de développement national avec les objectifs de limitation de la température mondiale dans le cadre de l'Accord de Paris.

L'Allemagne a le potentiel de jouer un rôle clé pour soutenir le Sénégal dans sa transition vers un système d'énergies renouvelables décarboné, fournir de l'énergie à tout le pays, permettre une croissance économique durable et éviter les actifs échoués dans le secteur pétrolier et gazier. Forte de son expérience dans sa propre transition énergétique et de son bilan en matière de coopération au développement, l'Allemagne est à même de collaborer avec d'autres partenaires internationaux et le Sénégal pour mettre en œuvre et renforcer les mesures nécessaires à la transition afin d'atteindre les objectifs sénégalais en matière d'accès à l'énergie et de développement, tout en décarbonant le pays. Ce soutien serait conforme aux engagements pris par l'Allemagne dans le cadre du Pacte de

Glasgow de la COP 26 de « cesser d'apporter une aide publique directe au secteur international des combustibles fossiles [...], hormis dans un nombre limité de cas clairement définis par chaque pays conformément à la limite d'élévation de la température de 1,5 °C et aux objectifs de l'Accord de Paris », un engagement également réitéré dans le communiqué des dirigeants du G7 de 2022 rédigé sous la présidence allemande du G7 (Présidence britannique de la COP 26, 2021; G7 Allemagne, 2022). Une transition sénégalaise vers les énergies renouvelables aurait un impact climatique positif immédiat sur les pays avec lesquels le Sénégal partage le Système d'échanges d'énergie électrique ouest-africain (EEEOA). Plus largement, il soutiendrait aussi une croissance économique durable dans la région, notamment par l'intermédiaire de l'Union économique et monétaire ouest-africaine (UEMOA) et de la Communauté économique des États de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO), qui couvre une zone plus vaste. Ce choix enverrait également un signal positif aux candidats potentiels au JETP qui envisagent de s'engager dans une transition vers une énergie propre.

Le présent rapport vise à fournir une vue d'ensemble des possibilités de soutenir le Sénégal dans sa transition vers un système énergétique décarboné et renouvelable. Il comprend également un débat sur les défis associés à cette transition et les moyens que l'Allemagne peut déployer pour les surmonter. Tout d'abord, nous examinerons le système énergétique actuel du Sénégal, y compris les défis liés à l'accès à l'énergie dans le pays, sa dépendance actuelle aux combustibles fossiles, ses succès récents dans le développement des énergies renouvelables ainsi que les politiques climatiques actuelles du Sénégal, et enfin l'éventuel partenariat pour une transition énergétique juste (JETP), actuellement à l'étude. Ces éléments constituent la base d'une discussion sur le potentiel d'une voie de développement axée sur les énergies renouvelables pour le Sénégal, compte tenu de ses vastes capacités en matière d'énergies renouvelables, des considérations de coût, de la grande résilience d'un système basé sur les énergies renouvelables, ainsi que d'autres avantages en matière de développement durable. Toutefois, une telle voie n'est pas sans poser de problèmes majeurs, que le Sénégal devra surmonter avec l'aide d'un soutien international. Ensuite, nous aborderons les principaux domaines dans lesquels l'Allemagne et d'autres partenaires internationaux peuvent collaborer avec le Sénégal afin de relever ces défis, en mettant l'accent sur les mesures visant à permettre une meilleure intégration des énergies renouvelables dans le système. En outre, compte tenu des débats internationaux croissants sur le potentiel de production d'hydrogène en Afrique, le présent rapport analysera les défis et opportunités potentiels à moyen et long terme en vue du développement de l'hydrogène vert à des fins d'utilisation sur le territoire national et d'exportation. Il se terminera par un résumé des recommandations pour que l'Allemagne s'engage avec des partenaires internationaux et le Sénégal à accélérer la transition énergétique de cette nation d'Afrique de l'Ouest afin d'atteindre ses objectifs de développement tout en décarbonant le secteur de l'énergie.

» 02

Historique et contexte

Le Sénégal est un pays à revenu moyen, tranche inférieure (Banque mondiale, 2023b) dans lequel 9,3 % de la population vivait avec moins de 2,15 USD par jour en 2018 (Banque mondiale, 2023c). Le système énergétique actuel du Sénégal est confronté à plusieurs défis, notamment une forte dépendance à l'importation de combustibles fossiles, un approvisionnement en électricité qui ne couvre pas les besoins, des prix de l'énergie parmi les plus élevés d'Afrique ainsi qu'un manque d'accès à l'électricité, en particulier dans les zones rurales.

À la faveur de réformes récentes, un peu plus de 70 % de la population sénégalaise a accès à l'électricité (Banque mondiale, 2023c), une amélioration significative par rapport à 2010, lorsque seuls 43 % des habitants avaient accès à l'électricité. Malgré ces progrès, les disparités sont grandes entre les zones urbaines et rurales : moins de 5 % de la population urbaine n'a pas accès à l'électricité, un chiffre qui grimpe à plus de 52 % dans les zones rurales (AIE et al., 2021). Pour l'heure, le pays doit encore relever d'importants défis pour garantir une énergie fiable, abordable et durable pour tous.

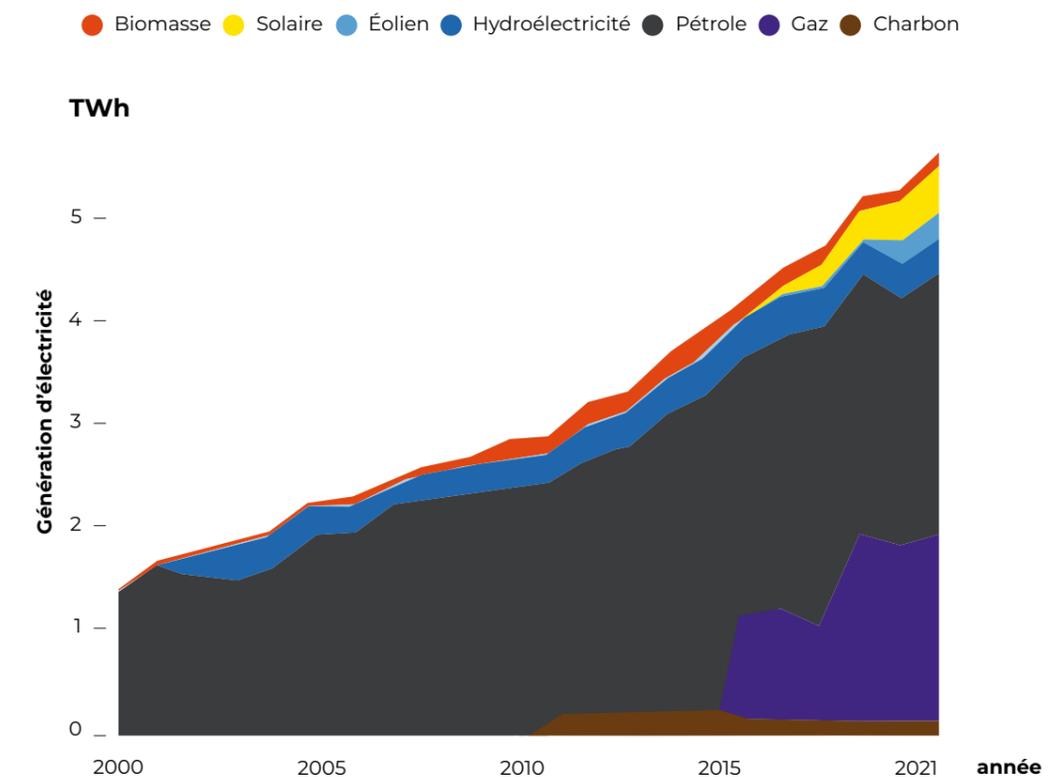
Le Plan Sénégal Émergent est le cadre de référence de la politique économique et sociale sénégalaise, qui vise à une croissance inclusive à l'horizon 2035. L'objectif d'un accès universel à l'énergie d'ici 2025 constitue un élément important de cette vision (Sénégal, 2020a). Les priorités du gouvernement sénégalais en matière de réforme du secteur de l'électricité se sont principalement concentrées sur l'élargissement de l'accès au réseau, l'amélioration de la gouvernance du marché de l'électricité et la promotion de l'électrification en milieu rural grâce à des mini-réseaux et à des systèmes solaires domestiques (Apfel et Herbes, 2021). Même si les documents de politique du gouvernement sénégalais ne le précisent pas, le Sénégal a signé le communiqué de Marrakech du Forum de la vulnérabilité climatique, qui comprend un engagement à s'efforcer « d'atteindre 100 % d'énergies renouvelables au plus tard entre 2030 et 2050 » (Climate Vulnerable Forum, 2016).

En 2020-2021, le Sénégal disposait d'une capacité installée de production d'électricité d'environ 1,2 à 1,5 GW (Reuters Staff, 2021; Wane, 2021), générant 5,61 TWh d'électricité (Our World in Data, 2023e). Une capacité supplémentaire importante a été ajoutée en 2022. En 2010 encore, le Sénégal produisait 85 % de son électricité à partir de fioul lourd, un pourcentage qui n'a cessé de diminuer avec une transition importante vers le gaz, un peu de charbon¹ et, plus récemment, vers une capacité solaire et éolienne croissante (voir → **Figure 1**). Malgré les progrès accomplis en matière de diversification, notamment une augmentation considérable de la production d'énergie renouvelable en 2022, les combustibles fossiles, principalement le fioul lourd, continuent de représenter le combustible le plus important du mix électrique. Cette situation énergétique expose le pays à la volatilité des marchés mondiaux du charbon, du pétrole et du gaz, et la nécessité d'importer ces combustibles à un coût élevé a toujours eu un impact négatif important sur l'économie sénégalaise, qui pâtit du coût élevé

de l'électricité. En grande partie à cause des dépenses liées à l'importation de fioul lourd et de charbon pour produire de l'électricité, le coût de production d'un kilowattheure au Sénégal oscille entre 0,34 et 0,38 USD (US Internal Trade Administration, 2023), un prix nettement plus élevé que dans d'autres pays africains tels que la Mauritanie, le Maroc, l'Afrique du Sud ou la Tunisie (AIE, 2023b). Les consommateurs, pour leur part, doivent encore acheter le kilowattheure à un taux plus favorable, mais encore relativement élevé, d'environ 0,24 USD, laissant le gouvernement couvrir l'écart par des subventions (US Internal Trade Administration, 2023). Par le passé, cette situation a empêché la Senelec, la compagnie sénégalaise d'électricité, d'effectuer des travaux de maintenance ou de réaliser de nouveaux investissements, tout en posant des problèmes majeurs aux entreprises et aux ménages qui doivent faire face à un service peu fiable et à des prix élevés.

Figure 1

Production d'électricité par source



Source: Réalisation personnelle basée sur Our World in Data, d'après BP Statistical Review of World Energy (2022) ; Ember (2023) - CC BY

¹ Notamment, la très controversée centrale électrique de Sendou, partiellement financée par la BAD et la banque néerlandaise de développement FMO. Voir la déclaration de la FMO : <https://www.fmo.nl/environmental-and-social-risks-sendou>.

La demande d'énergie du Sénégal devrait augmenter rapidement en raison de la croissance de sa population (entre 2 et 3 % par an (Banque mondiale, 2023a)), de l'urbanisation, de la croissance économique et de l'aspiration à atteindre le statut de pays à revenu intermédiaire d'ici 2035, d'une base industrielle en pleine expansion (KfW et al., 2020), d'un accès accru à l'énergie et de l'allongement de l'espérance de vie. Selon les perspectives énergétiques de l'Afrique de l'AIE, qui reposent sur l'« Agenda 2063 » de l'Union africaine et prévoient une expansion économique rapide et un accès universel à l'électricité et à des modes de cuisson propres, la demande globale en électricité du Sénégal devrait plus que doubler pour atteindre 12,9 TWh en 2030 et plus que tripler pour atteindre près de 20 TWh en 2040, à partir d'une base de référence de 5,6 TWh en 2018 (AIE, 2019b).

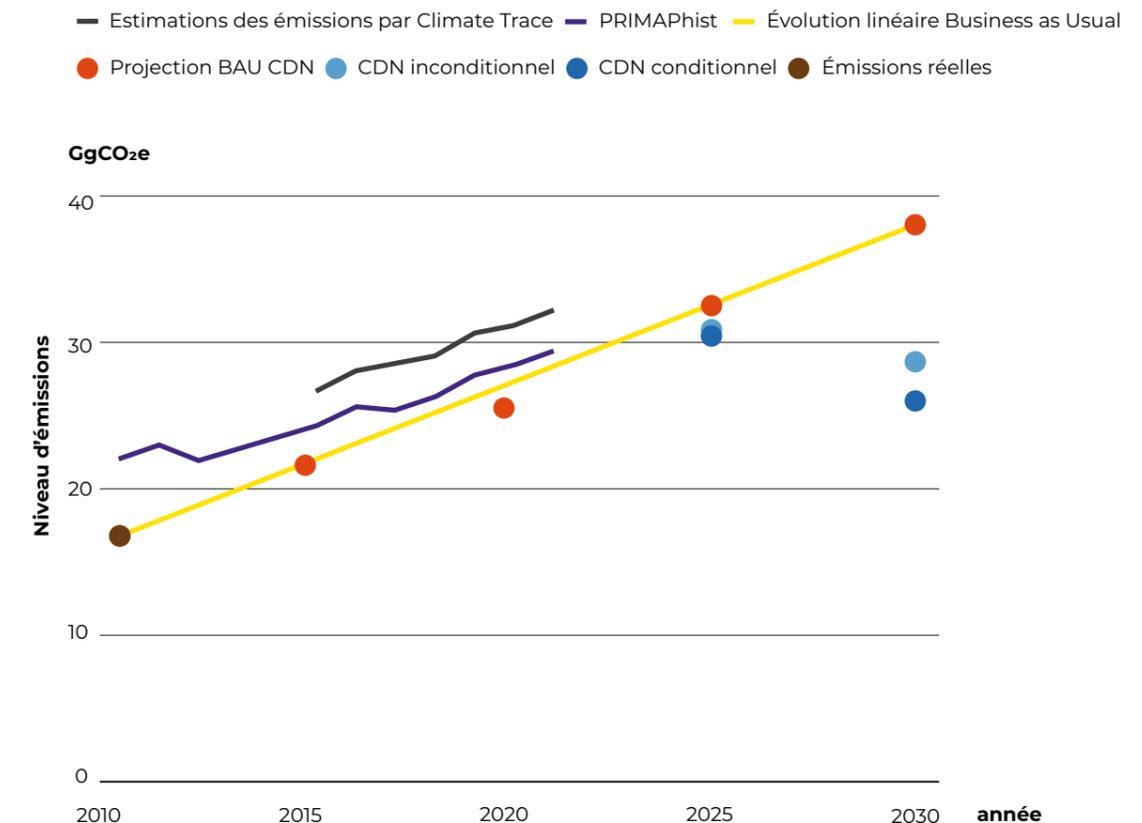
Il est possible pour le Sénégal de satisfaire à cette demande sur la voie de la décarbonation totale, principalement au travers de sa capacité d'énergies renouvelables, et le Sénégal a déjà accompli des progrès importants dans la promotion des énergies renouvelables à l'échelle industrielle. Cette voie pourrait toutefois être menacée par la découverte d'importantes réserves de pétrole et de gaz offshore entre 2014 et 2017 et le lancement imminent de l'extraction commerciale, ce qui pourrait en théorie représenter une opportunité pour le pays, mais pose également des risques majeurs pour le pays et son avenir énergétique. Selon Climate Analytics, dans le cadre d'un scénario compatible avec une augmentation de 1,5 °C des températures mondiales, l'utilisation des énergies renouvelables au Sénégal doit rapidement augmenter pour atteindre 94 à 97 % d'ici 2030, avec un passage à 100 % d'énergies renouvelables d'ici à 2040 au plus tard (Climate Analytics, 2022). Bien qu'un tel objectif soit extrêmement difficile à atteindre, tant en 2030 qu'en 2040, tous les efforts doivent être consentis pour s'en approcher au maximum, et il faudra au Sénégal un soutien international pour y parvenir.

2.1 Politique climatique sénégalaise

La contribution déterminée au niveau national (CDN) du Sénégal pour 2020 comprend des objectifs inconditionnels et conditionnels, ventilés en émissions et autres mesures. Seul, le Sénégal possède un objectif « inconditionnel » de réduction des émissions de GES de 5 % en 2025 et de 7 % en 2030 par rapport à un scénario « statu quo » (Business as Usual ou BAU) projeté à partir de l'année de référence 2010. Sous réserve d'un soutien international, le Sénégal a déclaré être en mesure de réduire ses émissions de GES de 23 % en 2025 et de 29 % en 2030 (Sénégal, 2020b). En mai 2023, le Sénégal n'avait pas encore soumis à la CCNUCC de stratégie à long terme.

Figure 2

Niveaux d'émissions et objectifs CDN



Source : Les auteurs se sont basés sur Sénégal 2020, PRIMAPHist / Gütschow et al. 2023 et Climate

Les données d'émissions de tiers suggèrent que l'année 2010 comme référence pour la projection BAU a été sous-estimée, ce qui conduit à des incertitudes sur la capacité du Sénégal à atteindre son objectif CDN même sans l'augmentation des émissions issues de l'extraction des ressources pétrolières et gazières. Gütschow et al. (2023), qui inclut des données de tiers, suggère des émissions plus élevées que celles estimées dans l'inventaire sénégalais de 2010. De même, selon les données compilées par Climate Trace², qui recourt à l'intelligence artificielle pour compiler des informations à partir d'images satellites et d'autres formes de télédétection, le Sénégal pourrait avoir sous-estimé ses émissions, et les émissions réelles ont constamment et significativement dépassé les émissions cartographiées par la projection BAU de 2010 entre 2015 et 2021 (Climate Trace, 2023).

² <https://climatetrace.org/>

2.2 Politique énergétique actuelle

Le gouvernement sénégalais a déployé des efforts considérables pour améliorer la gouvernance du secteur de l'énergie, réduire les coûts et améliorer le service. Par le passé régnait un manque de séparation entre les fonctions de régulation du secteur de l'énergie par le gouvernement et le service public fourni par la Senelec, qui détenait un monopole général sur la production, le transport et la distribution de l'électricité dans le pays. Les réformes soutenues par la Banque mondiale et d'autres donateurs internationaux ont partiellement dissocié l'intégration verticale dans les années 1990. Elles ont permis une participation privée dans la production et séparé les fonctions de régulation du gouvernement et les activités de la Senelec, ce qui a eu pour effet de diviser le service public en trois sociétés d'exploitation indépendantes pour la production, le transport et la distribution / vente (Reuters Staff, 2021). Ce schéma a contribué à améliorer le service de fourniture d'électricité, conduisant à une diminution notable du nombre de coupures d'électricité de 950 heures en 2011 à 24 heures en 2018 (Energy Capital & Power, 2019). Cette dissociation a petit à petit conduit à une augmentation des investissements privés dans le secteur de l'électricité par l'intermédiaire de producteurs d'électricité indépendants (PEI), tant dans le secteur des combustibles fossiles que dans le développement des énergies renouvelables.

D'une part, le gouvernement sénégalais a mis en place un environnement attractif pour les investissements dans les énergies renouvelables (Kitetu et al., 2021) et a élaboré une politique officielle visant à satisfaire aux besoins en électricité du pays au coût le plus faible possible (Sénégal, 2019). Cette stratégie du coût le plus bas devrait favoriser davantage la croissance dans le secteur des énergies renouvelables. D'autre part, depuis la découverte de champs pétrolifères et gaziers, le Sénégal a également élaboré une « stratégie Gas to Power » (conversion de gaz en énergie) qui fixe l'objectif officiel de réduire la dépendance au diesel et au fioul lourd tout en augmentant de manière significative le rôle du gaz dans l'infrastructure électrique (Sénégal, 2018b). Alors que les diverses réformes du système énergétique de ces dernières années ont permis de réduire le nombre de coupures de courant, de diminuer les coûts, de promouvoir les énergies renouvelables et d'élargir l'accès à l'électricité, cette stratégie « Gas to Power » pourrait constituer une menace pour la croissance continue du rôle des énergies renouvelables dans le système énergétique. Une analyse menée dans le cadre d'une opération de prêt basée sur les politiques de 2019 soutenue par la Banque mondiale a révélé que le Sénégal devrait avoir éliminé progressivement le fioul lourd de son mix électrique et continuer à développer ses capacités d'énergies renouvelables, mais avoir augmenté la part du gaz à 54 % de la production d'ici 2026 (Banque mondiale, 2019).

