

**Commission économique pour l'Afrique****Cinquième Forum africain sur la science, la technologie et l'innovation**

Niamey (hybride), 26 et 27 février 2023

Rapport de synthèse sur le rôle des technologies émergentes dans la promotion durable de la sécurité énergétique en Afrique

I. Introduction

1. Le présent rapport a pour objet de mettre en lumière quelques-unes des technologies énergétiques nouvelles et émergentes qui pourraient soutenir les futures industries de l'énergie et, partant, certains des avantages et possibilités qu'elles présentent et les mesures urgentes que l'Afrique doit envisager en vue de participer à la nouvelle économie de l'énergie qui connaît une croissance rapide.

2. Actuellement, les besoins énergétiques de l'Afrique sont largement satisfaits par la biomasse (environ 50 %), les combustibles fossiles (22 %), le charbon (14 %) et le gaz naturel (14 %), et cette combinaison énergétique n'a pas changé au cours des trois dernières décennies¹. En revanche, on estime que la consommation d'énergie aux États-Unis d'Amérique est passée d'environ 70 % de biomasse dans les années 1870 à 70 % de charbon en 1900, puis à environ 70 % de pétrole et de gaz en 1960². Chacune de ces phases de transition a représenté différents niveaux de savoir-faire technologique et d'innovation, qui ont créé des opportunités industrielles et ouvert de nouveaux marchés, tout en améliorant le quotidien de la population³. Si l'Afrique a raté une grande partie de ces opportunités, elle peut néanmoins trouver dans les technologies énergétiques nouvelles et émergentes des possibilités inégalées d'acquérir un savoir-faire technologique, de dépasser les révolutions énergétiques précédentes et de permettre ainsi au continent d'atteindre les objectifs fixés dans le Programme de développement durable à l'horizon 2030 et l'Agenda 2063 : L'Afrique que nous voulons, de l'Union africaine⁴.

3. Des études montrent que l'investissement dans les énergies propres peut avoir un impact positif sur la réalisation de tous les objectifs de développement durable, à l'exception de l'Objectif 17 (sur les partenariats), et que l'investissement dans la décarbonisation aura un effet positif sur la réalisation de tous les objectifs, à l'exception de l'Objectif 4 (sur l'éducation) (voir

¹ Agence internationale pour les énergies renouvelables, *Africa 2030: Roadmap for a Renewable Energy Future* (Abu Dhabi, Agence internationale pour les énergies renouvelables, 2015).

² Peter A. O'Connor, « Energy transitions », *The Pardee Papers*, n° 12 (Boston, Boston University, 2010).

³ Nations Unies, Commission économique pour l'Afrique (CEA), « Prix de l'énergie en Afrique : transition vers une énergie propre pour l'industrialisation de l'Afrique », 2021.

⁴ Société financière internationale, *The Dirty Footprint of the Broken Grid: the Impacts of Fossil Fuel Back-up Generators in Developing Countries* (Washington D.C., Société financière internationale, 2019).



tableau 1)⁵. Les différentes énergies renouvelables présentent des possibilités, des avantages, des risques et des défis différents. Par exemple, les biocarburants ont des incidences positives plus importantes sur les cibles des objectifs de développement durable liées à l'économie, à la technologie et au climat, mais pourraient avoir des effets négatifs sur d'autres dimensions des objectifs (par exemple, l'utilisation des terres et de l'eau et la santé)⁶. De même, l'énergie solaire peut être moins chère, plus facile à déployer et à gérer, de même qu'elle peut être installée sur des terres perdues ou non fertiles, mais sa durée de vie n'est que de 20 à 30 ans, et les déchets connexes peuvent avoir un impact environnemental négatif s'ils ne sont pas planifiés et gérés.

Tableau 1

Production et résultat énergétiques des objectifs de développement durable

<i>Produit *</i>	<i>ODD1</i>	<i>ODD2</i>	<i>ODD3</i>	<i>ODD4</i>	<i>ODD5</i>	<i>ODD6</i>	<i>ODD7</i>	<i>ODD8</i>	<i>ODD9</i>	<i>ODD10</i>	<i>ODD11</i>	<i>ODD12</i>	<i>ODD13</i>	<i>ODD14</i>	<i>ODD15</i>	<i>ODD16</i>	<i>ODD17</i>
Accès à l'énergie propre pour tous	2	1	2	2	2	1	3	2	3	2	3	2	3	1	2	1	0
Décarbonisation de l'énergie	1	2	2	0	1	2	3	2	2	2	2	3	3	2	2	2	1

Source : Sachs et autres, « Six transformations to achieve the Sustainable Development Goals ».