La CDN établit les objectifs suivants pour 2030 en matière d'énergies renouvelables (voir → **Table 1**) : un objectif inconditionnel, soit atteindre une capacité installée cumulée de 235 MW en solaire, 150 MW en éolien et 314 MW en hydroélectricité (Sénégal, 2020, p. 25). En outre, le Sénégal s'est fixé pour objectif de construire une capacité installée supplémentaire de 300 MW, sous réserve d'un soutien international. Cette capacité est répartie comme suit : 100 MW de solaire, 100 MW d'éolien, 50 MW de biomasse et 50 MW de solaire thermodynamique à concentration (STC) (Sénégal, 2020b). La distinction entre objectifs inconditionnels et conditionnels n'est que marginalement pertinente, dans la mesure où pratiquement tous les grands projets d'infrastructure du pays, y compris tous les projets d'énergies renouvelables, bénéficient d'une forme ou d'une autre de soutien international, et de manière croissante de la part d'investisseurs du secteur privé.

Table 1

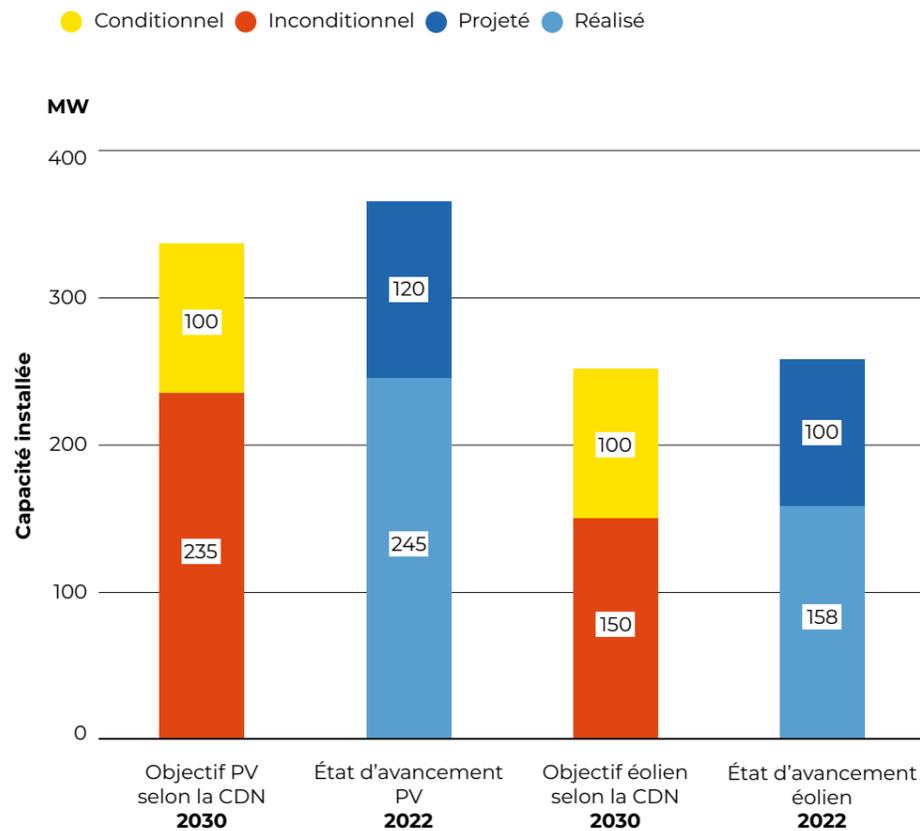
Objectifs d'énergies renouvelables pour 2030

Sources d'énergie	Inconditionnel (capacité installée en MW)	Conditionnel (capacité installée en MW)
Solaire	235	335
Éolien	150	250
Hydro	314	314
Biomasse	-	50
STC	-	50
Total	699	999

Depuis la présentation de la CDN en 2020, il est clair que le Sénégal a remporté un franc succès dans la mise en place d'un cadre réglementaire pour le développement des énergies renouvelables à l'échelle des services publics et qu'il dépassera très facilement ces objectifs. Le Sénégal a déjà largement dépassé son objectif conditionnel pour 2030 en matière de photovoltaïque en 2022, et d'autres projets sont déjà en cours de projet ou de construction. De plus, avec l'achèvement du parc éolien de Taïba N'diaye d'une capacité de 158,7 MW, avec une expansion supplémentaire de 100 MW et d'autres projets potentiels à l'étude, le Sénégal remportera également son objectif de capacité éolienne installée bien avant l'échéance de 2030. Grâce à la construction du barrage hydroélectrique de Sambangalou (d'une puissance de 128 MW) (Takoulev, 2023) et d'autres projets en cours de planification ou de construction, le Sénégal sera également en bonne voie pour atteindre son objectif en matière de capacité hydroélectrique.

Figure 3

Objectifs de la CDN du Sénégal en matière d'énergies renouvelables et état d'avancement en 2022



Source : Auteurs et Sénégal (2020)

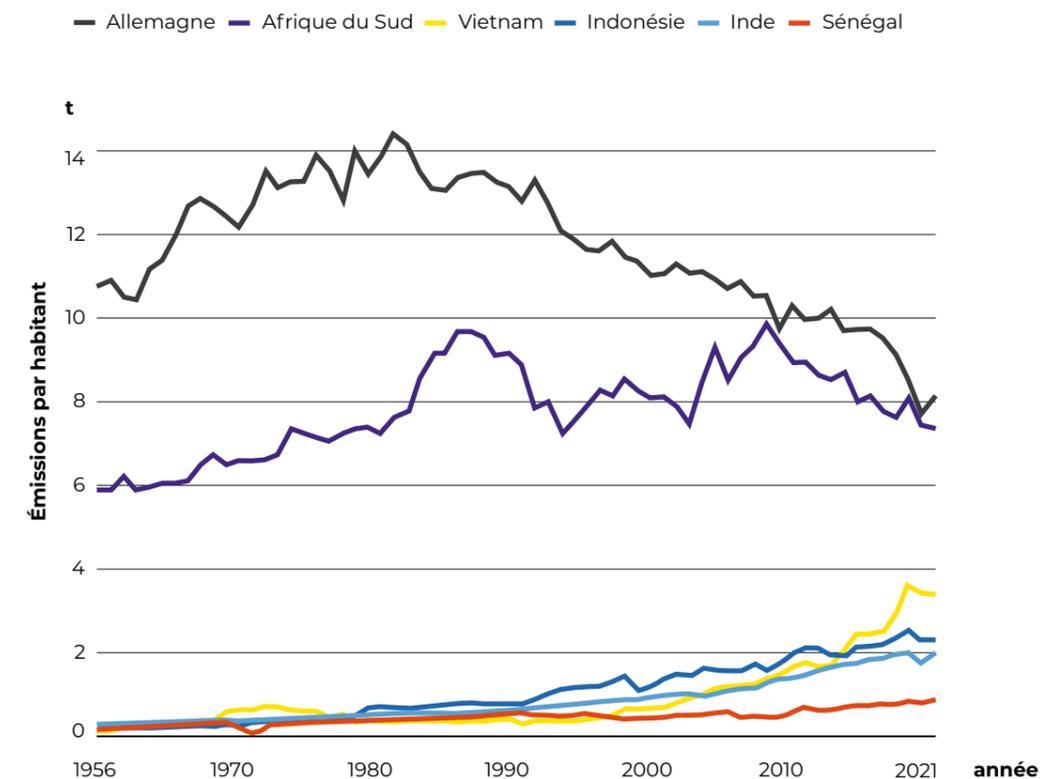
2.3 Un partenariat pour une transition énergétique juste pour le Sénégal

Le soutien et la coopération sur le plan international devront jouer un rôle essentiel pour aider le Sénégal à garantir à l'ensemble de sa population un accès à une énergie propre et fiable tout en soutenant les objectifs de l'Accord de Paris. Dans ce contexte, le Sénégal est un candidat pour un « Just Energy Transition Partnership » (JETP ou partenariat pour une transition énergétique juste). Le premier accord politique pour un JETP (International Partners Group, 2021) a été annoncé en 2021 lors de la COP26 à Glasgow, lorsque le Royaume-Uni, les États-Unis, la France, l'Allemagne et l'Union européenne ont proposé de financer l'abandon du charbon par l'Afrique du Sud. Ce partenariat a reçu un financement d'un montant initial annoncé de 8,5 milliards USD sur une période de trois à cinq ans (Presidential Climate Finance Task Team & International Partners Group, 2022).

En 2022, le communiqué des dirigeants du G7 faisait référence à des négociations pour une deuxième série de JETP avec l'Inde, l'Indonésie, le Sénégal et le Vietnam (G7 Allemagne, 2022). Parmi ces pays, le Sénégal se distingue non seulement en tant que centre régional et en tant que démocratie relativement stable, mais aussi parce qu'il est le seul candidat au JETP à ne pas dépendre fortement du charbon et à ne pas avoir des émissions de GES très élevées, que ce soit en termes absolus ou par habitant. Les émissions de GES par habitant du Sénégal s'élevaient à 0,81 t en 2021, soit moins d'un huitième des émissions par habitant de l'Allemagne et bien moins que celles d'autres candidats au JETP (voir → Figure 3) (Our World in Data, 2023a). La sélection du Sénégal au titre de candidat au JETP, en particulier dans le contexte de ses découvertes de champs pétrolifères et gaziers, constitue un signal important pour les autres pays d'Afrique de l'Ouest et les futurs candidats au JETP quant au potentiel d'une transition énergétique fondée sur les énergies renouvelables, non seulement dans les pays dépendants du charbon, mais aussi dans ceux qui envisagent de s'engager dans une politique énergétique associée à de fortes émissions.

Figure 4

Émissions de CO₂ par habitant dans les pays du JETP et en Allemagne



Source : Our World in Data, basé sur le Global Carbon Project (2022) : OurWorldInData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions · CC BY

Dans ce contexte, bien que le Sénégal ne soit pas fortement basé sur le charbon, son mix électrique est encore largement dépendant du pétrole, et le pays est confronté au défi de l'élimination progressive de ses centrales au charbon et au fioul lourd, tout en se fixant un cap et en évitant l'immobilisation potentielle d'actifs et l'enfermement dans une politique énergétique de dépendance au gaz.

À cet égard, le gouvernement sénégalais a défendu la promotion du gaz dans le cadre de son JETP (Caramel, 2022; Lo, 2022). Bien que la transition du charbon au gaz ou, dans le cas du Sénégal, du fioul lourd au gaz d'origine nationale, permette de réduire ses émissions de CO₂, le rôle potentiel du gaz dans un tel partenariat reste hautement controversé, notamment en raison des divers engagements internationaux des partenaires du G7 concernant le financement public des combustibles fossiles. L'Allemagne et d'autres donateurs du JETP, dont le Canada, la France, l'Italie, le Royaume-Uni et les États-Unis, ont signé la déclaration de Glasgow lors de la COP26 pour « cesser d'apporter une aide publique directe au secteur international des combustibles fossiles [...], hormis dans un nombre limité de cas clairement définis par chaque pays conformément à la limite d'élévation de la température de 1,5 °C et aux objectifs de l'Accord de Paris » (Présidence britannique de la COP 26, 2021). Le Japon a rejoint ces pays avec une formulation similaire dans le communiqué des dirigeants du G7 de 2022 rédigé sous la présidence allemande du G7 (G7 Allemagne, 2022, p. 5). Les pays du G7 se sont engagés à fournir une mise à jour sur la mise en œuvre de ces engagements d'ici la fin de 2023 (G7 Japon, 2023). Les acteurs de la société civile ont appelé à une interprétation stricte, concluant que les investissements dans les combustibles fossiles, y compris le gaz, sont incompatibles avec la protection du climat et l'objectif de transition juste des JETP (Dewi, 2022; Kramer, 2022; Wemanya et Opfer, 2022).

» 03

Avantages du développement des énergies renouvelables pour le Sénégal

Le développement des énergies renouvelables au Sénégal peut présenter plusieurs avantages, notamment une baisse des coûts de la balance commerciale en réduisant la dépendance aux combustibles fossiles actuellement importés, un potentiel de création d'emplois, un meilleur accès à l'énergie et une réduction des émissions de gaz à effet de serre. Contrairement à de nombreux pays fortement dépendants du charbon, le parc actuel de combustibles fossiles du Sénégal dépend des combustibles fossiles importés, et le système existant n'emploie pas beaucoup de personnel. À moyen et long terme, le Sénégal pourrait également exploiter son potentiel renouvelable pour exporter de l'hydrogène et d'autres carburants renouvelables.

3.1 Le vaste potentiel renouvelable du Sénégal

Le Sénégal dispose d'un riche potentiel en matière d'énergies renouvelables, notamment solaire et éolienne (IRENA, 2012; Global Solar Atlas, 2019), qui représente un avantage majeur dans un monde en voie de décarbonation. Ces ressources peuvent non seulement satisfaire les besoins nationaux en fournissant une énergie fiable et durable, mais aussi permettre au Sénégal de se tourner vers l'exportation à destination de pays voisins d'Afrique de l'Ouest, et potentiellement pour l'hydrogène ou d'autres carburants synthétiques à moyen ou long terme. Alors que les projets d'énergies renouvelables à grande échelle peuvent également être associés à des questions de droits humains, de conflits liés à la terre et de dégradation de l'environnement, le développement des énergies renouvelables au Sénégal, une démocratie relativement stable, ne s'est pas avéré jusqu'à présent être un sujet majeur de troubles ou de conflits. Néanmoins, une consultation avec les parties prenantes locales et un consentement informé préalable donné en toute liberté seront cruciaux pour éviter tout conflit dans la poursuite du développement des énergies renouvelables.

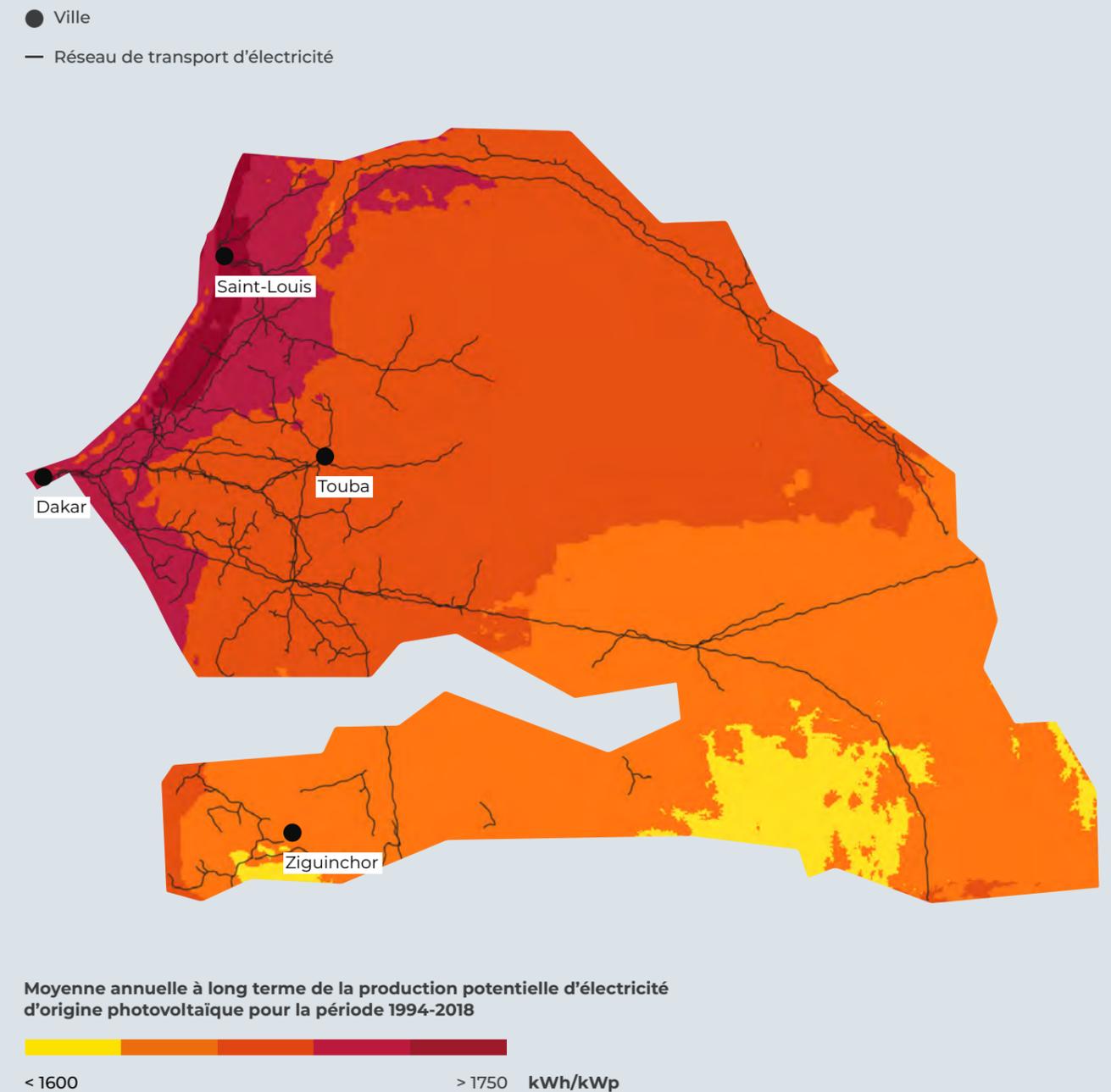
3.1.1 Énergie solaire

L'énergie solaire est une option particulièrement intéressante pour le Sénégal, car le pays est situé dans une région à l'ensoleillement abondant, en particulier dans le nord-ouest, où se trouvent les plus grandes villes, c'est-à-dire Dakar et Saint-Louis, et où existent déjà des lignes de transport de relative qualité. Le pays bénéficie d'une abondante irradiation solaire directe quotidienne de 4,2 à 5 kWh/m² (voir Figure 4 (Solargis et al., 2023)). 90 % du pays reçoit 1600 à 1800 kWh/m² par an d'irradiation directe normale, soit près de 70 % de plus par mètre carré que le nord de l'Allemagne (IRENA, 2012; Solargis et al., 2023). En 2018, l'IRENA a estimé le potentiel photovoltaïque à 37 233 MW (IRENA, 2018)³.

Après diverses réformes politiques et réglementaires à partir de 2010, le Sénégal a particulièrement bien réussi à promouvoir le développement des énergies renouvelables en lançant des appels d'offres pour des centrales solaires photovoltaïques à l'échelle des services publics (Lecoufle, 2018). Depuis l'inauguration des premières centrales à Bokhol (2016), Malicounda (2016) et Santhiou Mékhé (2017), un plus grand nombre de projets a été développé. Dès 2022, le Sénégal avait dépassé l'objectif inconditionnel en matière d'énergie solaire photovoltaïque, objectif qu'il s'était fixé dans sa CDN pour 2030. Nombre de ces projets ont bénéficié de diverses formes de soutien, notamment des subventions pour des études de faisabilité, des financements par l'emprunt de la part de prêteurs multilatéraux et bilatéraux tels que l'IFC, la BEI et Proparco ; des crédits à l'exportation ; et des garanties d'institutions telles que l'Agence multilatérale de garantie des investissements (MIGA) contre les risques non

³ Ces estimations fondées sur diverses hypothèses, y compris la disponibilité des terrains et les facteurs de coût, devront être mises à jour et seraient beaucoup plus élevées avec des informations actualisées et d'autres paramètres.

Figure 5
Potentiel d'énergie solaire



Source : Réalisation personnelle basée sur Solargis et al., 2023

commerciaux. Toutefois, les investisseurs privés ont joué un rôle important et croissant, notamment le Fonds souverain d'investissements stratégiques du Sénégal (FONSIS). S'il dispose d'un cadre réglementaire favorable, le Sénégal peut s'appuyer sur cette réussite et se fixer des objectifs nettement plus élevés en matière de photovoltaïque.

3.1.2 Énergie éolienne

Le Sénégal dispose d'importantes ressources éoliennes qui peuvent être exploitées pour fournir une énergie propre, fiable et abordable. Les zones côtières du pays disposent de certaines des ressources éoliennes parmi les plus fortes et les plus régulières d'Afrique de l'Ouest, en particulier le long de la côte dans le nord et le sud du pays, où il existe un potentiel éolien de 4 à 6 m/s (IRENA, 2012). La modélisation de l'IRENA de 2018 suggère que le Sénégal dispose d'une capacité éolienne (terrestre) potentielle totale de 4,5 GW (IRENA, 2018)⁴. En outre, la Banque mondiale estime un potentiel offshore de 45 GW : 13 GW de potentiel fixe et 32 GW de potentiel flottant (DTU et al., 2023)⁵. L'énergie éolienne complète relativement bien l'énergie solaire, car le photovoltaïque atteint son maximum à la mi-journée, tandis que l'énergie éolienne au Sénégal se développe dans la soirée et la nuit (Sterl et al., 2020).

Le Sénégal accueille notamment le plus grand parc éolien d'Afrique de l'Ouest. Lekela Taïba N'Diaye est un projet terrestre achevé en 2021 d'une capacité de 158 MW et produisant 400 GWh par an (Connor, 2022). Cette centrale seule est particulièrement importante compte tenu de sa taille dans le parc sénégalais de production d'électricité : en effet, une fois le projet complet mis en service, il a immédiatement représenté 15 % de la capacité totale de production d'électricité du Sénégal (Takouleu, 2021). Bien qu'il ait bénéficié de financements publics américains, danois et multilatéraux, de réassurances, de crédits à l'exportation, d'assurances contre les risques politiques ainsi que de subventions au début de sa phase de développement, Lekela, une société privée de production d'énergie renouvelable, a joué un rôle de premier plan dans son financement et son développement.

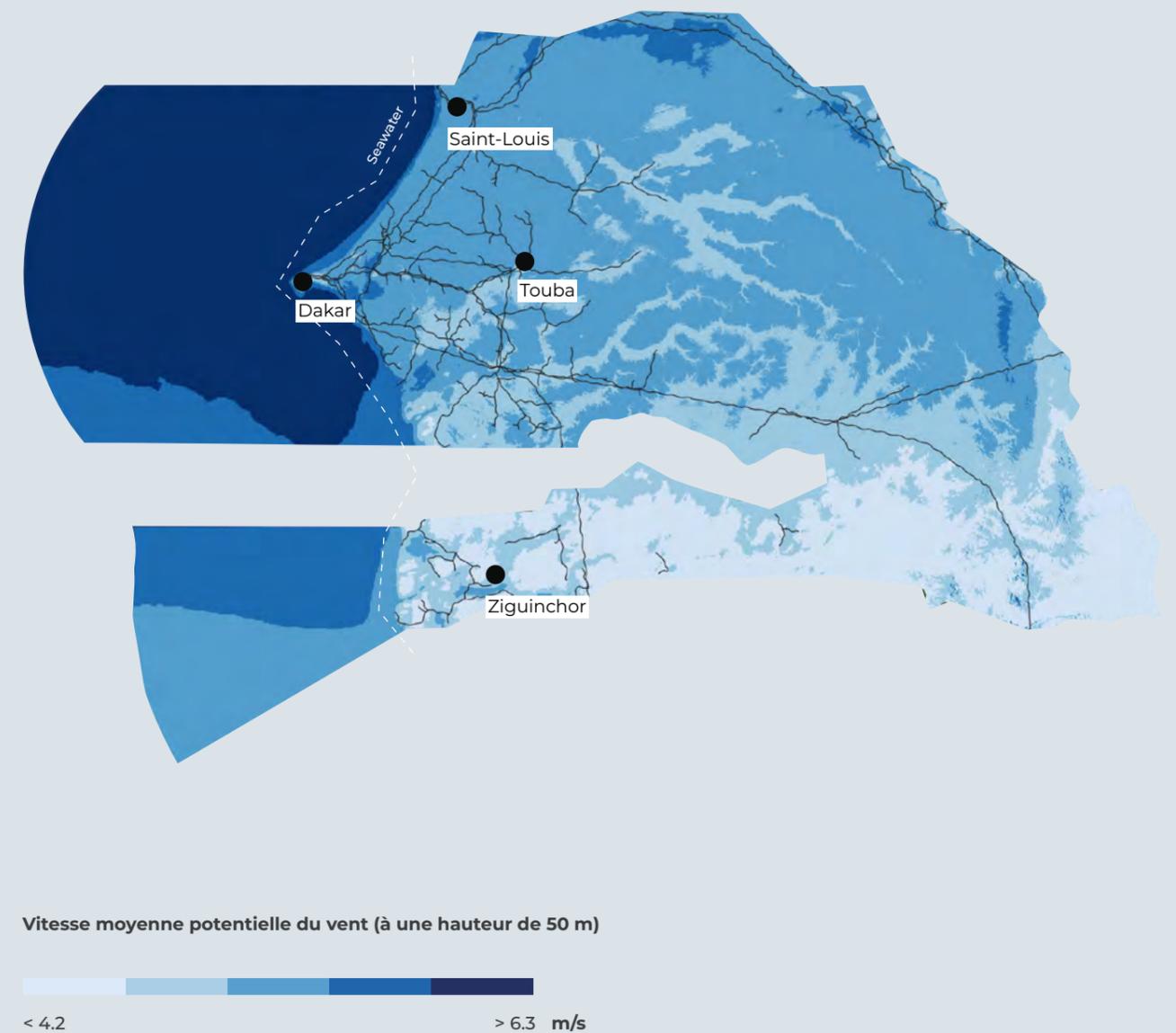
À l'avenir, le Sénégal devrait attirer beaucoup plus d'investissements dans l'énergie éolienne, et le parc éolien de Taïba N'Diaye est à des capacités d'extension. L'Agence américaine pour le commerce et le développement a accordé une subvention pour une étude de faisabilité concernant l'ajout d'un système de stockage d'énergie par batterie (SSEB) de 40 MW pour fournir 175 MWh d'électricité (DNV, 2020). La clôture financière pour la construction du système SSEB est prévue pour le printemps 2023 (Antonopoulos, 2023) et pourrait permettre une nouvelle expansion du parc éolien de 100 MW (Construction Review, 2021).

⁴ Ces estimations fondées sur diverses hypothèses, y compris la disponibilité des terrains et les facteurs de coût, devront être mises à jour et seraient beaucoup plus élevées avec des informations actuelles et d'autres paramètres.

⁵ Basé sur une méthodologie différente de celle de l'IRENA, il n'est pas directement comparable.

Figure 6
Potentiel éolien

● Ville
— Réseau de transport d'électricité



Source : Réalisation personnelle basée sur DTU et al., 2023

3.1.3 Hydroélectricité

Si le potentiel du Sénégal en matière d'énergies renouvelables réside principalement dans les énergies solaire et éolienne, et si Sterl et al. (2020) recommande que le Sénégal se concentre sur son avantage comparatif régional en la matière, le pays dispose également d'un certain potentiel en matière d'énergie hydroélectrique. Jusqu'en 2012 environ, la seule source d'énergie renouvelable alimentant le réseau sénégalais était la centrale hydroélectrique de Manantali au Mali, co-développée avec le Sénégal, et qui fournit de l'électricité au Sénégal par l'intermédiaire du Système d'échanges d'énergie électrique ouest-africain (EEEOA) (BAD, 1994). Depuis lors, plusieurs barrages hydroélectriques supplémentaires ont été construits ou sont prévus dans le cadre de l'EEEOA, y compris un projet « au fil de l'eau » de 59 MW à Felou, au Mali (Energypedia, 2015; Tchanche, 2020). Bien que le Sénégal dispose d'un potentiel hydroélectrique d'environ 1400 MW sur les fleuves Sénégal et Gambie (IRENA, 2012), la majeure partie de la capacité hydroélectrique disponible pour le Sénégal se trouve principalement dans les pays voisins (Sterl et al., 2020).

Reconnaissant les ressources régionales, le Sénégal s'est associé à des partenaires régionaux pour fonder deux organisations chargées de développer les ressources hydroélectriques : l'OMVS⁶, fondée par les gouvernements du Mali, du Sénégal et de la Mauritanie, ainsi que l'OMVG⁷, dont les membres sont la Gambie, le Sénégal, la Guinée et la Guinée-Bissau. Ces organisations développent conjointement l'hydroélectricité pour la région élargie des bassins fluviaux respectifs. Un grand projet hydroélectrique est en cours de construction sur le fleuve Gambie, dans le sud-est du Sénégal. Une fois achevé, le barrage hydroélectrique de Sambangalou devrait disposer d'une capacité de 128 MW (Moraes, 2023; Takoueu, 2023). L'hydroélectricité peut venir en complément des énergies solaire et éolienne sur le réseau en accumulant l'eau dans des réservoirs comme alternative aux batteries (KfW et al., 2020). Le transport dans le cadre de l'EEEOA permettra de relier les pays ayant un potentiel hydroélectrique plus important, comme le Ghana au Sénégal. Ce dernier pourra ainsi étendre son réseau et faire du commerce grâce à son potentiel solaire et éolien comparativement plus important (Sterl et al., 2020). Il est important de noter que l'hydroélectricité est capable d'apporter de l'inertie à un réseau électrique, ce qui lui garantit une stabilité en cas de défaillance du réseau (Denholm et al., 2020). L'augmentation de la capacité de transport de l'énergie hydroélectrique peut également servir à mettre en place des centrales photovoltaïques flottantes sur des réservoirs afin d'en réduire l'évaporation. Une telle installation est déjà en cours en Côte d'Ivoire (Konandi, 2022), qui est également membre de l'EEEOA.

Cependant, le développement de grands projets hydroélectriques durables au Sénégal présente des limites, compte tenu de l'impact important des barrages et des réservoirs qui en résultent sur les populations locales et les écosys-

tèmes, et de la variabilité de la disponibilité de l'eau en raison des sécheresses et du changement climatique. Le Sénégal a déjà connu des sécheresses plus fréquentes et plus graves ces dernières années (Faye et al., 2019), ce qui complique le projet de forte expansion de l'hydroélectricité comme future source constante d'électricité. La modélisation de l'IRENA considère également les sécheresses comme une contrainte pour la capacité hydroélectrique (IRENA, 2018). Toutefois, une planification intégrée de la production hydroélectrique, éolienne et solaire permettra de tirer parti du potentiel de stockage des barrages hydroélectriques tout en réduisant la dépendance excessive à l'égard de l'hydroélectricité (Sterl et al., 2020).

3.2 Avantages financiers des énergies renouvelables par rapport à la dépendance au gaz

Contrairement aux systèmes électriques d'Europe ou d'Amérique du Nord, où la capacité élargie en énergies renouvelables remplace progressivement les ressources existantes en combustibles fossiles dans un réseau électrique caractérisé par une croissance relativement limitée de la demande, l'Afrique subsaharienne a la possibilité de construire un réseau électrique renouvelable « entièrement neuf » afin de répondre à la croissance rapide de la demande en partant de zéro et en évitant de recourir aux combustibles fossiles (Sterl et al., 2020; Kitetu et al., 2021). La construction, dès le départ, d'un réseau essentiellement axé sur les énergies renouvelables est globalement moins coûteuse qu'un réseau électrique recourant principalement au gaz d'origine nationale afin de réduire la dépendance aux importations de fioul lourd et de charbon, pour ensuite investir par la suite dans une transition vers les énergies renouvelables.

À court terme, l'expansion des énergies renouvelables au Sénégal réduirait, et le fait déjà progressivement, la dépendance à l'importation de combustibles fossiles. Elle permet de renforcer la sécurité énergétique et de réduire la vulnérabilité de l'économie aux chocs des prix mondiaux de l'énergie, un défi majeur auquel le Sénégal a toujours été confronté.

Bien que le Sénégal dispose de ressources gazières nationales, dont certaines seront probablement mises en service en 2024 (Ford, 2023), leur utilisation dans le pays ne mettra pas nécessairement le Sénégal à l'abri de la volatilité des marchés internationaux. Tout gaz utilisé au niveau national s'accompagne d'un coût d'opportunité, car il aurait pu être exporté. À cet égard, le cas de la Tunisie constitue un avertissement. Exportateur net d'énergie jusqu'au début des années 2000, son manque d'investissement dans les énergies renouvelables a entraîné une croissance plus rapide de sa demande intérieure en énergie, sur

⁶ L'Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal.

⁷ L'Organisation pour la mise en valeur du Fleuve Gambie.

fond de déclin de sa production intérieure (Cherif et Mobarek, 2016). L'absence d'investissements dans les énergies renouvelables a eu pour conséquence de mettre ce pays, autrefois exportateur de pétrole et de gaz, à nouveau à la merci des marchés internationaux de l'énergie (Cherif et Mobarek, 2016).

Les projets sénégalais de renforcement de la production d'électricité à partir du gaz, tels qu'exposés dans sa « Stratégie Gaz to Power » rédigée pour la première fois en 2018 (Sénégal, 2018b), sont à même de réduire les émissions par rapport à la production d'électricité à partir de charbon ou de fioul lourd. Toutefois subsistent également des risques d'immobilisation importants et coûteux liés au développement d'un réseau électrique basé sur le gaz. En particulier, un passage au gaz à grande échelle au Sénégal est susceptible d'avoir un impact significatif en retardant la décarbonation (McJeon et al., 2014).

Ce risque d'immobilisation et le manque de compatibilité avec un rôle accru des énergies renouvelables dans le réseau sont particulièrement problématiques pour les centrales à gaz à cycle combiné (CGCC), généralement conçues pour fonctionner avec des facteurs de charge élevés, indépendamment de la disponibilité de l'énergie solaire ou éolienne à un moment donné (Marquardt and Kachi, 2021). Une étude de Wärtsilä a révélé qu'un renforcement de la capacité des CGCC pourrait coûter au Sénégal jusqu'à 480 millions USD de plus d'ici 2035 qu'un scénario alternatif prévoyant une production plus importante d'énergies renouvelables et des moteurs à combustion interne plus petits (Huhdanmäki, 2022). La modélisation de Sterl et al. a révélé qu'une utilisation optimisée des énergies éolienne, solaire et hydraulique dans la région de l'Afrique de l'Ouest au sens large « permettrait de produire de l'électricité à parité de réseau avec le gaz naturel bon marché en moins de 10 ans, et pour 10 % moins cher d'ici 2030 » (Sterl et al., 2020, p. 713). Par conséquent, il existe un potentiel significatif pour une plus grande ambition d'évolution vers la décarbonation tout en atteignant les objectifs de développement durable du Sénégal, en particulier avec une coopération améliorée avec ses voisins.

Encadré 1

Le point de vue de la société civile sénégalaise :

Une utilisation limitée du gaz fossile pour atteindre 100 % d'énergies renouvelables et un pays prospère en 2035

Compte tenu du caractère inévitable de l'exploration gazière au large des côtes sénégalaises, il sera nécessaire de promouvoir tous les aspects du développement durable, y compris les garanties environnementales et sociales. Cette ambition devra dépasser le fonds souverain intergénérationnel, chargé par une loi en septembre 2022 de générer des rendements au profit des générations futures, en utilisant les rendements de l'extraction et du commerce du gaz fossile. Un effort important s'impose donc pour accomplir une transition énergétique qui réduise la dépendance aux énergies fossiles grâce à une gestion responsable des réserves d'hydrocarbures. À cet effet, la majeure partie des revenus issus de l'exploitation du pétrole et du gaz devrait servir à investir dans le développement des énergies renouvelables (solaire, éolienne et hydroélectrique). De plus, le plan « Gas to Power » du gouvernement sénégalais devrait se muer en un « plan énergétique vert » afin d'atteindre 100 % d'énergies renouvelables d'ici 2035.

Compte tenu de l'impact des projets d'hydrocarbures pendant encore au moins 30 ans et des nombreuses solutions issues des pratiques agricoles, il est nécessaire d'accompagner les acteurs locaux vers des moyens de subsistance alternatifs ou complémentaires pour les communautés d'agriculteurs et de pêcheurs. Citons par exemple la promotion des économies verte et bleue en collaboration avec les institutions de formation professionnelle, d'enseignement supérieur et de recherche, etc. Il s'agit d'une opportunité pour lutter contre la pauvreté, les inégalités et le changement climatique, où la coopération entre le Sénégal et l'Allemagne peut être avoir un impact considérable.

La stratégie de la transition énergétique sénégalaise doit être juste, impartiale et équitable pour garantir la sécurité énergétique et un accès abordable à l'énergie pour tous et partout.



3.3 Résilience supérieure des énergies renouvelables

Un système énergétique basé sur les énergies renouvelables présente une résilience accrue au changement climatique par rapport à un système basé principalement sur les combustibles fossiles. Les températures élevées de l'air ont un impact négatif sur l'efficacité des centrales thermiques (Singh et Kumar, 2012). En outre, vu l'augmentation attendue des températures extrêmes et des sécheresses, il pourrait s'avérer nécessaire de réduire le nombre de centrales thermiques à combustibles fossiles en raison du stress hydrique ou d'une disponibilité plus faible d'eau pour refroidir les centrales (Byers et al., 2018; Coffel et Mankin, 2021).

En outre, une part importante du parc sénégalais de combustibles fossiles est située dans des zones côtières vulnérables. La centrale électrique au charbon de Sendou, près de Bargny, est l'une des zones côtières du Sénégal les plus vulnérables à l'érosion et à l'élévation du niveau des mers (Caramel, 2015). Bien qu'aucune évaluation complète de la vulnérabilité n'ait été réalisée, le développement de sources d'énergie renouvelable, notamment solaire et éolienne, qui ne nécessitent pas d'eau de refroidissement et qui peuvent être situées plus loin des zones côtières, est essentiel pour accroître la résilience du système énergétique sénégalais.

3.4 Croissance économique et autres avantages du développement durable

La transition vers une énergie propre au Sénégal présente également bien d'autres avantages. Fondamentalement, l'accès à une énergie abordable est la clé du développement durable et de la croissance économique. Des énergies renouvelables moins onéreuses grâce à l'extension du réseau et aux mini-réseaux sont essentielles à l'électrification des zones rurales, à l'accès à l'énergie, à la réduction de la pauvreté énergétique et à la croissance économique générale, en particulier pour les petites et moyennes entreprises (PME) sénégalaises.

Le remplacement du parc existant de centrales au fioul lourd et au charbon réduirait le coût de l'importation de ces combustibles, diminuerait la pollution de l'air et améliorerait la santé publique. L'accès à une énergie propre et abordable et l'expansion du secteur commercial national de développement des énergies renouvelables joueront un rôle central dans la diversification économique. À cet égard, il importe que le Sénégal évite le « syndrome hollandais », où l'expansion potentielle des ressources pétrolières et gazières nationales affaiblit le reste de l'économie. La réduction de la dépendance à l'égard des centrales thermiques qui rejettent des eaux de refroidissement réduirait la pression sur les écosystèmes marins (Roy et al., 2022), dont dépend l'industrie locale de la pêche, qui emploie de nombreux Sénégalais. Les projets liés aux énergies renouvelables créent des emplois verts lors des phases de construction et d'entretien, ainsi que dans l'économie en général. Selon le Climate Action Tracker, qui a adapté l'approche du facteur emploi de Rutovitz et al. (2015), une trajectoire compatible avec une augmentation de 1,5 °C pour le Sénégal créerait 1,4 million d'années-emploi de plus qu'un scénario basé sur le gaz au cours de la période 2021-2030 (Climate Action Tracker, 2022).

À plus long terme, l'infrastructure sénégalaise d'énergies renouvelables pourra se prêter à la production d'hydrogène vert et représenter une opportunité supplémentaire importante pour la croissance économique. Bien qu'accompagnée de

défis, la production d'hydrogène vert induit de nombreux avantages en termes de développement durable, non seulement pour la production et l'exportation d'hydrogène, mais aussi pour la sécurité alimentaire (ODD 2), l'eau propre et l'assainissement (ODD 6). Le Sénégal doit actuellement importer des engrais à des prix élevés sur le marché international. Grâce à la production nationale d'hydrogène, le Sénégal serait en mesure de produire ses propres engrais, réduisant ainsi sa dépendance à l'égard des importations et favorisant la création d'une nouvelle industrie nationale susceptible d'exporter sa production vers d'autres pays. Ces possibilités sont examinées plus en détail au → **Chapitre 5**.