Note : Échelle à quatre points : 3, le produit est directement lié aux objectifs de développement durable ; 2, le produit renforce les ODD ; 1, le produit favorise l'atteinte des ODD et 0, le produit n'interagit pas avec les ODD.

4. En ce qui concerne le potentiel des énergies renouvelables, l'Afrique dispose de ressources abondantes, avec une capacité de production d'énergie solaire de 10 TW, d'énergie hydroélectrique de 350 GW, d'énergie éolienne de 110 GW et d'énergie géothermique de 15 GW. Un défi majeur, qui est en même temps un goulet d'étranglement, auquel de nombreux pays sont confrontés est la question de savoir comment convertir ces immenses ressources énergétiques en des formes d'énergie permettant d'alimenter de manière rentable, sûre et fiable les foyers, les transports, les entreprises, les exploitations agricoles et les équipements sociaux. En plus d'assurer l'approvisionnement énergétique de l'Afrique, ces ressources peuvent permettre au continent de prendre part aux innovations et aux applications industrielles (par exemple, la mobilité électrique, la fabrication et l'électricité) liées aux technologies nouvelles et émergentes. Par exemple, les innovations concernant les batteries ont créé de nouveaux débouchés prometteurs pour les stations de recharge avec ou sans fil et une nouvelle génération de voitures, de scooters et de vélos, chacun ayant sa propre chaîne de valeur. C'est ainsi que de nouveaux acteurs entrent sur le marché, que de nouvelles industries naissent, que de nouveaux emplois et de nouvelles richesses sont créés et que de nouvelles connaissances sont générées, avec d'importantes incidences positives sur le développement économique, social et environnemental.

II. Développement et croissance des technologies énergétiques émergentes

5. Dans la présente section, nous examinons quelques technologies énergétiques émergentes que l'Afrique devrait sérieusement envisager et adopter – en notant que les énergies renouvelables produisent moins de gaz à effet de serre sur leur cycle de vie que les combustibles fossiles classiques et

⁵ Jeffrey D. Sachs et autres, « Six transformations to achieve the Sustainable Development Goals », *Nature Sustainability*, vol. 2 (août 2019).

⁶ Fernanda Silva Martinelli et autres, "Will Brazil's push for low-carbon biofuels contribute to achieving the SDGs ? A systematic expert-based assessment", *Cleaner Environmental Systems*, vol. 5 (2022).

qu'elles peuvent être plus rapides à installer, plus faciles à entretenir et plus adaptables aux besoins locaux que les technologies énergétiques actuelles. Par exemple, les émissions de gaz à effet de serre sur le cycle de vie de l'énergie solaire photovoltaïque et de l'énergie éolienne sont respectivement de 4 % et de 1,5 %, et les installations peuvent facilement être surveillées à distance et gérées par les communautés locales⁷.






6. Il existe diverses technologies émergentes pour le captage, la conversion, le stockage et l'utilisation de l'énergie. Les sections suivantes du présent rapport portent sur une série de technologies énergétiques – énergie solaire, batteries et hydrogène – dans lesquelles l'Afrique a de bonnes chances de réussir et d'acquérir un savoir-faire technologique.

A. Technologies solaires photovoltaïques

7. L'énergie solaire photovoltaïque fait partie des technologies d'énergie renouvelable les plus propres, les plus sûres et les mieux établies pour produire de l'électricité à petite et grande échelle. Elle fait appel à différents types de technologies de cellules photovoltaïques. Au cœur des systèmes photovoltaïques se trouvent les cellules photovoltaïques ou photopiles – les dispositifs électriques qui convertissent l'énergie solaire en énergie électrique⁸. La photopile moyenne fournit environ 0,5 volt, ce qui n'est pas suffisant pour alimenter les appareils de base. Plusieurs photopiles sont donc combinées pour créer un module solaire, et une série de modules solaires constitue un panneau solaire.

Tableau 2

Taille du marché des différents composants des systèmes photovoltaïques

	<i>Piles</i>	<i>Panneaux</i>	<i>Batteries</i>	<i>Onduleurs</i>	<i>Entretien</i>
					
Valeur marchande en 2021 ou dernière valeur disponible	26 milliards de dollars	180 milliards de dollars	3,1 milliards de dollars	16 milliards de dollars	151 milliards de dollars
Valeur marchande à l'horizon 2030	37 milliards de dollars	641 milliards de dollars	9,5 milliards de dollars	34 milliards de dollars	292 milliards de dollars
Compétences et personnel connexes	Chimistes, physiciens, ingénieurs et spécialistes des matériaux en recherche-développement, ainsi que personnel de fabrication, d'assurance qualité et de vente, entre autres.				Architectes, concepteurs de projets, gestionnaires, électriciens et plombiers

Source : Estimations de la Commission économique pour l'Afrique (CEA), fondées sur diverses sources d'études de marché.

8. En ce qui concerne la taille du marché, les cellules photovoltaïques de première génération, à base de silicium cristallin, représentent environ 93 % du marché mondial, suivies par les cellules à couche mince (7 %). La valeur totale estimée du marché mondial était de 26 milliards de dollars en 2021, elle pourrait

⁷ Thomas Bruckner et autres, « Energy systems » dans *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution du Groupe de travail III au Cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* (Cambridge, Cambridge University Press, 2014).

⁸ Mahmood H. Shubbak, « Advances in solar photovoltaics: technology review and patent trends », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 115 (novembre 2019).

atteindre 37 milliards de dollars en 2028 (voir tableau 2)⁹. De même, le marché mondial des panneaux solaires était évalué à 180,4 milliards de dollars en 2020, il pourrait atteindre 641,1 milliards de dollars d'ici 2030¹⁰, tandis que le marché des batteries solaires était évalué à 6,8 milliards de dollars en 2020 et devrait atteindre 18 milliards de dollars d'ici 2027.¹¹ Le marché mondial des onduleurs solaires photovoltaïques était estimé à 16,3 milliards de dollars en 2022, il pourrait atteindre 33,9 milliards de dollars en 2028¹².

9. L'Afrique doit tout faire pour entrer sur le marché en soutenant la formation professionnelle, la recherche-développement et les capacités de fabrication. L'éventail des compétences nécessaires comprend celles de la recherche-développement (par exemple, celles que possèdent les professionnels de la chimie, de la physique, de l'ingénierie, de la technologie numérique et des nanotechnologies); celles concernant la fabrication de cellules, de modules, de panneaux, de batteries, d'onduleurs, de contrôleurs et d'autres composants électroniques (par exemple, celles détenues par les ingénieurs de production et de processus, les chimistes, les physiciens et les responsables de l'assurance qualité et du marketing) et celles relatives à la conception, à l'installation, à l'entretien, à la modernisation et au retrait du service en toute sécurité des systèmes d'énergie solaire (par exemple, celles détenues par les experts en évaluation de l'impact environnemental, les électriciens, les soudeurs et les plombiers). Il pourrait être nécessaire d'adopter une approche à plusieurs volets, dans laquelle l'Afrique encouragerait la collaboration entre les fournisseurs étrangers, les institutions de recherche-développement et d'apprentissage et les jeunes entreprises à forte intensité de connaissances désireuses de se développer, afin de renforcer rapidement les compétences sur l'ensemble de la chaîne de valeur. Cela ne devrait pas être difficile, étant donné que le marché de l'énergie solaire connaît une croissance rapide en Afrique – d'environ 10,9 MW en 2000 à 10 302,2 MW en 2021. La majeure partie de cette croissance a été réalisée après 2012 (voir figure I). Toutefois, la part de l'Afrique dans le marché mondial de l'énergie solaire est d'environ 1,2 %.