»» 04

Domaines prioritaires et modes de soutien pour un système basé sur les énergies renouvelables

Si le Sénégal a démontré pouvoir attirer, moyennant un soutien international, des investisseurs privés en vue de projets liés aux énergies renouvelables, en termes d'émissions, ce qui importe le plus est la proportion d'électricité effectivement consommée qui provient des énergies renouvelables ainsi que le facteur d'émission global du réseau. En 2015, un document de planification du gouvernement sénégalais a fixé un objectif de 20 % d'électricité renouvelable (y compris l'hydroélectricité) dans le mix électrique en 2020 et de 23 % en 2030 (Sénégal, 2015). La même année, un nouvel objectif de 30 % pour le photovoltaïque et l'éolien dans le mix de production électrique a été fixé pour 2025, avec l'intention de maintenir la part de 30 % de la production malgré la croissance rapide de la demande jusqu'en 2030 (Niane, 2015).

Bien que l'objectif de 20 % ait été manqué de peu en 2020, il a été atteint en 2021, avec une part de 20,14 % d'énergies renouvelables dans la production d'électricité (Our World in Data, 2023b). Depuis lors, cette part a encore augmenté : avec l'achèvement du parc éolien de Taïba N'Diaye en 2022 (Hollands, 2021) et de la centrale solaire photovoltaïque de Diass (Takouleu, 2022), le Sénégal aurait atteint 36,6 % de la consommation en 2022 (Connor, 2022). Une modélisation réalisée en 2018 par l'IRENA a révélé que la capacité de production d'énergie d'origine renouvelable pourrait potentiellement atteindre des niveaux proches de 65 % de l'électricité aux heures de pointe de la demande en Afrique de l'Ouest d'ici 2030 (IRENA, 2018), ce qui représente une augmentation par rapport à l'estimation précédente de l'IRENA datant de 2013, qui était de 52 % en 2030. Avec l'évolution continue de la promotion des énergies renouvelables, le Sénégal et ses voisins devraient être en mesure de pousser ce taux à la hausse. Afin de permettre un pourcentage plus élevé d'énergies renouvelables dans le mix de production d'électricité, il est important de soutenir le Sénégal dans la construction d'un système électrique flexible et réactif ainsi que d'améliorer l'environnement général qui y contribue, y compris par le renforcement de la capacité des institutions financières locales à investir dans la transition énergétique sénégalaise.

4.1 Favoriser un système électrique flexible et réactif

Malgré les succès remportés par le Sénégal jusqu'à présent, de nombreux experts notent qu'à environ 36,6 %, le Sénégal s'approche peut-être déjà d'un seuil au-delà duquel toute capacité renouvelable supplémentaire pourrait constituer un défi pour la stabilité du réseau (OECD/IEA, 2018; De Vivo-Serrano et al., 2019; IEA, 2019c; World Bank, 2019). Au-delà de ce seuil, étant donné que la production et la consommation sur le réseau doivent coïncider et que la consommation réelle ne correspond pas toujours aux pics de production solaire et éolienne, les énergies renouvelables variables provenant du solaire et de l'éolien peuvent nécessiter une interruption sans mesures de flexibilité supplémentaires.

Afin de permettre une plus grande croissance des énergies renouvelables dans la part de la production d'électricité sénégalaise, la mise en œuvre de mesures visant à accroître la flexibilité du système est essentielle. Ces mesures comprennent le stockage et les réseaux intelligents, l'amélioration de la gestion du réseau électrique, l'amélioration du transport et de la distribution, y compris avec l'EEEOA de manière plus large, ainsi que la recherche d'options pour réaffecter le parc fossile existant

4.1.1 Stockage et réseaux intelligents

L'intégration de sources d'énergie d'origine renouvelable dans le réseau nécessite le déploiement de nouvelles infrastructures et technologies en vue du stockage et de la gestion de l'énergie. Ce développement, notamment des SSEB (système de stockage d'énergie par batterie), l'intégration de la production hydroélectrique complémentaire et, à terme, le stockage hydroélectrique par pompage-turbinage peuvent contribuer à surmonter les difficultés liées à la nature variable des sources d'énergie renouvelable. Le stockage et les réseaux intelligents peuvent également contribuer à réduire la nécessité d'apporter des améliorations coûteuses au réseau et à l'infrastructure de transport.

Une étude australienne récente a mis en évidence que les batteries à grande échelle offrent des avantages significatifs pour les services de pointe en termes de coûts, de flexibilité et d'émissions par rapport aux centrales à gaz à cycle ouvert (Clean Energy Council, 2021). Plusieurs centrales renouvelables au Sénégal comprennent déjà des SSEB, et d'autres sont en cours d'étude de faisabilité, de projet et de construction. Par exemple, outre la centrale SSEB de Taïba N'Diaye susmentionnée en attente de clôture financière, une centrale combinant 30 MW de PV et un stockage de 15 à 45 MWh heures est en cours de développement à Niakhar (Magoum, 2020). Le Sénégal a également installé la première sous-station haute tension entièrement numérique d'Afrique en 2021 (AIE, 2022). Par ailleurs, dans le cadre d'un projet plus vaste financé par la KfW Entwicklungsbank et l'AFD pour aider la Senelec à moderniser et à renforcer son réseau électrique, un autre appel d'offres public pour la fourniture d'équipements et pour la construction d'un SSEB de 56 MW / 56 MWh était en cours en mars 2023 (dg Market, 2023; KfW, 2023c).

Sterl et al. (2020, p. 710) note que les centrales hydroélectriques dotées de réservoirs sont bien adaptées pour compléter la variabilité des énergies éolienne et solaire, compte tenu des « faibles charges minimales, des temps de démarrage rapides, des taux de montée en puissance rapides, des faibles coûts marginaux et de la capacité d'amortissement de l'énergie saisonnière » de l'hydroélectricité. Bien que les différents projets hydroélectriques de l'EEEOA ne soient pas encore clairement utilisés pour équilibrer la production et la consommation

d'énergie éolienne et solaire, ils ont le potentiel d'y parvenir à l'avenir en fonction des accords contractuels au sein de l'EEEOA. Ces systèmes sont capables de contribuer à accroître la pénétration des sources d'énergie renouvelable en stockant l'énergie excédentaire pendant les périodes de forte production d'énergie renouvelable et en la restituant pendant les périodes de faible production ou de forte demande. Bien qu'ils sont limités par la nécessité de garantir un certain débit pour assurer les services liés aux écosystèmes des bassins fluviaux, leur capacité de stockage en complément des énergies renouvelables est essentielle pour réduire la nécessité d'une production d'appoint à base de combustibles fossiles et, partant, les émissions de gaz à effet de serre. Même s'ils s'avèrent plus coûteux, les systèmes de pompage-turbinage pourraient à l'avenir compléter l'augmentation de la production d'énergie solaire et éolienne (Sterl et al., 2020).

Outre le stockage de l'énergie, le déploiement de réseaux intelligents peut également contribuer à gérer l'intégration des sources d'énergie renouvelable dans le réseau. Les réseaux intelligents recourent à des technologies avancées de surveillance, de communication et de régulation pour gérer les flux électriques entre les producteurs, les consommateurs et le réseau. Les réseaux intelligents sont également à même d'équilibrer l'offre et la demande en ajustant les prix de l'électricité, en gérant les pics de demande et en intégrant les ressources énergétiques distribuées telles que les panneaux solaires sur les toits et les systèmes de stockage de l'énergie. Un document de l'Energy Futures Lab de l'Imperial College de Londres explore le concept de « réseaux intelligents et justes » en adaptant les réseaux intelligents spécifiquement à l'Afrique subsaharienne (Bazilian et al., 2011). Le Rwanda, le Nigeria et l'Égypte mettent déjà en œuvre des projets de réseaux intelligents (Omata, 2023), expérience dont le Sénégal peut tirer des enseignements. Dans certains cas, le comptage hors réseau est plus intelligent que le comptage sur réseau, compte tenu du contexte particulier de la consommation et de la facturation. Le KfW soutient déjà activement l'installation de compteurs d'électricité prépayés et de compteurs intelligents au Sénégal afin de faciliter les processus de facturation et de permettre aux consommateurs de mieux comprendre leur consommation (KfW, 2023b).

Les mesures incitatives d'adaptation à la demande constituent une autre mesure potentielle importante et peu coûteuse, permettant aux consommateurs de prendre en compte les signaux provenant du réseau en réduisant leur consommation d'électricité pendant les périodes de pointe et en programmant l'utilisation de l'énergie de manière à ce qu'elle corresponde à l'augmentation de la production d'énergie renouvelable. L'adaptation à la demande peut contribuer à équilibrer le réseau en réduisant le besoin de centrales de pointe et de lignes de transport coûteuses. L'utilisation de l'adaptation à la demande peut également contribuer à réduire la consommation globale d'énergie et les coûts

pour les consommateurs. Son potentiel est déjà exploré en Afrique du Sud, qui souffre régulièrement de pannes d'électricité (CTCN, 2021). Bien que nécessitant des compteurs intelligents, les systèmes d'adaptation à la demande sont des options relativement peu coûteuses pour décaler la demande d'électricité vers des périodes où la production renouvelable est abondante et pour s'éloigner de la dépendance aux combustibles fossiles (Lorenzi et Silva, 2016).

4.1.2 Le transport d'électricité et le Système d'Echanges d'Energie Electrique Ouest Africain (EEEOA)

Un élargissement important de l'infrastructure de transport et de distribution est également un facteur clé pour soutenir le développement des énergies renouvelables. Le développement du réseau électrique reste une priorité au Sénégal, car les réseaux ne couvrent pas encore l'ensemble du territoire. D'importants programmes de financement de la part de donateurs internationaux soutiennent l'entretien, la modernisation et le développement des infrastructures de transport et de distribution au Sénégal et dans l'ensemble de la région couverte par l'EEEOA. Il s'agit notamment d'une subvention de 550 millions USD de la Millennium Challenge Corporation des États-Unis, montant spécifiquement destiné au Sénégal (MCC, 2023), et d'un projet de 465 millions d'USD de la Banque mondiale pour la région couverte par l'EEEOA (Banque mondiale, 2021).

Le Sénégal n'est pas isolé en termes de capacité de production et de transport d'électricité. Au contraire, il partage des interconnexions avec plusieurs autres pays de l'EEEOA, une initiative régionale visant à mettre en place un marché unifié de l'électricité en Afrique de l'Ouest grâce à l'interconnexion des réseaux électriques nationaux et au développement d'une infrastructure de transport transfrontalier⁸. Ce transport élargi permet aux réservoirs hydroélectriques d'un pays de mieux compléter l'énergie éolienne et hydroélectrique d'un autre pays (Sterl et al., 2020). La modélisation de l'IRENA montre que l'infrastructure de transport transfrontalier est bénéfique au déploiement des énergies renouvelables dans la région dans tous les scénarios modélisés (IRENA, 2018).

La modernisation et l'expansion de l'infrastructure de transport par le biais de l'EEEOA permettent de surmonter les défis associés à la nature variable des sources d'énergie renouvelable, en fournissant un meilleur accès à un marché plus vaste et en permettant le transfert de l'énergie excédentaire des zones à forte production d'énergie renouvelable vers les zones à forte demande. Le développement de l'infrastructure de transport peut également contribuer à améliorer la fiabilité et l'efficacité du système électrique en réduisant les pertes dues au transport et en améliorant l'équilibre entre l'offre et la demande. Les pays membres de l'EEEOA ont échangé 5,585 TWh d'électricité à travers leurs frontières nationales en 2018 (Climatelinks, 2019). La modélisation de Sterl et al. (2020) suggère qu'une capacité de transport accrue dans la région pourrait permettre au Sénégal de se concentrer sur le développement et l'exportation

⁸ Les membres de l'EEEOA sont les suivants : Bénin, Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Gambie, Ghana, Guinée, Guinée-Bissau, Mali, Niger, Nigeria, Sénégal, Sierra Leone et Togo.

Encadré 2

Électrification des zones rurales

L'électrification des zones rurales est une priorité de l'objectif sénégalais d'accès universel à l'électricité d'ici 2025. Le gouvernement sénégalais a donné la priorité à l'extension du réseau afin de couvrir 95 % de la population rurale d'ici 2025 (Sénégal, 2018a). Le Sénégal progresse vers cet objectif, même s'il n'est pas certain qu'il soit complètement atteint d'ici 2025. Cette expansion laisse cependant un vide dans les zones rurales, et il subsiste un potentiel important ainsi qu'un besoin d'accroître les efforts d'électrification rurale à la fois dans les zones où le réseau peut être étendu et dans les zones où aucune extension du réseau n'est prévue. Après les difficultés initiales rencontrées lors du lancement des premières initiatives majeures vers 2008, le Sénégal s'est imposé comme un leader régional de l'accès solaire hors réseau en termes de mini-réseaux installés par habitant. Des systèmes de paiement innovants pour récupérer les coûts des installations ont constitué un facteur clé pour surmonter les contraintes liées à l'accessibilité financière (Diop, 2022).

Il existe actuellement un conflit entre les plans d'extension du réseau du gouvernement et les opérateurs de mini-réseaux qui, selon les plans du gouvernement, ne desserviront que 4 % de la population rurale en 2025, 1 % supplémentaire étant desservi par des systèmes solaires domestiques (SSD) (Sénégal, 2018a). Alors que l'extension du réseau représente un risque économique pour les opérateurs de mini-réseaux, Kitetu (2021) suggère qu'il existe des possibilités d'intégrer les mini-réseaux d'énergies renouvelables distribuées au sein d'un nouveau modèle de systèmes électriques, évitant ainsi la mise en place de systèmes électriques centralisés qui prédomine dans les pays du Nord. Dans le cas présent, une expansion du prosumérisme énergétique⁹, où par exemple les opérateurs de mini-réseaux se transforment en petits producteurs et distributeurs d'électricité au sein du réseau global, permet d'assurer un modèle commercial pour des investissements continus (Tenenbaum et al., 2018). Pour favoriser un tel modèle, de nouvelles réformes de la législation sur l'électricité, un engagement accru avec la Senelec et une meilleure sensibilisation des producteurs potentiels sont nécessaires.

Les entreprises allemandes collaborant avec des partenaires sénégalais jouent déjà un rôle important dans l'accès à l'énergie des zones rurales grâce à la construction de mini-réseaux au Sénégal. Grips Energy, société de développement de projets d'énergie renouvelable, a récemment ouvert une filiale au Sénégal, qui fait office de carrefour pour l'Afrique de l'Ouest francophone (Econnext, 2022). GAUFF engineering, entreprise basée à Nuremberg, a remporté un contrat pour l'électrification de 300 villages grâce à des mini-réseaux photovoltaïques avec stockage par batterie comprenant des composants de SMA Solar, un projet qui a bénéficié d'un financement de la banque KfW IPEX et de crédits à l'exportation d'Euler Hermes (Gauff Engineering, 2019; Klügling, 2023). Africa GreenTec AG est une autre entreprise allemande présente au Sénégal qui s'est spécialisée dans l'électrification des zones rurales et a notamment mis en œuvre un projet photovoltaïque intégré qui combine la filtration de l'eau et la réfrigération des denrées périssables à Ndiob, un village éloigné du réseau électrique principal du Sénégal (BMWK, 2022). En outre, des projets tels que le projet de démonstration « Energy 4 Impact », soutenu par la GIZ pour le compte du BMZ, pourraient être développés. Ce projet se concentre sur la réhabilitation et l'amélioration d'un mini-réseau solaire sous-performant dans l'est du Sénégal, en abordant les questions de l'offre et de la demande afin d'accroître la viabilité commerciale et d'étendre le service à un plus grand nombre de clients (Energy 4 Impact, 2022).

⁹ Voir → Chapitre 4.1.5 Couplage sectoriel et prosumation.

des énergies éolienne et solaire et de bénéficier de l'hydroélectricité et du futur potentiel de stockage par pompage-turbinage dans d'autres pays tels que la Guinée et le Ghana. Malgré une certaine coopération régionale, la plupart des pays continuent de concentrer leur planification de l'énergie au niveau national, sans tenir compte des gains d'efficacité potentiels en vue des échanges transfrontaliers et de l'opportunité correspondante de faire entrer les énergies renouvelables au parc de production (Banque mondiale, 2019; Sterl et al., 2020). Le soutien international visant à favoriser la confiance régionale et l'amélioration de la planification régionale est essentiel pour tirer le meilleur parti de l'efficacité potentielle de la coopération régionale

4.1.3 Réformes réglementaires, marchés de l'électricité et gestion des réseaux

Après l'échec des tentatives de privatisation de la Senelec sans structures réglementaires solides (Youssef et al., 2016), le Sénégal a déjà réalisé des progrès significatifs dans l'amélioration de son cadre politique pour les marchés de l'énergie et dans la réduction de la dépendance de la Senelec à l'égard des subventions gouvernementales, en partie avec le soutien des prêts de la Banque mondiale (Banque mondiale, 2019; Neunuebel et al., 2022). Il est important de noter qu'avec l'adoption du nouveau Code de l'électricité en 2021, la Senelec est devenue une holding avec des unités distinctes pour la production, le transport et la distribution d'électricité (Enerdata, 2021). D'autres réformes sont toutefois importantes pour éviter de se maintenir dans la dépendance au gaz et pour encourager et accélérer l'arrivée des énergies renouvelables dans le bouquet énergétique sénégalais. Une mesure importante consisterait à réformer les structures de tarification dans le Code de l'électricité afin d'encourager le développement des SSEB, même indépendamment du développement de projets d'énergies renouvelables. Ce n'est pas le cas actuellement, mais il s'agirait d'une mesure capitale pour améliorer le rendement financier des systèmes de charge en cas d'abondance des énergies renouvelables couplée à une faiblesse de la demande, et pour réinjecter de l'énergie dans le réseau lorsque la demande d'électricité est élevée. Cette mesure est cruciale pour permettre une plus grande présence des énergies renouvelables dans le réseau dans le cadre de la décarbonation.

Les projets en cours de la GIZ sont déjà pertinents, soutiennent les efforts en ce sens et pourraient être étendus. Un projet spécifique de la GIZ vise à soutenir le ministère sénégalais du Pétrole et de l'Énergie dans ses réformes politiques et à renforcer ses capacités, tandis qu'un autre vise une « réforme respectueuse du climat » du marché de l'électricité de la CEDEAO (GIZ, 2023). Une autre initiative particulièrement importante est le Programme d'appui au développement du plan directeur du Sénégal, qui aidera le ministère sénégalais du Pétrole et de l'Énergie (MPE) à renforcer ses capacités en matière de planification énergétique

à long terme à l'aide du modèle SPLAT-MESSAGE de l'IRENA pour la planification de la capacité du réseau électrique (IRENA, 2023). Dans le cas présent, il faudra incorporer un scénario de grande ambition qui suppose un réseau intelligent moderne hautement flexible avec des mesures d'adaptation à la demande, des réductions continues des coûts du photovoltaïque, de l'éolien et des SSEB, des améliorations de la performance des SSEB et une coopération accrue dans le cadre de l'EEEOA.

La Senelec bénéficierait en outre d'un renforcement des capacités et d'une assistance technique pour plusieurs mesures visant à mieux prendre en compte les énergies renouvelables dans le réseau. Il s'agit par exemple d'une capacité de gestion avancée du réseau, y compris le contrôle automatique de la production afin d'ajuster les opérations des centrales électriques sur plusieurs sites afin de tenir compte des changements de l'offre et de la demande d'électricité sur le réseau, ainsi que des prévisions météorologiques et des prévisions concernant les centrales électriques (Kitetu et al., 2021). Les contrats actuels de la Senelec avec les PEI ne prévoient pas de mesures telles que le maintien de la tension et la régulation de la fréquence. Selon Kitetu et al. (2021, pg. 6), « des marchés pour d'autres services auxiliaires qui peuvent également être fournis par des batteries aideraient aussi à générer des revenus et à recouvrer les coûts ».

4.1.4 Couplage sectoriel et prosomation

L'électrification et la décarbonation d'autres secteurs de l'économie, tels que la préparation d'aliments, le transport terrestre, les petites industries et la fabrication manufacturière sont des éléments essentiels de la transition du Sénégal vers un système énergétique 100 % renouvelable. Actuellement, ces secteurs dépendent fortement des combustibles fossiles, qui contribuent aux émissions de gaz à effet de serre et à la pollution de l'air.