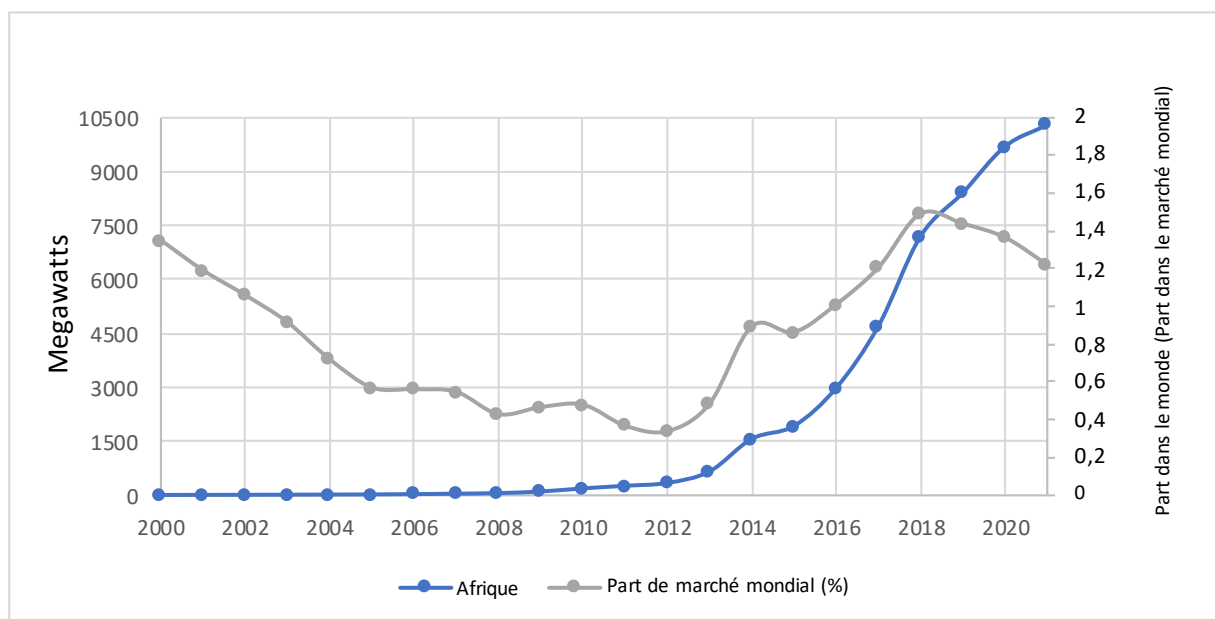
⁹ Global Market Insights, *Solar Cells Market Size, By Material (Crystalline [N Material, P Material], Thin Film), By Product (BSF, PERC/PERL/PERT/TOPCON, HJT, IBC & GWT), By Technology (Monocrystalline, Polycrystalline, Cadmium Telluride (CDTE), Amorphous Silicon (A-Si), Copper Indium Gallium Diselenide), COVID-19 Impact Analysis, Regional Outlook, Application Potential, Competitive Market Share & Forecast, 2022–2028* (Selbyville, United States, Global Market Insights, 2022), disponible sur www.gminsights.com/industry-analysis/solar-cells-market.

¹⁰ Allied Market Research, *Solar Photovoltaic (PV) Panel Market by Technology (Crystalline Silicon, Thin Film, and Others), Grid Type (On-grid and Off-grid), and End Use (Residential, Commercial & Industrial, and Others): Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2021-2030* (Portland, United States, Allied Market Research, 2022), disponible sur www.alliedmarketresearch.com/solar-photovoltaic-panel-market.

¹¹ Global Industry Analysts, Inc, *Solar Batteries: Global Strategic Business Report*, disponible à l'adresse www.researchandmarkets.com/reports/5030432/solar-batteries-global-market-trajectory-and.