Modes de cuisson propres

La préparation et la cuisson de repas sont l'un des plus grands consommateurs d'énergie au Sénégal : environ 70 % de la population dépend des combustibles de biomasse traditionnels tels que le charbon de bois et le bois de chauffage (Sow, 2022), et les 30 % restants dépendent largement du gaz de pétrole liquéfié (GPL) (AIE, 2019a). Selon l'Organisation mondiale de la santé, si davantage de gens ont accès à l'électricité, la tendance générale va dans la mauvaise direction, une part croissante de la population n'ayant pas accès à des moyens de cuisson propres. Le recours au bois et au charbon de bois contribue non seulement à la déforestation et à la dégradation de l'environnement, mais exerce également des effets négatifs sur la santé, en particulier pour les femmes et les enfants qui sont exposés à la pollution de l'air dans les habitations. L'électrification des

modes de cuisson par l'utilisation de cuisinières électriques et de tables de cuisson à induction, alimentées par des sources d'énergie renouvelable, peut constituer une alternative propre et durable aux combustibles traditionnels issus de la biomasse (Nilsson et al., 2021).

Bien que l'Allemagne dispose d'une initiative BMZ/GCF qui a contribué à la mise en place de cuisinières améliorées dans les zones rurales du Sénégal (BMZ, 2022), le plus grand défi en matière de développement durable est le passage à un mode de cuisson électrique, qui offre les plus grands avantages en termes de santé, de préservation des forêts et d'émissions de gaz à effet de serre. Dans le cadre de l'élargissement de l'accès à une électricité stable provenant du réseau, la cuisson électrique, en particulier l'utilisation de la technologie efficace qu'est l'induction, devient une option plus réalisable. L'Allemagne compte plusieurs fabricants de cuisinières à induction qui pourraient évoluer pour desservir le marché sénégalais, en commençant éventuellement par les cuisines des hôtels et des restaurants commerciaux. Une possibilité serait de faire appel à des cuisiniers de renom et des électriciens au Sénégal afin de promouvoir ces efforts.

Autres secteurs et « prosumérisme » énergétique

Les petites industries et la fabrication manufacturière constituent également des secteurs importants de l'économie qui peuvent bénéficier de l'électrification et de la décarbonation, en investissant dans leur propre production d'énergie renouvelable, par exemple par des panneaux solaires sur les toits. Par le passé, le manque de fiabilité dans la fourniture d'électricité par la Senelec a poussé beaucoup de ceux qui peuvent se le permettre à installer des générateurs de secours diesel, qui contribuent non seulement aux émissions de gaz à effet de serre, mais exposent également les résidents et les travailleurs à des polluants nocifs. Cette situation, combinée au coût élevé de l'électricité provenant du réseau, laisse une large place à la production individuelle d'électricité par les consommateurs, y compris le stockage par batterie (Wood Mackenzie, 2022). Pour les ménages, les entreprises et les consommateurs industriels, ce modèle représente une option attrayante et peut contribuer à augmenter la capacité renouvelable tout en exerçant une pression minimale sur le réseau. Du moins s'il est combiné à une installation de stockage individuel et à des réseaux intelligents. La gestion centralisée de cette production et de ce stockage d'électricité distribuée est à même de contribuer à équilibrer l'offre et la demande pour l'ensemble du système.

Malgré ses avantages potentiels et le fait que le Sénégal a mis en œuvre des réformes dans le secteur de l'électricité, y compris une tarification de rachat, cette forme de prosumation énergétique est peu fréquente. En effet, les ménages et les PME manquent de connaissances sur les modèles commerciaux et les options de production, de stockage et d'interaction avec le réseau électrique géré par la Senelec (Apfel et Herbes, 2021). Cette situation est en

partie due au fait que le prosumérisme énergétique n'était pas une priorité du gouvernement sénégalais, probablement en partie parce qu'il pourrait poser un défi aux revenus de la Senelec (Apfel et Herbes, 2021; Apfel, 2022) qui, par le passé, a eu de la peine à recouvrer ses coûts. La Senelec pourrait cependant trouver d'autres sources de revenus, par exemple en électrifiant d'autres secteurs de l'économie, y compris les transports. Plus précisément, malgré l'existence du tarif de rachat, le Code de l'électricité pourrait subir une révision pour mieux prendre en compte et encourager le prosumérisme énergétique à la fois pour les entreprises, les ménages et les opérateurs de mini-réseaux (**voir → Encadré 2**). L'Allemagne s'est déjà bâtie une expertise dans ce domaine et dispose de plusieurs entreprises spécialisées dans la mise en œuvre de modèles de prosumation, notamment en les associant à des centrales électriques virtuelles (Seidl et al., 2016; Siemens, 2019).

Transport

Dans le secteur des transports terrestres, la majorité des véhicules au Sénégal fonctionnent à l'essence ou au diesel, ce qui contribue à la pollution de l'air et aux émissions de gaz à effet de serre. La transition vers des véhicules électriques (VE) alimentés par des sources d'énergie renouvelable est en mesure de contribuer à améliorer la qualité de l'air et à réduire l'empreinte carbone du pays. Selon les projections de l'AIE, le parc de véhicules à 2 et 3 roues du Sénégal devrait connaître une croissance rapide dans le Scénario des politiques établies et dans les Perspectives énergétiques de l'Afrique. L'AIE note que l'électrification de ces véhicules « permettrait de réserver le pétrole pour d'autres utilisations productives » (AIE, 2019b). La vente d'électricité en vue d'une mobilité électrique pourrait générer une clientèle supplémentaire pour les entreprises de services énergétiques du pays, telles que la Senelec.

Le Sénégal a déjà pris les premières mesures en vue de l'électrification de son secteur des transports. En collaboration avec « l'équipe européenne », qui comprend la BEI, l'Agence française de développement et la KfW, le Sénégal accueille un projet « Global Gateway » de 320 à 450 millions d'euros pour la construction d'un système de transport rapide par bus électrique à Dakar (EIB, 2023). Ce projet comprend 121 bus électriques équipés de batteries d'une capacité de 563,8 kWh chacun, ainsi que 23 stations de recharge dans 14 communes de Dakar (Hampel, 2022). La recharge optimale de ces bus pourrait être intégrée au sein d'un programme pilote de réseau intelligent, ce qui contribuerait à la stabilité du réseau. Moyennant des ajustements, les stations de recharge pourraient également contribuer à l'infrastructure de recharge des véhicules électriques privés.

Reconnaissant déjà le potentiel de croissance du marché des véhicules électriques à 2 et 3 roues, l'ambassadeur indonésien a commencé à promouvoir les exportations de la production de fabricants indonésiens de véhicules électriques vers le Sénégal (Ambassade indonésienne de Dakar, 2021). Les motos seront

également utilisées par Ndiaye Transport, un service de moto-taxi de Thiès (Indonesia Window, 2021). Cette tendance se retrouve sur d'autres marchés émergents, où les véhicules électriques à 2 et 3 roues gagnent rapidement des parts de marché : en Inde, plus de 50 % des modèles à 3 roues vendus en 2022 étaient électriques (Campbell et Muir, 2023).

4.1.5 Renégociation des contrats existants d'achat d'énergie fossile et réaffectation et retrait de la flotte existante fonctionnant aux combustibles fossiles

Jusqu'au succès relativement récent des sites de production d'électricité d'origine renouvelable raccordés au réseau, le Sénégal dépendait essentiellement d'un parc de centrales à combustibles fossiles, principalement du fioul lourd (Our World in Data, 2023e), mais aussi du charbon (centrale de Sendou construite à Bargny (Caramel, 2015)), ainsi que du gaz naturel. Sur les marchés de l'électricité d'Europe et d'Amérique du Nord, ces centrales à combustibles fossiles ne réalisent pas seulement des profits par la vente d'électricité, mais aussi par la fourniture de services auxiliaires tels que le maintien de la tension et la régulation de la fréquence (Kitetu et al., 2021). Bien que la Senelec détienne une part importante de la production existante d'origine fossile, les producteurs d'électricité indépendants axés sur les combustibles fossiles jouent également un rôle significatif, avec des contrats d'achat d'électricité de prise ferme fixés à des tarifs élevés qui protègent leur investissement. Les détails de ces contrats d'achat d'électricité manquent de transparence, mais il est probable qu'ils ne contiennent aucune disposition relative aux services auxiliaires, compromettant leur capacité à jouer un rôle complémentaire à celui des énergies renouvelables dans le système électrique sénégalais.

Dans de nombreux cas, la construction de nouveaux sites de production d'énergie renouvelable peut s'avérer moins coûteuse que les coûts d'exploitation des centrales existantes fonctionnant aux carburants fossiles, mais nombre de ces centrales sont protégées de la concurrence par des contrats d'achat d'électricité qui forcent la poursuite des ventes d'électricité à des prix élevés (Bodnar et al., 2021). Ces contrats d'achat d'électricité sont susceptibles de réduire la production des énergies éolienne et solaire, ce qui constitue un obstacle à l'augmentation de la pénétration des énergies renouvelables, même en période d'abondance de soleil ou de vent. Si ces contrats d'achat d'électricité venaient à être renégociés pour inclure des services auxiliaires, ou si les sites de production associés venaient à être affectés à des réserves de capacité ou bien retirés et totalement réaffectés, cela pourrait permettre une plus grande pénétration des énergies éolienne et solaire dans le réseau électrique et réduire les coûts, la pollution de l'air et les gaz à effet de serre.

La CDN sénégalaise prévoit d'augmenter la production d'électricité à partir du gaz en remplaçant le mazout par le gaz naturel dans les centrales à double combustible / à gaz et en prévoyant explicitement de convertir la centrale au charbon du conglomérat indien Jindal, d'une puissance de 320 MW, en centrales à gaz à cycle combiné, ce qui portera à 600 MW la capacité totale installée fonctionnant au gaz naturel entre 2025 et 2030 (Sénégal, 2020b). Il semble qu'il s'agisse d'une erreur dans la formulation de la CDN, car le Global Coal Plant Tracker indique que la centrale au charbon Jindal a été annulée et n'a jamais été construite (Global Energy Monitor, 2023a). Il s'agit probablement d'une référence à la centrale électrique existante de Sendou près de Bargny, d'une capacité plus faible de 125 MW (Caramel, 2015; Global Energy Monitor, 2023b), qui, selon les médias, devrait être convertie au gaz. Si et quand cette conversion a lieu, il sera particulièrement important pour la flexibilité du réseau d'inclure des services auxiliaires afin d'améliorer la flexibilité du réseau et de permettre une augmentation de la pénétration des énergies renouvelables.

4.2 Coopération au développement actuelle entre l'Allemagne et le Sénégal

L'Allemagne soutient un grand nombre de projets au Sénégal, les deux pays collaborant dans le cadre d'un « partenariat de réforme » depuis 2019. « Climat et énergie, transition juste » et « Gestion durable, formation et emploi » sont deux des thèmes centraux de ce partenariat, principalement mis en œuvre par la GIZ et la KfW (Ambassade allemande au Sénégal, 2023).

La GIZ travaille actuellement sur 12 projets spécifiquement avec le Sénégal, ainsi que 41 autres où le Sénégal est partie prenante dans divers contextes au travers de projets mondiaux, des projets avec l'Union africaine, ou bien au travers de la CEDEAO (GIZ, 2023), notamment un Programme Énergies Durables spécifique (PED II), qui est déjà dans sa deuxième phase. La KfW Entwicklungsbank œuvre à 15 projets où le Sénégal est partie prenante, dont 5 ciblent spécifiquement l'efficacité énergétique, l'accès à l'énergie ou l'intégration des énergies renouvelables (KfW, 2023a). Le soutien du Ministère fédéral allemand de l'Éducation et de la Recherche au Sénégal comprend un projet de recherche (Systèmes locaux d'énergie durable au Sénégal) par l'intermédiaire du WASCAL (Centre de services scientifiques d'Afrique de l'Ouest sur le changement climatique et l'utilisation adaptée des terres). Alors que le WASCAL est une initiative à long terme et à grande échelle pour plusieurs pays d'Afrique de l'Ouest, le projet LoSENS prendra fin en septembre 2023. Vingt-deux autres projets financés par l'International Climate Initiative (ICI) concernent le Sénégal. Le programme de

solutions pour les énergies renouvelables du ministère fédéral allemand de l'Économie a également soutenu les énergies renouvelables au Sénégal, avec un projet de référence composé d'un système photovoltaïque, d'un SSEB, d'une technologie de filtrage de l'eau et d'un système de réfrigération pour les denrées alimentaires (BMWK, 2022).

Malgré les avantages de ces diverses initiatives de coopération au développement, le gouvernement allemand ne dispose d'aucune stratégie globale pour le Sénégal réunissant tous les ministères et organisations de mise en œuvre concernés, ce qui peut conduire à des occasions manquées de maximiser les synergies dans les relations bilatérales. Pour l'avenir et dans le cadre des négociations futures entre l'Allemagne, le groupe plus large de donateurs et le Sénégal dans le contexte d'un éventuel JETP, il convient de faire le point sur ces divers efforts, d'améliorer la coordination entre les donateurs, d'identifier tout manque éventuel et d'examiner attentivement les formes de soutien disponibles et la meilleure façon de les cibler sur les domaines prioritaires susmentionnés.

4.2.1 Réduction des risques et renforcement des capacités des institutions financières locales

Bien que le Sénégal soit parvenu à attirer des financements privés pour des projets d'énergie renouvelable dans le pays, outre le risque de maintien de la dépendance au gaz, d'autres défis se profilent à l'horizon. Même si le risque de change est négligeable et que le CFA soit rattaché à l'euro à concurrence de 1 euro pour 656 CFA, les augmentations des taux d'intérêt de la Banque centrale européenne entraînent une croissance rapide des taux d'intérêt au Sénégal (Aboa, 2019). Autrement dit, l'accès au capital et la réduction des risques gagneront en importance pour les institutions financières sénégalaises et les promoteurs de projets liés aux énergies renouvelables.

Une participation locale accrue au développement et au financement constitue une opportunité importante. La plupart des promoteurs de projets d'énergies renouvelables sont internationaux et disposent d'un savoir-faire international et d'une expertise soutenue par des investisseurs internationaux. À l'exception du Fonds souverain d'investissements stratégiques du Sénégal (FONSIS) et de quelques autres investisseurs sénégalais, les institutions financières locales ne jouent pas encore de rôle significatif dans le financement de projets nationaux visant à soutenir la transition énergétique. Même dans le cas du FONSIS et d'autres investisseurs locaux, il s'agit d'actionnaires minoritaires et d'investisseurs jouant un rôle relativement subordonné. Les promoteurs de projets locaux collaborant avec les banques locales bénéficieraient d'une plus grande expérience et d'une meilleure connaissance des opportunités financières liées au développement de portefeuilles d'investissement dans les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique. Des approches systématiques telles que le programme

« Atténuer les risques d'investissement dans les énergies renouvelables » (Derisking Renewable Energy Investment ou DREI) du PNUD peuvent contribuer à combler ce déficit de sensibilisation, de capacité et de financement.

Bien que la Banque Centrale des États de l'Afrique de l'Ouest (BCEAO) soit membre du Network for Greening the Financial System (Réseau pour le verdissement du système financier)¹⁰, ce statut n'a pas encore provoqué d'intégration des stratégies d'investissement dans les institutions financières locales ni de croissance correspondante des prêts et des investissements dans les énergies renouvelables locales. Si la Banque ouest-africaine de développement (BOAD) a financé des projets d'énergies renouvelables au Togo, en Guinée-Bissau et en Côte d'Ivoire, elle n'a participé qu'au financement d'un programme de mini-réseaux au Sénégal (BOAD, 2023). La Banque africaine de développement a joué un rôle majeur dans l'expansion du transport et de la distribution, y compris pour l'électrification des zones rurales et le raccordement des barrages hydroélectriques au réseau, mais son portefeuille de projets sénégalais est axé sur les combustibles fossiles (charbon, fioul lourd et diesel) et elle n'a pas joué de rôle de premier plan dans le développement des énergies renouvelables sur le réseau sénégalais (BAD, 2023).

¹⁰
<https://www.ngfs.net/en/about-us/membership>

>> 05

Production d'hydrogène à moyen et long terme

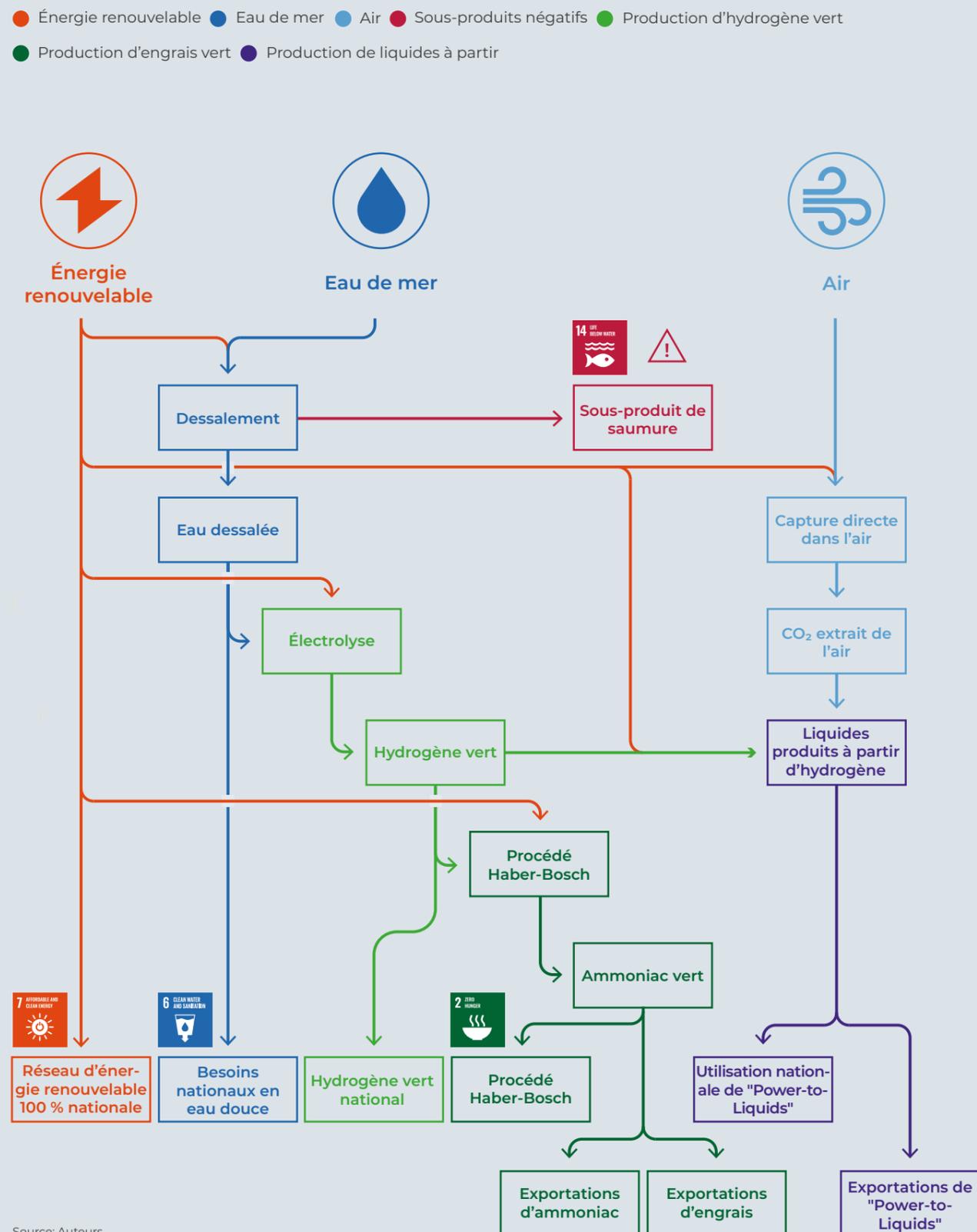
Le potentiel de production et d'utilisation de l'hydrogène vert est récemment apparu dans les discussions de coopération internationale comme une alternative future aux combustibles fossiles, tant pour les besoins nationaux que pour les marchés internationaux. L'hydrogène vert devrait avoir des applications importantes dans les engrais, certaines industries lourdes telles que la production d'acier, le transport sur longue distance (aviation et navigation) grâce à la technologie « Power to Liquids » (PtL), et éventuellement la production d'électricité pour les longues périodes de calme et d'obscurité, sans vent ni soleil. Compte tenu de la richesse de l'Afrique en énergies renouvelables, un nombre croissant d'institutions de coopération au développement ont commencé à proposer ces énergies comme source alternative de revenus d'exportation pour les pays africains (Englert et al., 2021; Corporate Value Associates, 2022). En effet, compte tenu de sa richesse en soleil et en vent, le Sénégal pourrait, à moyen ou long terme, produire suffisamment d'électricité renouvelable pour produire de l'hydrogène vert à la fois pour ses propres besoins et pour l'exportation à l'étranger. À terme, la production d'hydrogène au Sénégal pourrait représenter une alternative aux revenus potentiels du pétrole et du gaz dans un monde où, compte tenu des engagements climatiques de la communauté internationale, la demande mondiale en combustibles fossiles devrait diminuer, tandis que la demande mondiale d'hydrogène vert devrait augmenter.

Bien qu'un rapport de la Banque mondiale datant de 2021 manque de données pour le Sénégal, il constatait que la Mauritanie voisine, pays aux conditions relativement similaires, présente un « potentiel prometteur » (Englert et al., 2021). Une étude commandée par la Banque européenne d'investissement a classé le Sénégal parmi les pays disposant de « zones présentant des conditions propices au développement de systèmes de production d'hydrogène vert bon marché » (Corporate Value Associates, 2022). Lekela Power BV, propriétaire du parc éolien sénégalais Taïba N'Diaye, a déjà annoncé étudier les possibilités de production d'hydrogène en Afrique (Sguazzin, 2022).

Toutefois, la production et l'utilisation de l'hydrogène vert sont confrontées à plusieurs défis importants tout au long de la chaîne de valeur (**voir → Figure 6**).

La production d'hydrogène vert nécessite des investissements importants dans les énergies renouvelables, des ressources en eau douce et d'autres infrastructures, notamment les électrolyseurs et les installations de stockage. L'hydrogène est un gaz hautement inflammable qui nécessite des infrastructures de manutention et de transport spéciales. Il doit également être stocké à haute pression ou à basse température, ce qui peut s'avérer coûteux et énergivore. La fragilisation des métaux, phénomène par lequel l'hydrogène dégrade certains métaux souvent utilisés pour le transport du gaz, constitue un autre défi. Compte tenu des besoins en infrastructures et de la nécessité d'investir dans les énergies renouvelables, d'autres étapes doivent être franchies avant que le Sénégal puisse envisager d'exporter de l'hydrogène vert.

Figure 7
l'hydrogène vert et la chaîne de valeur associée



Le Sénégal ne dispose pas encore d'un accès universel à l'énergie et, jusqu'à ce qu'il y parvienne, il est très discutable de détourner l'énergie renouvelable produite à des fins d'exportation d'hydrogène (Morgen et al., 2022; Villagrasa, 2022). Même lorsque l'accès universel à l'énergie (ODD 7) sera atteint dans le pays, le maintien de la demande d'énergie en prenant compte de l'augmentation de la population, de la croissance économique et de l'essor du secteur industriel nécessitera déjà des investissements importants et continus dans la production d'électricité à plus grande échelle.

Pour que l'hydrogène soit considéré comme vert, il doit être produit à partir d'une énergie 100 % renouvelable. Selon l'Öko-Institut, l'hydrogène produit par électrolyse n'est bénéfique pour le climat que lorsque la part d'énergie renouvelable dans la production d'électricité est supérieure à 70 % (Heinemann et Kasten, 2019). Comme nous l'avons mentionné, le Sénégal dépend actuellement fortement des combustibles fossiles pour la production d'électricité. La découverte de réserves de pétrole et de gaz ainsi que la « Gas to Power Strategy » du gouvernement permettront certes de réduire l'intensité carbone de l'électricité sénégalaise, mais celle-ci est loin d'être 100 % renouvelable. Dans le même temps, en fonction de la flexibilité de la contribution des combustibles fossiles au mix électrique sénégalais à moyen terme, il peut y avoir des moments de la journée où le réseau se rapproche de 100 % d'électricité renouvelable et produit un excédent d'énergie renouvelable dépassant la demande à ce moment-là. Dans un système électrique en voie de décarbonation, cette électricité devrait d'abord être stockée dans des batteries ou par d'autres moyens avant que les sites de production d'énergie renouvelable ne soient restreints ou empêchés d'alimenter le réseau électrique. Une fois que ce phénomène se produira régulièrement, il pourrait être logique que le Sénégal produise de l'hydrogène avec cet « excès » d'énergie d'origine renouvelable.

Un autre facteur limitant est toutefois la disponibilité de l'eau douce. Pour produire de l'hydrogène vert, l'énergie renouvelable doit être utilisée pour diviser les molécules d'eau par électrolyse. Malgré quelques nappes phréatiques et quelques sources d'eau douce sur les fleuves Sénégal et Gambie, le Sénégal est un pays relativement aride et est confronté à une pénurie croissante face au changement climatique (Tomalka et al., 2022). La production d'hydrogène ne peut concurrencer la demande intérieure croissante pour l'agriculture, l'industrie, le commerce et l'habitat, tout en permettant au Sénégal d'accomplir l'ODD 6 : de l'eau propre et de l'assainissement pour tous. La demande en eau douce dans les grandes agglomérations de Dakar, Thiès et Mbour devrait doubler d'ici 2035 (Ollivier, 2022), et le Sénégal a déjà commencé à recourir au dessalement de l'eau de mer pour répondre à ses besoins en eau douce, même en l'absence de production d'hydrogène. L'hydrogène ne peut être produit directement à partir de l'eau de mer, car sa teneur en sel pose des problèmes pour les électrolyseurs, impliquant son dessalement préalable. Le dessalement de l'eau de mer lui-même est un procédé extrêmement énergivore et, même s'il n'entre

généralement pas dans la définition de l'hydrogène vert, le dessalement en vue de l'électrolyse doit, lui aussi, être réalisé à l'aide d'une énergie 100 % renouvelable pour qu'il soit véritablement vert. Parallèlement, des usines de dessalement peuvent être construites pour répondre aux besoins locaux en eau douce et à la production d'hydrogène (Morgen et al., 2022).

Les usines de dessalement à grande échelle produisent cependant de la saumure comme sous-produit, avec une salinité concentrée et d'autres minéraux qui ont des répercussions négatives sur les écosystèmes marins. Il s'agit d'un défi particulier pour les habitats halieutiques sénégalais locaux, dont dépendent les industries de pêche locales, qui constituent un employeur majeur au Sénégal (Ollivier, 2022). Il est particulièrement important d'aborder et d'atténuer ces impacts négatifs, tant pour l'eau potable que pour la production future d'hydrogène, afin de concrétiser l'ODD 14, qui consiste à « conserver et exploiter de manière durable les océans, les mers et les ressources marines aux fins du développement durable ».

En surmontant les défis susmentionnés, le Sénégal pourrait éventuellement devenir un producteur d'hydrogène pour assurer ses besoins nationaux et pour en exporter une partie. Du point de vue des exportations, un autre défi pourrait être de savoir si le Sénégal possède un avantage comparatif et peut rivaliser sur les marchés internationaux de l'hydrogène par rapport à d'autres pays, notamment le Maroc, la Namibie, l'Afrique du Sud ou son voisin, la Mauritanie. La future demande en hydrogène vert à l'échelle internationale est relativement incertaine, tout comme le rythme de la croissance potentielle future. En raison des pertes d'énergie importantes liées à la production, à la liquéfaction et au transport de l'hydrogène, il est logique d'électrifier tous les secteurs de l'économie possibles, et le rythme de croissance de la demande internationale en hydrogène est lié à la fois à l'ambition des objectifs climatiques internationaux et à la voie technologique que les pays choisissent d'emprunter (Liebreich, 2020). La proximité du Maroc et de la Mauritanie avec l'Europe implique que ces pays peuvent avoir un avantage comparatif en matière de transport d'hydrogène vert vers l'Europe (Morgen et al., 2022). L'Afrique du Sud a déjà lancé plusieurs projets d'hydrogène vert, à différents stades de développement, ce qui pourrait lui donner une longueur d'avance (AIE, 2023a). Le Kenya, l'Afrique du Sud, la Namibie, l'Égypte, le Maroc et la Mauritanie se sont associés pour former une « Alliance africaine pour l'hydrogène vert » (Climate Champions, 2022). En comparaison, le Sénégal n'a guère fait preuve d'intérêt et se concentre actuellement sur les exportations de gaz de premier plan, ce qui confère en soi au pays une position désavantageuse.

Bien que le Sénégal ait le potentiel de produire de l'hydrogène vert ou des carburants à base d'hydrogène vert à moyen et à long terme, il y a lieu de relever rapidement les défis associés. Des programmes pilotes et un soutien à une stratégie future en matière d'hydrogène permettraient d'y procéder avant que des répercussions négatives à grande échelle ne se fassent ressentir sur le développement durable.

» 06

Conclusion et recommandations

Le Sénégal dispose de vastes ressources renouvelables

Le Sénégal dispose de vastes ressources renouvelables, notamment solaires et éoliennes. Celles-ci peuvent jouer un rôle de premier plan dans la réalisation des objectifs du pays en matière d'accès universel à l'énergie et de développement durable, en vue de devenir une économie émergente d'ici à 2035. L'abondance de ces ressources au Sénégal ne sont pas seulement pertinentes pour le pays, mais peuvent également jouer un rôle important en fournissant à l'ensemble de la région une énergie propre et abordable par l'intermédiaire du le Systeme d'échanges d'énergie électrique ouest-africain. En tirant pleinement parti de ces ressources, il est possible de réaliser une croissance économique, de réduire les émissions de gaz à effet de serre et d'améliorer la sécurité énergétique au Sénégal et dans l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest.

Des progrès considérables ont déjà été réalisés en matière de développement des énergies renouvelables

Aujourd'hui, le Sénégal est déjà parvenu à diminuer le nombre de coupures d'électricité chroniques qui affectaient le pays et s'est hissé en tête des pays investissant dans les énergies renouvelables. Il accueille le plus grand parc éolien d'Afrique de l'Ouest, dispose d'un nombre croissant de centrales photovoltaïques à l'échelle des services publics et, en 2022, avait déjà dépassé plusieurs objectifs en matière d'énergies renouvelables fixés dans sa CDN à l'horizon 2030. Il s'agit là d'un avantage non seulement pour le climat, mais aussi pour l'économie sénégalaise dans son ensemble, car il s'agit d'une preuve importante de la contribution des énergies renouvelables à la demande en électricité, qui connaît une augmentation rapide, tout en réduisant les importations coûteuses de combustibles fossiles, principalement de fioul lourd, qui constituaient un fardeau colossal pour les ménages et les entreprises.

Le Sénégal, lieu attractif pour les investisseurs internationaux

Cette réussite est en grande partie attribuable aux réformes entreprises par le Sénégal et à sa capacité à attirer les investissements internationaux. Lorsque les donateurs internationaux ont accordé des subventions pour des études de faisabilité, des prêts, des garanties et des crédits à l'exportation, les promoteurs de projets nationaux et internationaux ont été en mesure d'attirer des financements importants du secteur privé, démontrant qu'avec la mise en place d'un cadre adéquat, le financement de la lutte contre le changement climatique est assuré. Les subventions et les capitaux concessionnels sont désormais mieux ciblés pour poursuivre l'amélioration du paysage politique global et réduire les risques liés à la mobilisation continue du financement privé.

Nécessité de mesures supplémentaires pour soutenir la croissance des énergies renouvelables et éviter de garder le niveau actuel d'émissions

Le développement continu des projets d'énergie renouvelable pose toutefois des défis importants, notamment la pénétration déjà élevée des énergies renouvelables sur le réseau, qui nécessitera des mesures supplémentaires pour équilibrer la charge. Après la découverte de gisements de champs pétrolifères et gaziers au large du pays entre 2014 et 2017, il est tentant de les utiliser pour compenser l'intermittence des énergies renouvelables, comme le font de nombreux pays dotés de centrales électriques au gaz. Cette solution s'accompagne toutefois d'une augmentation des émissions de gaz à effet de serre et d'importants risques en matière de transition et d'immobilisation. Ces risques doivent être soigneusement évalués par rapport aux solutions propres et durables, notamment un stockage accru de l'énergie, des mesures d'adaptation à la demande, des réseaux intelligents, l'amélioration du transport et de la distribution, ainsi que l'intensification des échanges d'électricité avec les pays voisins dotés de ressources renouvelables complémentaires. Bien que de plus en plus compétitives sur le plan économique par rapport au gaz utilisé en dernier recours, ces solutions peuvent être associées à des coûts d'investissement initiaux plus élevés, pour lesquels le Sénégal aura besoin d'un soutien international.

À moyen et long terme, ces ressources renouvelables pourraient permettre au Sénégal de produire de l'hydrogène vert à des fins nationales, par exemple pour la production d'engrais, et éventuellement pour l'exportation. Un engagement efficace des parties prenantes et la participation des communautés locales pourront garantir un développement socialement et écologiquement responsable de la transition énergétique sénégalaise.

L'Allemagne, un partenaire potentiellement important du Sénégal sur la voie du développement non polluant

L'Allemagne, s'alliant à d'autres partenaires internationaux, a la possibilité de jouer un rôle essentiel en aidant le Sénégal à atteindre un accès universel à l'énergie à un prix abordable tout en éliminant progressivement le fioul lourd, le charbon et, à terme, le gaz naturel, tout en renforçant la part des énergies renouvelables dans le mix électrique et en évitant les risques de transition et d'immobilisation associés à l'expansion de l'infrastructure des combustibles fossiles. L'Allemagne œuvre depuis longtemps avec le Sénégal dans le domaine de la coopération au développement, notamment en soutenant des projets d'énergie renouvelable et le développement d'infrastructures énergétiques. Le pays a également un intérêt économique à promouvoir la transition vers les énergies renouvelables au Sénégal, car l'industrie allemande bénéficie de plus en plus de son positionnement sur le marché mondial en pleine croissance des technologies environnementales.

Nous parvenons donc aux conclusions suivantes :

1

Renforcer les capacités de stockage et réduire les risques liés au stockage et aux réseaux flexibles et réactifs

- Bien que les systèmes de stockage par batterie deviennent de plus en plus courants dans la planification et le développement des projets d'énergie renouvelable en Afrique subsaharienne en général et au Sénégal en particulier, ils restent coûteux et augmentent considérablement le coût du développement de projets liés aux énergies renouvelables. La reproduction et l'extension de projets tels que l'appel d'offres actuel de la KfW et de l'AfD pour un système de stockage par batterie près de la sous-station de Diass (GTAI Germany Trade & Invest, 2023) seront essentielles pour permettre l'augmentation des investissements dans les énergies renouvelables au Sénégal. Le financement d'études de faisabilité pour l'ajout de batteries de stockage aux centrales photovoltaïques existantes qui n'incluent pas encore de systèmes de stockage constituerait une étape importante.
- La mise en place de réseaux intelligents et de systèmes d'adaptation à la demande permettrait également d'accroître la part des énergies renouvelables sur le réseau. Bien que l'expérience des réseaux intelligents en Afrique en soit encore à ses balbutiements, le Sénégal pourrait tirer profit des premières expériences du Rwanda, du Nigeria et de l'Égypte, qui ont déjà commencé à mettre en place des réseaux intelligents. Dans un premier temps, cette mise à profit pourrait commencer par les grands consommateurs d'électricité tels que les bâtiments publics et les grands sites commerciaux, avant de s'étendre le déploiement aux ménages, qui pourraient jouer un rôle croissant de « prosumateur » distribué sur le réseau électrique.

2

Améliorer le financement et la planification du transport et de la distribution au Sénégal et dans le Système d'échanges d'énergie électrique ouest-africain

- Des investissements importants dans l'infrastructure du réseau de transport d'électricité au Sénégal et dans la région de l'Afrique de l'Ouest seront essentiels pour permettre un développement accru

des énergies renouvelables au Sénégal et dans les pays voisins. Pour compléter les efforts actuels de l'US MCC et de la Banque mondiale en termes d'amélioration du réseau de transport, l'Allemagne et la France, au nom de l'International Partners Group (IPG) du JETP, peuvent étudier d'autres possibilités de soutenir de tels investissements.

- Malgré l'ambition des décideurs politiques de la CEDEAO et de l'EEEOA, les échanges d'énergie entre les pays d'Afrique de l'Ouest restent en deçà de leur potentiel et de ce qui constituerait un résultat optimal permettant d'accroître les investissements dans les énergies renouvelables dans la région. La coopération au développement germano-sénégalaise doit tenir compte du contexte plus large de l'Afrique de l'Ouest à l'étape de planification. Le potentiel hydroélectrique et d'autres énergies renouvelables dans les pays voisins, notamment la Guinée, le Mali et la Gambie, sont essentiels pour compléter le potentiel des énergies renouvelables au Sénégal. Outre le programme soutenu par la GIZ pour renforcer les capacités du ministère sénégalais du Pétrole et de l'Énergie dans l'utilisation du modèle SPLAT (System Planning Test) de l'IRENA pour le Sénégal, l'engagement avec d'autres pays ouest-africains est à même de soutenir la mise à jour du modèle SPLAT 2018 de l'IRENA pour l'ensemble de la région d'Afrique de l'Ouest, ainsi que pour d'autres membres de l'EEEOA.
- Les partenaires internationaux peuvent s'adresser au gouvernement sénégalais, à la Senelec et aux opérateurs de mini-réseaux afin d'explorer de nouveaux modèles de prosumation qui permettent aux opérateurs de mini-réseaux de se transformer en petits producteurs et distributeurs d'électricité une fois le réseau national étendu aux zones rurales. Cette évolution pourra aider la Senelec à considérer les opérateurs de mini-réseaux comme des partenaires plutôt que comme des concurrents et à répondre à la menace que l'extension du réseau fait peser sur les modèles commerciaux de ces opérateurs. Cette démarche peut également contribuer à combler le fossé subsistant en matière d'électrification des zones rurales dans l'attente de l'extension du réseau principal.

3

Soutenir les efforts de renforcement des capacités et de réforme en cours

- Une vision globale à long terme de la décarbonation de l'économie et des opportunités existantes dans le cadre de la transition nationale, régionale et mondiale est essentielle pour intégrer de nouvelles informations à la planification actuelle des politiques locales et nationales, ainsi que pour définir de nouveaux objectifs pour le CDN dans le cadre de la CCNUCC. Le soutien prévu pour la participation sénégalaise au programme Deep Decarbonisation Pathways contribuera aux discussions sénégalaises visant à élaborer une stratégie à long terme, que le Sénégal n'a pas encore soumise à la CCNUCC. Ce processus devrait s'accompagner d'une modélisation externe et l'organisation de consultations des parties prenantes afin d'obtenir l'avis de la société civile, du secteur et du monde universitaire, potentiellement coordonnées par le gouvernement sénégalais et la GIZ.
- Le soutien du BMZ, de la GIZ et de l'IRENA au MPE pour la modélisation SPLAT sera essentiel pour que les fonctionnaires du ministère soient en mesure de développer leur capacité à modéliser les filières potentielles des énergies renouvelables pour la planification du système énergétique. À cet égard, il est important que les hypothèses qui sous-tendent les scénarios modélisés reçoivent des mises à jour constantes reposant sur les informations les plus récentes concernant les évolutions technologiques, les avantages des échanges régionaux, le déploiement actuel et les coûts.
- Compte tenu du danger lié au maintien du niveau d'émissions de GES et des futurs actifs échoués potentiels dus à une infrastructure sénégalaise reposant excessivement sur les combustibles fossiles, ces exercices de modélisation serviront de base informative centrale en vue des décisions d'investissement, afin de réduire les émissions, de contribuer aux objectifs de l'Accord de Paris et d'atteindre les objectifs sénégalais en matière d'accès à l'énergie et de développement.

4

Soutenir l'électrification d'autres secteurs de l'économie et le « prosumérisme » énergétique

- Les projets de coopération au développement en faveur des modes de cuisson propres doivent être élargis pour ne pas se contenter d'examiner les options de cuisinières « plus propres » ou le passage au gaz de pétrole liquéfié, mais aussi pour commencer à promouvoir de toute urgence des solutions de cuisson électrique. Ce point est particulièrement important pour la prochaine phase des projets de modes de cuisson propres de la GIZ. Des cuisiniers et les électriciens sénégalais sont des acteurs importants auxquels faire appel.
- Les programmes de renforcement des capacités peuvent aider la Senelec à simplifier et à faciliter les modèles « prosommateurs » afin que les ménages équipés de systèmes solaires domestiques et de mini-réseaux puissent également bénéficier de l'intégration au réseau plus vaste. Le Sénégal dispose déjà d'un système de tarifs de rachat, mais ce programme n'est pas suffisamment connu, et d'autres obstacles peuvent se présenter pour les raccordements au réseau et l'octroi de crédits (Apfel, 2022).
- Le soutien de la KfW à l'installation de compteurs intelligents peut être associé à des projets pilotes de réseaux intelligents afin de tirer des enseignements et d'améliorer les projets pilotes au Rwanda, au Nigeria et en Égypte, notamment le système de charge en cours de construction pour le nouveau système de bus électriques de Dakar.
- Bien que les voitures électriques soient encore relativement chères, la croissance rapide des véhicules à 2 et 3 roues électriques dans les pays du Sud offre la possibilité de réduire la pollution et de promouvoir une mobilité plus respectueuse du climat. Les options de recharge pour ces véhicules pourraient également être intégrées dans un projet pilote de réseau intelligent.