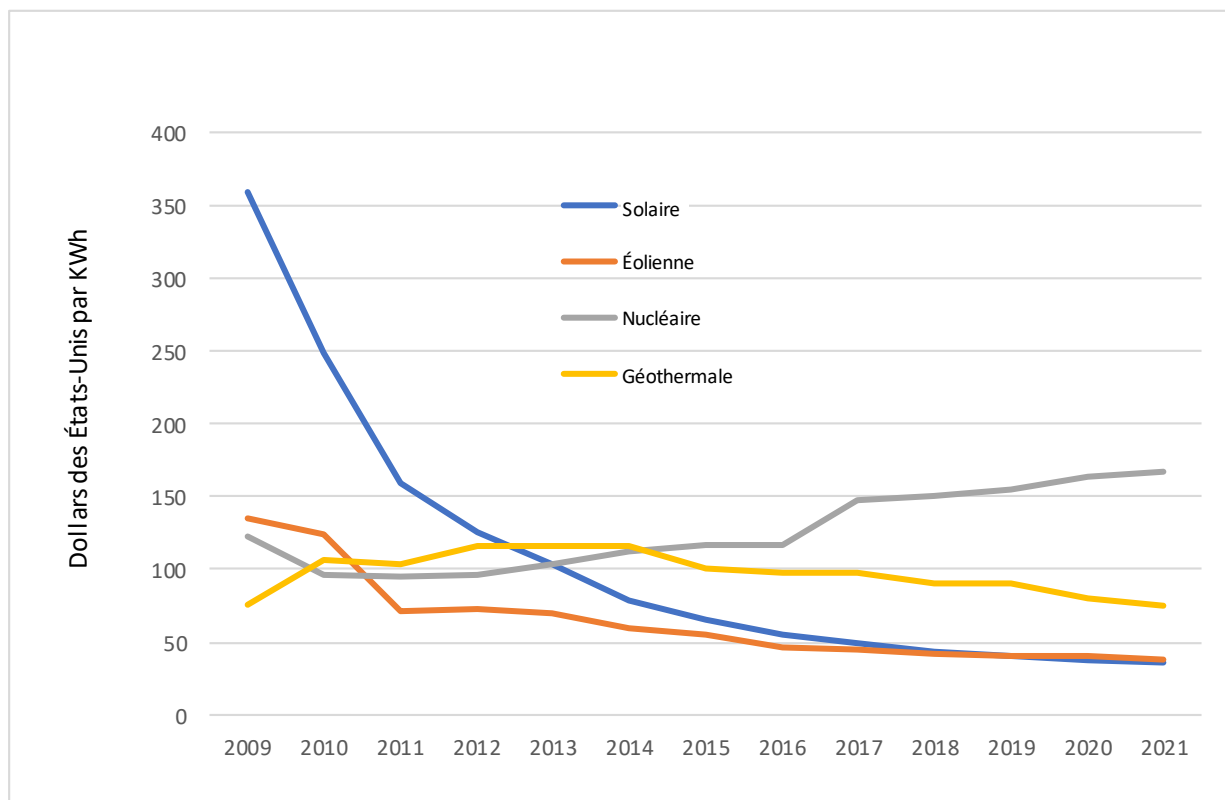
¹² Markets and Markets, *Inverter Market by Type (Solar Inverters, Vehicle Inverter, others), Output Power Rating (Up to 10 kW, 10-50 kW, 51-100 kW, above 100 kW), End User (PV Plants, Residential, Automotive), Connection, Voltage, Sales Channel & Region - Global Forecast to 2027*, disponible à l'adresse: www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/inverter-market-263171818.html.

Figure I
Capacité de production d'électricité photovoltaïque en Afrique



Source : Base de données de l'Agence internationale pour les énergies renouvelables, disponible sur www.irena.org/Data, consulté le 16 avril 2022.

Figure II
Prix moyens actualisé de l'électricité, par source



10. Il est important de développer une base de connaissances nationale, car l'adoption rapide des systèmes solaires photovoltaïques a été stimulée par les améliorations de la technologie solaire, la réduction des coûts de fabrication, l'augmentation du financement pour les énergies renouvelables et la mise en

place de politiques sur les énergies renouvelables¹³. Les technologies photovoltaïques (telles que le silicium cristallin et le tellure de cadmium) sont désormais produites à l'échelle industrielle et de nombreuses autres technologies sont en cours de développement¹⁴. Il s'ensuit que le prix des systèmes photovoltaïques a considérablement diminué depuis 2010 (voir figure II). En 2019, le coût moyen actualisé de la production d'électricité solaire photovoltaïque était de 51 dollars par MWh – ce qui en fait une source d'énergie électrique moins chère que le charbon.