5

Soutenir la conversion, la réaffectation ou le retrait de la flotte existante de véhicules fonctionnant aux combustibles fossiles

- Étudier les possibilités juridiques de renégocier les contrats d'achat d'électricité avec les centrales à combustibles fossiles existantes. Cette mesure pourrait se réaliser par un soutien juridique de la Senelec afin de passer en revue ses contrats existants et par la mise en place de modes de financement pour compenser les producteurs d'électricité indépendants. Malgré le manque d'informations précises sur les contrats, il est probable que la plupart, sinon la totalité, des contrats d'achat d'électricité conclus avec des centrales à FL de PEI ne prévoient pas de services auxiliaires, ce qui représente un obstacle important à l'intégration des énergies renouvelables, car elles ne peuvent alors pas compléter efficacement la variabilité des énergies solaire et éolienne. Le coût monétaire de l'absence d'achat d'électricité dans le cadre des contrats d'achat d'électricité existants, même si la production d'énergie renouvelable est suffisante à un moment donné, constitue un défi économique important pour le système électrique. Les efforts de renégociation des contrats d'achat d'électricité devraient se concentrer sur les centrales les plus anciennes et les plus polluantes.
- Explorer les options à court terme pour fermer ou convertir les deux centrales à charbon existantes. La centrale de Sendou, très controversée, expose non seulement le Sénégal à la volatilité des marchés internationaux du charbon, mais sa nécessité est discutable. Elle est également la source d'une forte pollution atmosphérique locale et a des répercussions négatives sur l'industrie locale de la pêche (Feiger et Vasudevan, 2021).

6

Faire le point et procéder à une évaluation stratégique des initiatives bilatérales de « l'équipe allemande »

- Pour que l'Allemagne puisse réaliser son plein potentiel en tant que partenaire du Sénégal, à la fois dans le cadre des relations bilatérales et en tant que co-responsable du Sénégal parmi les partenaires du

JETP du G7, il est important de faire le point sur ces différents efforts, de parvenir à une meilleure coordination des donateurs, d'identifier toute lacune potentielle et d'examiner attentivement les formes de soutien disponibles et la meilleure façon de les cibler sur les domaines prioritaires susmentionnés.

- Cela nécessite une compréhension des défis et des opportunités de la transition énergétique au Sénégal ainsi qu'une compréhension globale des initiatives de « l'équipe allemande » et de « l'équipe européenne » en cours, des travaux d'autres donateurs ainsi que de la planification actuelle des IFD concernées, y compris la Banque mondiale, la BEI et la BAD.

7

Réduire les risques et renforcer les capacités des promoteurs de projets et des institutions financières locales

- Dans le contexte d'une augmentation du coût du capital en général et spécifiquement pour les énergies renouvelables et les investissements dans la transition énergétique sénégalaise, les banques locales bénéficieraient d'une plus grande expérience et d'une meilleure connaissance des opportunités financières dans le développement des énergies renouvelables et des portefeuilles d'investissement dans l'efficacité énergétique.
- Un programme du PNUD intitulé « Atténuer les risques d'investissement dans les énergies renouvelables » (Derisking Renewable Energy Investment ou DREI) a été élaboré pour aider à comprendre les options permettant de réduire les risques des projets d'énergie renouvelable, y compris pour ceux à l'échelle des services publics, les installations sur toiture raccordées au réseau, les mini-réseaux non raccordés au réseau principal et les systèmes solaires domestiques (PNUD, 2020). Le soutien allemand permet aux consultants sénégalais ou externes d'appliquer la méthodologie au Sénégal, non seulement pour les énergies renouvelables, mais aussi pour les SSEB.
- Un jumelage et un soutien similaires aux efforts de la KfW avec d'autres banques nationales de développement à l'étranger pourraient aider la BOAD à travailler avec d'autres institutions financières locales afin d'acquérir des connaissances et de mobiliser des flux financiers nationaux accrus en faveur du climat.

8

Développer une stratégie future pour la production, l'utilisation et l'exportation d'hydrogène vert

- Bien que les vastes ressources en énergie renouvelable du Sénégal puissent éventuellement se prêter à la production d'hydrogène vert à moyen et à long terme, il existe des défis majeurs, notamment la mise en place nécessaire de l'énergie renouvelable, les investissements dans les électrolyseurs, la garantie de la disponibilité de l'eau douce sans compromettre les écosystèmes marins, et la levée des obstacles au stockage et au transport dans le contexte de la concurrence internationale.
- Un soutien à la planification précoce pour surmonter ces défis, développer une vision et atténuer les impacts négatifs potentiels sur le développement durable pourrait permettre au Sénégal de devenir un producteur d'hydrogène plus facilement.

Bibliographie

AfDB (1994) Project Completion Report Manantali Dam OMVS. African Development Bank. Available at: <https://www.afdb.org/fileadmin/uploads/afdb/Documents/Project-and-Operations/ADB-BD-IF-97-169-EN-SCANNEDIMAGE.087.PDF>.

AfDB (2023) Projects & Operations. African Development Bank. Available at: https://www.afdb.org/en/projects-and-operations?name=&field_project_name_value=&items_per_page=20&order=field_project_country&sort=asc.

Antonopoulos, C. (2023) 'Un closing financier au printemps 2023 pour notre site de batteries au Sénégal', Africa Business Plus, 6 January. Available at: <https://www.africabusinessplus.com/fr/814355/chris-antonopoulos-lekela-power-un-closing-financier-au-printemps-2023-pour-notre-site-de-batteries-au-senegal/>.

Apfel, D. (2022) 'Renewable energy transition in Senegal? Exploring the dynamics of emerging paths to a sustainable energy system', Energy Research & Social Science, 92. doi:<https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102771>.

Apfel, D. and Herbes, C. (2021) 'What Drives Senegalese SMEs to Adopt Renewable Energy Technologies? Applying an Extended UTAUT2 Model to a Developing Economy', Sustainability, 13(9332). doi:<https://doi.org/10.3390/su13169332>.

Bazilian, M., Welsch, M., Divan, D., et al. (2011) 'Smart and Just Grids: Opportunities for sub-Saharan Africa'. Imperial College London. Available at: https://www.ctc-n.org/sites/www.ctc-n.org/files/resources/bazilian_et_al_smart_and_just_grid_0.pdf.

BMWK (2022) BMWK fördert ganzheitliche Systemlösung im Senegal. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Available at: <https://www.german-energy-solutions.de/GES/Redaktion/DE/Meldungen/Aktuelle-Meldungen/2022/res-eröffnung-senegal.html>.

BMZ (2022) 'Optimised stoves reduce carbon footprints'. Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung. Available at: <https://www.bmz.de/en/issues/climate-change-and-development/climate-financing/example-kenya-senegal-79816>.

BOAD (2023) Projets approuvés. BANQUE OUEST AFRICAINE DE DÉVELOPPEMENT. Available at: <https://www.boad.org/projets-approuves/>.

Bodnar, P., Gray, M., Grbusic, T., et al. (2021) How To Retire Early Making Accelerated Coal Phaseout Feasible and Just. RMI. Available at: https://rmi.org/wp-content/uploads/2021/03/rmi_how_to_retire_early.pdf.

BP (2017) BP announces major gas find offshore Senegal. Available at: <https://www.bp.com/en/global/corporate/news-and-insights/press-releases/bp-announces-major-gas-find-offshore-senegal.html>.

Byers, L., Friedrich, J., Luo, T. and McCormick, C. (2018) Water Stress Threatens Nearly Half the World's Thermal Power Plant Capacity. World Resources Institute. Available at: <https://www.wri.org/insights/water-stress-threatens-nearly-half-worlds-thermal-power-plant-capacity>.

Campbell, P. and Muir, M. (2023) 'One in five cars sold in 2023 will be electric, says International Energy Agency', Financial Times, 26 April. Available at: <https://www.ft.com/content/3b2e3cef-cd9c-4044-b73f-5edef037f0fc>.

Caramel, L. (2015) 'Les côtes sénégalaises, nouveau paradis des centrales à charbon sale', Le Monde, 8 September. Available at: https://www.lemonde.fr/afrique/article/2015/09/09/les-cotes-senegalaises-nouveau-paradis-des-centrales-a-charbon-sale_4749163_3212.html.

Caramel, L. (2022) 'L'Afrique veut pouvoir exploiter son gaz fossile pendant encore plusieurs décennies', Le Monde Afrique, 26 May. Available at: https://www.lemonde.fr/afrique/article/2022/05/26/climat-l-afrique-veut-pouvoir-exploiter-son-gaz-fossile-pendant-encore-plusieurs-decennies_6127800_3212.html.

Cherif, M. and Mobarek, S. (2016) Tunisia faces tough strategic choices as demand for energy begins to outstrip supply. World Bank Blogs.

Available at: <https://blogs.worldbank.org/arab-voices/tunisia-faces-tough-strategic-choices-demand-energy-begins-outstrip-supply>.

Clean Energy Council (2021) Battery Storage: The New, Clean Peaker. Clean Energy Council. Available at: <https://assets.cleanenergycouncil.org.au/documents/resources/reports/battery-storage-the-new-clean-peaker.pdf> (Accessed: 20 March 2023).

Climate Action Tracker (2022) Natural Gas in Africa - why fossil fuels cannot sustainably meet the continent's growing energy demand. Available at: https://climateactiontracker.org/documents/1048/CAT_2022-05_Report_Natural-GasinAfrica.pdf.

Climate Analytics (2022) 1.5°C National Pathways Explorer. Climate Analytics. Available at: <https://1p5ndc-pathways.climateanalytics.org/>.

Climate Champions (2022) African Green Hydrogen Alliance launches with eyes on becoming a clean energy leader. Race to Zero Campaign. Available at: <https://climatechampions.unfccc.int/african-green-hydrogen-alliance-launches-with-eyes-on-becoming-a-clean-energy-leader/>.

Climate Trace (2023) Country Inventory - Senegal. Available at: <https://climatetrace.org/inventory?sector=all&time=2021&country=all-countries&gas=co2e100>.

Climate Vulnerable Forum (2016) Climate Vulnerable Forum Commit to Stronger Climate Action at COP22. Available at: <https://thecvf.org/cvf-2016-forum-press-release/> (Accessed: 18 December 2017).

Climatelinks (2019) Opportunities for U.S. Smart Grid Suppliers in Africa. Climatelinks. Available at: <https://www.climatelinks.org/resources/opportunities-us-smart-grid-suppliers-africa>.

Coffel, E. and Mankin, J. (2021) 'Thermal power generation is disadvantaged in a warming world', *Environmental Research Letters*, 16(2). Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abd4a8>.

Connor, E. (2022) 'Senegal's Renewables Share; Energy Prices are Some of the Lowest in Africa', *Energy Capital and Power*, 6 June. Available at:

<https://energycapitalpower.com/senegals-renewables-share-energy-prices-are-some-of-the-lowest-in-africa/>.

Constructionreview (2021) 'Parc Eolien Taiba N'Diaye Wind Farm in Senegal Set for Extension', *Constructionreview*, 21 December. Available at: <https://constructionreviewonline.com/news/parc-eolien-taiba-ndiaye-wind-farm-in-senegal-set-for-extension/>.

Corporate Value Associates (2022) 'Africa's extraordinary green hydrogen potential'. European Investment Bank -EIB. Available at: <https://www.eib.org/attachments/press/africa-green-hydrogen-flyer.pdf>.

CTCN (2021) Capacity Development for the Deployment of Demand Response (DR) in South Africa to Mitigate against Carbon Emissions and Electricity Supply Shortages. CTCN. Available at: <https://www.ctc-n.org/technical-assistance/projects/capacity-development-deployment-demand-response-dr-south-africa>.

Denholm, P., Mai, T., Kenyon, R.W., et al. (2020) Inertia and the Power Grid: A Guide Without the Spin. NREL. Available at: <https://www.nrel.gov/docs/fy20osti/73856.pdf>.

Dewi, S.N. (2022) "'Just" energy transitions need more transparency, less gas', *Al Jazeera*, 15 November. Available at: <https://www.aljazeera.com/opinions/2022/11/15/just-energy-transitions-need-transparency-not-gas>.

dg Market (2023) FOURNITURES ET TRAVAUX DE CONSTRUCTION D'UNITE DE STOCKAGE D'ENERGIE : BESS DE 56MW/56MWH RACORDE AU POSTE HTB DE DIASS. Dakar: dg Market. Available at: <https://www.dgmarket.in/Notice/63759751>.

Diop, D. (2022) Scoping Study Renewable Energy Senegal Identification of partnership opportunities between Senegal and the Netherlands. Ministry of Foreign Affairs, the Netherlands. Available at: <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2022/02/Scoping-study-Renewable-Energy-Senegal.pdf>.

DNV (2020) DNV assists Lekela Energie Stockage in Senegal's first utility-scale wind energy project starting in 2022. Available at: <https://>

www.dnv.com/article/dnv-supports-development-of-new-battery-energy-storage-project-in-senegal--200463.

DTU, World Bank Group, ESMAP and Vortex (2023) Global Wind Atlas. Available at: <https://globalwindatlas.info/en>.

Econnext (2022) 'Grips Energy öffnet Niederlassung in Dakar im Senegal', *SolarServer*, 17 June. Available at: <https://www.solarserver.de/2022/06/17/grips-energy-oeffnet-niederlassung-in-dakar-im-senegal/>.

EIB (2023) Senegal: Global Gateway - Team Europe joins forces with Senegal for cleaner, safe and affordable transport in Dakar. Available at: <https://www.eib.org/en/press/all/2023-081-global-gateway-team-europe-joins-forces-with-senegal-for-cleaner-safe-and-affordable-transport-in-dakar>.

Enerdata (2021) 'Senegal will reform its state-owned power utility Senelec'. Enerdata. Available at: <https://www.enerdata.net/publications/daily-energy-news/senegal-will-reform-its-state-owned-power-utility-senelec.html>.

Energy4Impact (2022) 'Designing mini-grid systems around productive uses of energy to spur rural development in Senegal', *Sun-Connect Sub-Saharan Africa News*, 14 December. Available at: <https://sun-connect.org/designing-mini-grid-systems-around-productive-uses-of-energy-to-spur-rural-development-in-senegal/>.

Energypedia (2015) 'Felou Hydroelectric Project - Economic and Financial Analysis'. Available at: https://energypedia.info/wiki/Felou_Hydroelectric_Project_-_Economic_and_Financial_Analysis.

Englert, D., Losos, A., Raucchi, C. and Smith (2021) The Potential of Zero-Carbon Bunker Fuels in Developing Countries. Washington D.C: World Bank. Available at: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/35435>.

Faye, C., Gomis, E.N. and Dieye, S. (2019) 'Current Situation and Development of Water Resources in Senegal', *Ecological Engineering and Environment Protection*, 1, pp. 5-16. Available at: https://rivieresdusud.uasz.sn/bitstream/handle/123456789/326/14_Faye_et_al.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

https://rivieresdusud.uasz.sn/bitstream/handle/123456789/326/14_Faye_et_al.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Feiger, L. and Vasudevan, R. (2021) 'This Tiny Fishing Town Was Poisoned By a Coal Plant. The Government Is Trying to Replace it With a Mine', *Vice*, 25 March. Available at: <https://www.vice.com/en/article/dy8nyj/this-tiny-fishing-town-was-poisoned-by-a-coal-plant-the-government-is-trying-to-replace-it-with-a-mine>.

Ford, N. (2023) 'SENEGAL, MAURITANIA ON THE CUSP OF LNG EXPORTS', *Natural Gas World*, 19 April. Available at: <https://www.naturalgasworld.com/senegal-mauritania-on-the-cusp-of-lng-exports-gas-in-transition-104761>.

G7 Germany (2022) 'G7 Leaders' Communiqué'. Available at: <https://www.g7germany.de/g7-de>.

G7 Japan (2023) 'G7 Climate, Energy and Environment Ministers' Communiqué'. Sapporo. Available at: <https://www.env.go.jp/content/000127828.pdf>.

Gauff Engineering (2019) 'Elektrifizierung von 300 Dörfern mit Photovoltaikanlagen'. Available at: <https://www.gauff.net/referenzen/senegal/elektrifizierung-300-doefer.html>.

German Embassy in Senegal (2023) Economic cooperation with Senegal. Federal Foreign Office. Available at: <https://dakar.diplo.de/sn-en/deutschland-und-senegal/weitere-themen/-/1990878?openAccordionId=item-2567118-1-panel>.

GIZ (2023) Projektdaten. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Available at: <https://www.giz.de/projektdaten/region/3/countries/SN>.

Global Energy Monitor (2023a) Global Coal Plant Tracker. Global Energy Monitor. Available at: <https://globalenergymonitor.org/projects/global-coal-plant-tracker/>.

Global Energy Monitor (2023b) Sendou power station. Global Energy Monitor. Available at: https://www.gem.wiki/Sendou_power_station.

Global Solar Atlas (2019) 'Global Solar Atlas'. Global Solar Atlas 2.0, a free, web-based application is developed and operated by the company Solargis s.r.o. on behalf of the World Bank Group, utilizing Solargis data, with funding provided by the Energy Sector Management Assistance Pro-

gram (ESMAP). Fo. Available at: <https://globalso-laratlas.info/map?c=10.236546,-75.618896,11&s=59.355596,18.105469&m=site> (Accessed: 12 December 2019).

GTAI Germany Trade & Invest (2023) Tender Notice Senegal Energy Storage & Fuel Cell Industry, Construction of a Battery Energy Storage System. GTAI Germany Trade & Invest. Available at: <https://www.gtai.de/en/trade/senegal/tenders/construction-of-a-battery-energy-storage-system--780156>.

Gütschow, J. and Pflüger, M. (2023) 'The PRIM-AP-hist national historical emissions time series (1750-2021) v2.4.2'. Zenodo. doi:10.5281/zenodo.7727475.

Hampel, C. (2022) 'All-electric bus services to start in Senegal', electrive.com, 4 April. Available at: <https://www.electrive.com/2022/04/04/meridiam-keolis-fonsis-to-start-all-electric-bus-services-in-senegal/>.

Heinemann, C. and Kasten, P. (2019) 'Die Bedeutung strombasierter Stoffe für den Klimaschutz in Deutschland'. Öko-Institut e.V. Available at: <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/PtX-Hintergrundpapier.pdf>.

Hollands, C. (2021) 'Senegal's Taiba N'Diaye Wind Farm Blows in a New Wave of Green Investment for the MSGBC Region', Energy Capital and Power, 2 September. Available at: <https://energycapitalpower.com/senegals-taiba-ndiaye-wind-farm-blows-in-a-new-wave-of-green-investment-for-the-msgbc-region/>.

Huhdanmäki, J. (2022) 'Senegal Targets Optimal Gas-to-Power Strategy', Energy Capital and Power, 2 August. Available at: <https://energy-capitalpower.com/senegal-targets-gas-to-power-strategy/>.

IEA (2019a) Africa Energy Outlook 2019. International Energy Agency (IEA). Available at: https://iea.blob.core.windows.net/assets/1d996108-18cc-41d7-9da3-55496cec6310/AEO2019_SENEGAL.pdf.

IEA (2019b) 'Senegal Energy Outlook'. Paris: International Energy Agency (IEA). Available at: <https://www.iea.org/articles/senegal-energy-outlook>.

IEA (2019c) Tracking Clean Energy Progress 2019. Available at: <https://www.iea.org/tcep/> (Accessed: 13 September 2019).

IEA, IRENA, UNSD, et al. (2021) 'The energy progress report 2021'. Available at: https://tracking.sdg7.esmap.org/data/files/download-documents/2021_tracking_sdg7_report.pdf.