B. Technologies de batteries pour le stockage de l'énergie

11. Il existe plusieurs technologies de batteries, dont les plus courantes et les plus avancées sont les batteries lithium-ion, plomb-acide, flux redox, sodium-soufre, sodium-métal-halogénure, zinc-hybride et cathode. Chacune d'entre elles a ses propres avantages, points forts et limites. La batterie au lithium est peut-être la plus utilisée dans les appareils mobiles et dans le secteur de la mobilité (par exemple, ordinateurs portables, téléphones mobiles, véhicules électriques, scooters électriques et vélos électriques). Développée dans les années 70 pendant la crise pétrolière, elle a jeté les bases d'une société sans fil et sans fossiles¹⁵. Les progrès technologiques rapides ont fait chuter le prix du kWh, qui est passé de 1 160 dollars en 2010 à 176 dollars en 2018, et ce prix devrait encore baisser¹⁶. Les batteries lithium-ion contiennent plus de charges par volume (près de 126 Wh par kg), nécessitent moins ou pas d'entretien et ont une longue durée de vie, jusqu'à 15 ans. Ces batteries sont accessibles aussi bien pour les installations à petite échelle (par exemple, les téléphones portables) que pour les installations à grande échelle (par exemple, les services publics d'électricité), mais elles restent relativement coûteuses et présentent un risque d'incendie faible, mais possible.

12. D'autres batteries à forte capacité de stockage sont les batteries nickel-cadmium et nickel-métal-halogénure. Celles-ci peuvent contenir une forte densité d'énergie et sont capables de décharges instantanées et continues à haute énergie, ce qui est important dans diverses applications, telles que les outils électriques et les applications d'urgence (par exemple, l'alimentation du système d'urgence des avions si leurs moteurs perdent de la puissance). Bien que ces batteries soient encore utilisées, le coût des métaux utilisés et la toxicité du cadmium ont limité leurs applications. L'Union européenne, par exemple, a interdit les piles à base de cadmium dans les appareils portables¹⁷.

13. Les batteries au plomb offrent une solution de stockage d'énergie moins coûteuse pour les systèmes solaires domestiques. Elles sont utilisées dans les automobiles pour les démarrer et pour faire fonctionner les accessoires du véhicule. Elles sont faciles à éliminer et à recycler, mais nécessitent un entretien (c'est-à-dire qu'elles peuvent fuir), ont une durée de vie plus courte (environ cinq ans si elles sont entretenues correctement) et sont plus encombrantes et nécessitent plus d'espace pour la même capacité de stockage d'énergie que les

¹³ Gregory M. Wilson et autres, « The 2020 photovoltaic technologies roadmap », Journal of Physics D : Applied Physics, vol. 53, n° 49 (2020).

¹⁴ Laboratoire national des énergies renouvelables, « STAT FAQs part 2 : lifetime of PV panels », 23 avril 2018, disponible sur www.nrel.gov/state-local-tribal/blog/posts/stat-faqs-part2-lifetime-of-pv-panels.html.

¹⁵ Fondation Nobel, « They developed the world's most powerful battery », disponible sur www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2019/popular-information/.

¹⁶ Bloomberg, « Gasoline prices around the world: the real cost of filling up », 4 août 2020.

¹⁷ Union européenne, Directive 2013/56/UE du Parlement européen et du Conseil du 20 novembre 2013 modifiant la directive 2006/66/CE du Parlement européen et du Conseil relative aux piles et accumulateurs ainsi qu'aux déchets de piles et d'accumulateurs en ce qui concerne la mise sur le marché de piles et d'accumulateurs portables contenant du cadmium destinés à être utilisés dans des outils électriques sans fil et de piles boutons à faible teneur en mercure, et abrogeant la décision 2009/603/CE de la Commission.

piles au lithium. On estime que leur densité d'énergie est d'environ 7 W par kg et qu'ils sont donc utiles dans les cas où il ne se pose pas un problème majeur d'espace ou lorsqu'il n'est besoin que d'une petite quantité de puissance (par exemple pour démarrer une voiture).

14. De même, les piles à flux contiennent un électrolyte à base d'eau qui stocke l'énergie chimique. Elles sont encombrantes et coûteuses. Cependant, à la différence des autres batteries, elles peuvent être déchargées complètement et peuvent exécuter jusqu'à 10 000 cycles sans perte de rendement. Les piles à flux ont une durée de vie allant jusqu'à 30 ans, s'adaptent à divers environnements et cas d'utilisation, et ne nécessitent pas beaucoup d'entretien. Elles sont adaptées au stockage plutôt qu'à des utilisations à caractère mobile.