IEA (2022) 'Africa Energy Outlook'. Paris: International Energy Agency (IEA). Available at: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/6fa5a6c0-ca73-4a7f-a243-fb5e83ecfb94/AfricaEnergyOutlook2022.pdf>.

IEA (2023a) Hydrogen Projects Database. International Energy Agency (IEA). Available at: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/hydrogen-projects-database#overview>.

IEA (2023b) IEA End-Use Prices Data Explorer. International Energy Agency (IEA). Available at: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/end-use-prices-data-explorer?tab=Yearly+prices>.

Indonesia Window (2021) 'Indonesia exports electric motorcycles to Senegal', Indonesia Window, 20 October. Available at: <https://indonesiawindow.com/en/indonesia-exports-electric-motorcycles-to-senegal/>.

Indonesian Embassy Dakar (2021) ENCOURAGING ENVIRONMENTAL-FRIENDLY TECHNOLOGY, INDONESIAN AMBASSADOR IN DAKAR PROMOTES ELECTRIC MOTORS MANUFACTURED BY INDONESIA IN SENEGAL. Available at: <https://kemlu.go.id/dakar/en/news/13738/encouraging-environmental-friendly-technology-indonesian-ambassador-in-dakar-promotes-electric-motors-manufactured-by-indonesia-in-senegal>.

International Partners Group (2021) 'Political declaration on the just energy transition in South Africa'. Glasgow. Available at: <https://uk-cop26.org/political-declaration-on-the-just-energy-transition-in-south-africa/>.

IRENA (2012) Senegal Renewables Readiness Assessment 2012. IRENA. Available at: <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2013/IRENA-Senegal-RRA.pdf?rev=7b->

9208b1bba443c805e154fe6804cbd.

IRENA (2018) Planning and prospects for renewable power: WEST AFRICA. International Renewable Energy Agency (IRENA). Available at: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Nov/IRENA_Planning_West_Africa_2018.pdf?rev=3a0ff05c815f-46caa8ed40441caef5a6.

IRENA (2023) Senegal Masterplan Development Support Programme – Kick-off meeting. IRENA. Available at: <https://www.irena.org/Events/2023/Mar/Senegal-Masterplan-Development-Support-Programme-Kick-off-meeting>.

KfW (2023a) Projektdatenbank. KfW Bank Group. Available at: https://www.kfw-entwicklungsbank.de/Internationale-Finanzierung/KfW-Entwicklungsbank/Projekte/Projektdatenbank/index.jsp?query=%3A*&page=2&rows=10&sortBy=relevance&sortOrder=desc&facet.filter.language=de&facet.filter.country=%22Senegal%22&dymFailover=tru.

KfW (2023b) Raising the potential of renewable energies. KfW. Available at: <https://www.kfw-entwicklungsbank.de/Global-commitment/Subsahara-Africa/Senegal/Project-information-Energy/>.

KfW (2023c) Senegal: Programm zur Integration Erneuerbarer Energien. KfW Entwicklungsbank. Available at: <https://www.kfw-entwicklungsbank.de/ipfz/Projektdatenbank/Senegal-Programm-zur-Integration-Erneuerbarer-Energien-40701.htm>.

KfW, GIZ and IRENA (2020) The Renewable Energy Transition in Africa. Powering Access, Resilience and Prosperity. KfW / GIZ / IRENA. Available at: https://www.giz.de/en/downloads/Study_Renewable_Energy_Transition_Africa-EN.pdf.

Kitetu, M., Odero, F., Irungu, J., et al. (2021) Decarbonising Africa's grid electricity generation. 19. CDC Group. Available at: <https://assets.cdcgroup.com/wp-content/uploads/2021/05/25111607/Decarbonising-Africas-grid-electricity.pdf>.

Klügling, E. (2023) Des mini-réseaux photovoltaïques fournissent de l'électricité à 300 villages sénégalais. SMA. Available at: Des

mini-réseaux photovoltaïques fournissent de l'électricité à 300 villages sénégalais.

Konandi, J.M. (2022) 'Côte d'Ivoire : Le projet de la centrale solaire flottante bientôt sur les rails', Sika Finance, 14 February. Available at: https://www.sikafinance.com/marches/cote-divoire-le-projet-de-la-centrale-solaire-flottante-bientot-sur-les-rails_32884.

Kramer, K. (2022) Making the Leap The need for Just Energy Transition Partnerships to energy future. Available at: <https://www.iisd.org/system/files/2022-11/just-energy-transition-partnerships.pdf>.

Lecoufle, D. (2018) 'Case Study First Three Solar PV Independent Power Producers in Senegal'. Achada Santo Antonio: ECOWAS Centre for Renewable Energy and Energy Efficiency (ECREEE). Available at: http://www.ecowrex.org/sites/default/files/documents/eg/ecreee_case_study_solar_pv_ipp_projects_in_senegal_3.pdf.

Liebreich, M. (2020) Liebreich: Separating Hype from Hydrogen – Part Two: The Demand Side. Bloomberg New Energy Finance. Available at: <https://about.bnef.com/blog/liebreich-separating-hype-from-hydrogen-part-two-the-demand-side/>.

Lo, J. (2022) 'As Cop27 kicks off, where are the coal to clean deals at?', Climate Home News, 7 November. Available at: <https://www.climatechangenews.com/2022/11/07/as-cop27-kicks-off-where-are-the-coal-to-clean-deals-at/>.

Lorenzi, G. and Silva, C.A.S. (2016) 'Comparing demand response and battery storage to optimize self-consumption in PV systems', Applied Energy, 180, pp. 524–535. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.07.103>.

Magoum, I. (2020) 'Senegal: ERS and CFM to install a solar plant (30 MWp) in Niakhar', Afrik21, 13 November. Available at: <https://www.afrik21.africa/en/senegal-ers-and-cfm-to-install-a-solar-power-plant-30-mwp-in-niakhar/>.

Marquardt, M. and Kachi, A. (2021) Paris alignment of gas? A review of overall sectoral compatibility, lock-in, transition, and physical climate risks. Cologne and Berlin, Germany: NewClimate Institute.

MCC (2023) Senegal Power Compact. Millennium Challenge Corporation. Available at: <https://www.mcc.gov/where-we-work/program/senegal-power-compact>.

McJeon, H., Edmonds, J. and Bauer, N. (2014) 'Limited impact on decadal-scale climate change from increased use of natural gas.', *Nature*, 514, pp. 482–485. doi:<https://doi.org/10.1038/nature13837>.

Moraes, C. (2023) 'Vinci-Led Consortium Begins Construction of Hydro Dam In Senegal', *Construct Africa*, 25 January. Available at: <https://www.constructafrica.com/news/vinci-led-consortium-begins-construction-hydro-dam-senegal>.

Morgen, S., Schmidt, M., Steppe, J. and Wörten, C. (2022) 'Fair Green Hydrogen: Chance or Chimera in Morocco, Niger and Senegal?' Berlin: Rosa Luxemburg Stiftung. Available at: https://www.rosalux.de/fileadmin/rls_uploads/pdfs/sonst_publicationen/Studie_Fair_Hydrogen.pdf.

Neunuebel, C., Gebel, A., Laxton, V. and Kachi, A. (2022) 'Aligning Policy-Based Finance with the Paris Agreement'. Available at: https://newclimate.org/sites/default/files/2022-10/aligning-policy-based-finance-paris-agreement_0.pdf.

Niane, I. (2015) 'Energie Durable pour Tous (SE4ALL) Agenda d'Actions Sénégal'. ECREEE. Available at: http://www.ecreee.org/sites/default/files/events/presentation_se4all_action_agenda_senegal.pdf.

Nilsson, A., Tessa, S. and Marie-Jeanne, K. (2021) THE KENYAN COOKING SECTOR - OPPORTUNITIES FOR CLIMATE ACTION AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT. Available at: https://newclimate.org/sites/default/files/2022-03/a2a_kenya_clean-cookingstudy_july2021.pdf.

OECD/IEA (2018) Status of Power System Transformation 2018. Advanced Power Plant Flexibility. International Energy Agency (IEA). Available at: <https://www.iea.org/reports/status-of-power-system-transformation-2018>.

Ollivier, T. (2022) 'In Senegal, many are feeling salty about a proposed desalination plant', *Le Monde Afrique*, 2 May. Available at: [\[ing-salty-about-a-proposed-desalination-plant_5982231_12.html\]\(https://www.lemonde.fr/en/le-monde-afrique/article/2022/05/02/in-senegal-many-are-feeling-salty-about-a-proposed-desalination-plant_5982231_12.html\).

Omata, D. \(2023\) 'Improving Electricity Distribution Through Smart Grids', *Nexttier*, 30 March. Available at: <https://thenextier.com/improving-electricity-distribution-through-smart-grids/>.

Our World in Data \(2023a\) CO₂ and Greenhouse Gas Emissions Data Explorer. University of Oxford Oxford Martin School. Available at: <https://ourworldindata.org/explorers/co2>.

Our World in Data \(2023b\) 'Electricity production from fossil fuels, nuclear and renewables'. University of Oxford Oxford Martin School. Available at: <https://ourworldindata.org/grapher/elec-fossil-nuclear-renewables?country=~SEN>.

Our World in Data \(2023c\) How many people don't have access to electricity. University of Oxford Oxford Martin School. Available at: <https://ourworldindata.org/energy-access>.

Our World in Data \(2023d\) Poverty Data Explorer of the World Bank data. University of Oxford Oxford Martin School. Available at: <https://ourworldindata.org/explorers/poverty-explorer?tab=chart&facet=none&Metric=Share+in+poverty&Poverty+line=%243.65+per+day%3A+Lower-middle+income+poverty+line&Household+survey+data+type=Show+data+from+both+income+and+consumption+surveys&Show+breaks+b>.

Our World in Data \(2023e\) Senegal: What sources does the country get its electricity from? Our World in Data. Available at: <https://ourworldindata.org/energy/country/senegal#what-sources-does-the-country-get-its-electricity-from>.

Presidential Climate Finance Task Team & International Partners Group \(2022\) Six-month update on progress in advancing the Just Energy Transition Partnership \(JETP\). UK COP 26 Presidency. Available at: <https://ukcop26.org/six-month-update-on-progress-in-advancing-the-just-energy-transition-partnership-jetp/> \(Accessed: 25 July 2022\).

Reuters Staff \(2021\) 'Senegal to break up state energy monopoly to allow private investment', *Reuters*, 28 June. Available at: <https://www.reuters.com/article/senegal-energy-idUSL5N2O-A38G>.](https://www.lemonde.fr/en/le-monde-afrique/article/2022/05/02/in-senegal-many-are-feel-</p>
</div>
<div data-bbox=)

Roy, P., Rao, I., Martha, T.R. and Kumar, K.V. (2022) 'Discharge water temperature assessment of thermal power plant using remote sensing techniques', *Energy Geoscience*, 3(2), pp. 172–181. doi:<https://doi.org/10.1016/j.engeos.2021.06.006>.

Rutovitz, J., Dominish, E. and Downes, J. (2015) Calculating global energy sector jobs: 2015 Methodology Update, Institute for Sustainable Futures (UTS). Available at: <https://opus.lib.uts.edu.au/bitstream/10453/43718/1/Rutovitzetal-2015Calculatingglobalenergysectorjobsmethodology.pdf>.

Schaps, K. (2014) 'Cairn discovers oil offshore Senegal', *Reuters*, 7 October. Available at: <https://www.reuters.com/article/cairn-energy-senegal-idUKFWN0S001P20141007>.

Seidl, H., Schenuit, C. and Techmann, M. (2016) 'Roadmap Demand Side Management. Industrielles Lastmanagement für ein zukunfts-fähiges Energiesystem.' Available at: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9146_Studie_Roadmap_Demand_Side_Management.pdf.

Senegal (2015) 'Plan d'Actions National des Energies Renouvelables (PANER) SENEGAL Période [2015-2020/2030]'. Republic of Senegal. Available at: https://www.se4all-africa.org/fileadmin/uploads/se4all/Documents/Country_PANER/Senegal_Plan_d_Actions_National_des_Energies_Renouvelables.pdf.

Senegal (2018a) 'Electrification Rurale du Sénégal SE4ALL'. Available at: https://gestoenergy.com/wp-content/uploads/2019/04/Gesto_Senegal_FR.pdf.

Senegal (2018b) 'Strategie "Gas to Power" - Note Synthetique'. Ministère du Pétrole et des Energies, République du Senegal. Available at: https://sunupetrole.com/wp-content/uploads/2020/09/note_synthetique_strategie_gas_to_power.pdf.

Senegal (2019) 'Fiche d'opportunité sectorielle - Energie'. Available at: <http://www.finances.gouv.sn/wp-content/uploads/2019/02/FICHE-DOP-PORTUNITE-SECTORIELLE-ENERGIE.pdf>.

Senegal (2020a) 'Accès universel à l'électricité en 2025'. République du Sénégal, Ministère du Pétrole et des Energies. Avail-

able at: <https://view.officeapps.live.com/office/view.aspx?src=https%3A%2F%2Facesuniversel.sn%2Fwp-content%2Fuploads%2F2021%2F03%2FProspectus-dinvestissement-Acce%25CC%2581s-universel-2025-V-actualise%25CC%2581e-rev2021-03.doc&wdOrigin=BROWSELINK>.

Senegal (2020b) 'CONTRIBUTION DÉTERMINÉE AU NIVEAU NATIONAL DU SENEGAL'. République du Sénégal. Available at: https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/CDNSenegal_approuvée-pdf.pdf.

Sguazzin, A. (2022) 'Lekela Forges Ahead With Senegal Battery Plant, Eyes Hydrogen Projects', *BNN Bloomberg*, 21 November. Available at: <https://www.bnnbloomberg.ca/lekela-forges-ahead-with-senegal-battery-plant-eyes-hydrogen-projects-1.1849593>.

Siemens (2019) Siemens baut das Potenzial grüner Energie durch virtuelle Kraftwerke aus. Available at: <https://press.siemens.com/global/de/pressemitteilung/siemens-baut-das-potenzial-gruener-energie-durch-virtuelle-kraftwerke-aus>.

Singh, S. and Kumar, R. (2012) 'Ambient air temperature effect on power plant performance', *International Journal of Engineering Science and Technology*, 4(8), pp. 3916–3923. Available at: https://www.idc-online.com/technical_references/pdfs/mechanical_engineering/AMBIENT_AIR_TEMPERATURE.pdf.

Solargis, World Bank Group and ESMAP (2023) Global Solar Atlas. Available at: <https://globalsolaratlas.info/map>.

Sow, S. (2022) 'Cookinations: Mechanisms to Decouple Wood Production and Food Preparation in Sub-Urban Areas', in Fall, A. and Haas, R. (eds) *Sustainable Energy Access for Communities*. Springer. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-030-68410-5_13.

Sterl, S., Vanderkelen, I., Chawanda, C.J., et al. (2020) 'Smart renewable electricity portfolios in West Africa', *Nature Sustainability*, 3. doi:<https://doi.org/10.1038/s41893-020-0539-0>.

Takouleu, J.M. (2021) 'Senegal: DFC funds study for Taiba N'Diaye wind farm expansion', *Afrik21*, 16 December. Available at: <https://www.afrik21.com>.

[africa/en/senegal-dfc-funds-study-for-taiba-ndiaye-wind-farm-expansion/](https://www.afrik21.africa/en/senegal-dfc-funds-study-for-taiba-ndiaye-wind-farm-expansion/)

Takouleu, J.M. (2022) 'SENEGAL: The Diass solar power plant (23 MWp) officially comes into service', Afrik21, 27 May. Available at: <https://www.afrik21.africa/en/senegal-the-diass-solar-power-plant-23-mwp-officially-comes-into-service/>.

Takouleu, J.M. (2023) 'SENEGAL: the Sambangalou multipurpose dam is launched with a delay', Afrik21, 17 January. Available at: <https://www.afrik21.africa/en/senegal-the-sambangalou-multipurpose-dam-is-launched-with-a-delay/>.

Tchanche, B. (2020) 'Energy Supply and Consumption in Senegal.' doi:10.1142/9789811228032_0002.

Tenenbaum, B., Greacen, C. and Vaghela, D. (2018) Mini Grids and the Arrival of the Main Grid: Lessons from Cambodia, Sri Lanka, and Indonesia. Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP). Available at: <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/4a059d16-c578-5e99-b0f9-dc76f013fcd2/content>.

Tomalka, J., Lange, S., Gleixner, S. and Gornott, C. (2022) Climate Risk Profile: Senegal. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK). Available at: https://www.pik-potsdam.de/en/institute/departments/climate-resilience/projects/project-pages/agrica/crp_senegal_en_20220602.

UK COP 26 Presidency (2021) Statement on international public support for the clean energy transition. Glasgow: UK COP 26 Presidency.

UNDP (2020) Derisking Renewable Energy Investment. United Nations Development Programme. Available at: <https://www.undp.org/publications/derisking-renewable-energy-investment>.

US Internal Trade Administration (2023) 'Senegal - Country Commercial Guide'. U.S. International Trade Administration. Available at: <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/senegal-energy>.

Villagrasa, D. (2022) 'Green hydrogen: Key success criteria for sustainable trade & production: A synthesis based on consultations in Africa and Latin America'. Heinrich Böll Stiftung, Brot für die Welt. Available at: <https://www.boell.de/sites/>

[default/files/2022-11/green-hydrogen.pdf](https://www.boell.de/sites/default/files/2022-11/green-hydrogen.pdf).

De Vivero-Serrano, G., Burges, K., Kurdziel, M.-J. and Hagemann, M. (2019) Transition towards a decarbonised electricity sector - a framework of analysis for power system transformation. Available at: https://newclimate.org/wp-content/uploads/2019/10/Report_Transition_Towards_A_Decarbonised_Electricity_Sector_A2A_2019.pdf.

Wane, I. (2021) 'Sénégal : Les grandes lignes du projet de code de l'électricité', Sika Finance, 11 June. Available at: https://www.sikafinance.com/marches/senegal-les-grandes-lignes-du-projet-de-code-de-lelectricite_28619.

Wemanya, A. and Opfer, K. (2022) Principles for Just Energy Transition Partnerships in the African Energy Context. Germanwatch. Available at: https://www.germanwatch.org/sites/default/files/2022_positionpaper_jetp_digital.pdf.

Wood Mackenzie (2022) Utility evolution in Africa to reshape global electricity demand. Wood Mackenzie. Available at: <https://www.woodmac.com/press-releases/Utility-evolution-in-Africa-to-reshape-global-electricity-demand/>.

World Bank (2019) Senegal - Third Multi-Sectoral Structural Reforms Development Policy Financing (P170366). The World Bank. Available at: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/331641576983717851/pdf/Senegal-Third-Multi-Sectoral-Structural-Reforms-Development-Policy-Financing.pdf>.

World Bank (2021) 'World Bank Group Provides \$465 Million to Expand Energy Access and Renewable Energy Integration in West Africa'. Washington D.C.: World Bank Group. Available at: <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2021/06/10/world-bank-group-provides-465-million-to-expand-energy-access-and-renewable-energy-integration-in-west-africa>.

World Bank (2023a) 'Population growth (annual %) - Senegal'. World Bank. Available at: <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.GROW?locations=SN>.

World Bank (2023b) 'The World Bank in Senegal - Country Overview'. World Bank. Available at: <https://www.worldbank.org/en/country/senegal/overview>.

World Bank (2023c) 'World Bank Data - Senegal'. World Bank. Available at: <https://data.worldbank.org/country/senegal?view=chart>.

Youssef, J., Carvalho, A. and Napoli, C. (2016) Creating a Sustainable Privatisation Programme in the GCC - Learning Lessons from Past Failures. Oliver Wyman. Available at: <https://www.oliver-wyman.com/content/dam/oliver-wyman/v2/publications/2016/Nov/Creating-a-Sustainable-Privatisation-Programme-in-the-GCC.PDF>.

**NewClimate – Institute for
Climate Policy and Global
Sustainability gGmbH**

Cologne Office
Waidmarkt 11a
50676 Cologne, Germany

Berlin Office
Schönhauser Allee 10-11
10119 Berlin, Germany

Phone: +49 221 999 83 300
Email: info@newclimate.org
Website: www.newclimate.org

Germanwatch e.V.

Bonn Office
Kaiserstr. 201
53113 Bonn, Germany

Berlin Office
Stresemannstr. 72
10963 Berlin, Germany

Phone: +49 (0)228 / 60 4920
Email: info@germanwatch.org
Website: www.germanwatch.org