15. Si les batteries domestiques et de bureau peuvent être suffisamment génériques pour s'adapter à tous les usages, les batteries de stockage d'énergie à grande échelle peuvent être construites et personnalisées pour répondre aux spécifications souhaitées concernant la quantité d'énergie qu'elles doivent contenir et décharger pour assurer le fonctionnement de grandes entreprises (par exemple, des mines) ou l'alimentation de villes entières. Les grands systèmes de stockage d'énergie par batterie pourraient constituer un outil puissant pour équilibrer le réseau en se chargeant pendant les heures creuses (par exemple, la nuit, lorsque l'électricité est moins chère) et en se déchargeant pendant les périodes de demande d'énergie de pointe (par exemple, pendant la journée). Plus important encore, les batteries constituent une solution de système de stockage d'énergie flexible qui peut être déplacée d'un endroit à l'autre et d'un cas d'utilisation à l'autre beaucoup plus facilement et plus rapidement que d'autres options (par exemple, les systèmes de stockage d'énergie hydroélectrique par pompage).

16. Tout comme pour l'énergie solaire, un éventail de compétences est nécessaire pour répondre aux demandes liées aux différents composants de la chaîne de valeur des batteries, ce qui peut inclure une expertise dans la recherche-développement, dans le traitement des minéraux et des matériaux des batteries, ainsi que dans la fabrication, l'assemblage, l'installation, la maintenance et le recyclage des batteries (par exemple celles utilisées dans les appareils de mobilité, les réseaux électriques et les systèmes hors réseau et les appareils mobiles). Plus précisément, les domaines importants dans lesquels la formation, les compétences et les connaissances sont nécessaires comprennent le traitement des minéraux et des produits chimiques des batteries, l'automatisation et les technologies de l'industrie 4.0, la fabrication en série de composants et de cellules de batteries, ainsi que l'expertise en électricité et en ingénierie liée à la fabrication, à l'installation et à la maintenance des batteries dans les véhicules, les réseaux électriques et d'autres applications¹⁸. Comme indiqué ci-dessus, les principaux aspects à prendre en compte sont les coûts, la capacité de stockage de l'énergie, la durée de vie et l'espace nécessaire. Par exemple, le Département de l'énergie des États-Unis d'Amérique s'est fixé l'objectif de réduire de 90 % en dix ans le coût du stockage de l'énergie à l'échelle du réseau pour les systèmes qui assurent un approvisionnement continu en énergie pendant 10 heures ou plus¹⁹. L'Afrique devra également se fixer des objectifs similaires pour répondre à ses propres besoins ou, du moins, pour suivre l'évolution des sciences, des technologies et de l'industrie si elle veut rester compétitive. Ce point sera abordé en détail dans une section ultérieure du présent rapport, mais il suffit de dire que les alliances industrielles avec les pays leaders et la collaboration avec les institutions de recherche-développement seront nécessaires si l'Afrique veut rattraper son retard.

¹⁸ South Metropolitan TAFE Western Australia, "Vocational skills gap assessment and workforce development plan" (Bentley, Australie, Future Battery Industries Cooperative Research Centre, 2021).

¹⁹ Département de l'énergie des États-Unis d'Amérique, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, "Long duration storage shot", disponible sur www.energy.gov/eere/long-duration-storage-shot.

C. Hydrogène et technologies liées à l'hydrogène

17. L'hydrogène est une source d'énergie renouvelable passionnante dont les applications sont multiples dans toute une série de secteurs. Premièrement, l'hydrogène est un excellent vecteur et une excellente source d'énergie, qui peut provenir de diverses sources. Par conséquent, les possibilités ne sont pas limitées par des facteurs environnementaux (par exemple, l'exposition au soleil dans le cas de l'énergie solaire) ou par l'application (par exemple, les batteries en grande partie pour le stockage de l'énergie). Deuxièmement, l'hydrogène présente une grande capacité de stockage et peut être stocké et transporté sous forme de gaz, de liquide ou d'autres formes chimiques (par exemple, l'ammoniac). Enfin, l'hydrogène peut également être utilisé comme matière première pour diverses applications industrielles (par exemple, les engrais et les carburants électriques).

18. Grâce aux propriétés susmentionnées de l'hydrogène, le marché mondial de l'énergie hydrogène connaît une croissance rapide. Comme le montre le tableau 3, le marché mondial de la production d'hydrogène devrait passer d'environ 129 milliards de dollars en 2022 à environ 255 milliards de dollars en 2030. Étant donné que le monde cherche à se décarboniser, le marché des électrolyseurs nécessaires pour convertir l'eau en hydrogène et en oxygène devrait passer d'environ 6 milliards de dollars en 2021 à quelque 69 milliards de dollars en 2030, tandis que le marché du stockage de l'hydrogène devrait presque doubler et que le marché des piles à combustible pourrait être multiplié par 61 d'ici à 2030.

Tableau 3

Taille des différents segments du marché de l'hydrogène

<i>Valeur marchande</i>	<i>Électrolyseurs</i>	<i>Stockage</i>	<i>Pile à combustible</i>	<i>Production totale</i>
2021 ou dernière date disponible	6 milliards de dollars	15 milliards de dollars	0,7 milliard de dollars	129 milliards de dollars
Horizon 2030	69 milliards de dollars	26,9 milliards de dollars	43 milliards de dollars	225 milliards de dollars

Source : Estimations de la CEA, fondées sur diverses sources d'études de marché.

19. À l'heure actuelle, environ 96 % de l'hydrogène produit provient de combustibles fossiles (ou est de l'hydrogène gris ou bleu si le dioxyde de carbone est capturé). En ce qui concerne les sources, près de 70 % de l'hydrogène sur le marché sont issus du gaz naturel, tandis que 27 % sont issus du charbon. Seuls 3 % environ proviennent de sources renouvelables. La plupart des contributions annoncées par les pays à cet égard (environ 73 milliards de dollars)²⁰ visent à accélérer la production d'hydrogène vert, la flambée des prix des produits pétroliers ayant entraîné une hausse de 70 % des prix de l'hydrogène brun.

20. Il existe un certain nombre de domaines, dont la plupart sont liés entre eux, qui doivent être abordés d'un point de vue technologique et commercial afin d'augmenter la part de l'hydrogène vert. Le premier défi est celui de la réduction du coût de la production d'hydrogène vert. Comme on peut le voir dans le tableau 4, l'hydrogène dérivé de l'eau par électrolyse coûte entre 5,8 et 23,3 dollars par kg d'hydrogène, tandis que l'hydrogène dérivé du charbon coûte environ 1,3 dollar par kg d'hydrogène. Par exemple, le Département de l'énergie des États-Unis d'Amérique soutient des recherches visant à réduire le coût global de la production d'hydrogène de 5 à 1 dollar par kg d'hydrogène en

²⁰ Carbon Tracker Initiative, « Clean hydrogen's place in the energy transition : destined for dramatic growth if obstacles overcome », disponible sur <https://carbontracker.org/wp-content/uploads/2022/10/Clean-Hydrogens-Place-in-the-Energy-Transition-1.pdf>.

une décennie. Un tel développement permettrait de réduire de 16 % les émissions de dioxyde de carbone d'ici à 2050, tout en générant 700 000 emplois et 140 milliards de dollars de revenus d'ici à 2030 rien qu'aux États-Unis²¹. De nouvelles approches qui intègrent la production d'hydrogène dans les applications industrielles existantes ont montré qu'il était possible de produire de l'hydrogène vert pour moins d'un dollar par kg²².

21. L'énergie hydrogène nécessitera des investissements dans les infrastructures de transport (par exemple, les pipelines, les camions et les terminaux portuaires), de stockage (par exemple, les réservoirs d'hydrogène liquide), d'utilisation et de vente (par exemple, les stations de ravitaillement en hydrogène et les compresseurs), ainsi que dans des compétences qui, notamment, sont nécessaires à l'utilisation sûre de l'hydrogène et au maintien de marchés compétitifs. La plupart des pays africains ne disposent ni de gazoducs étendus, ni de services d'appui ou d'industries connexes qui puissent être facilement réaffectés. Ainsi, l'Afrique pourrait avoir besoin de nouvelles installations ou de solutions de rechange pour mettre en place un développement compétitif de l'énergie hydrogène.

22. Par exemple, le projet de production d'hydrogène vert en Namibie, dont la production annuelle est estimée à 300 000 tonnes d'hydrogène lorsqu'il sera pleinement opérationnel, nécessitera un investissement de 10 milliards de dollars²³, soit plus que l'ensemble des entrées d'investissements directs étrangers du pays au cours de la dernière décennie et près de son produit intérieur brut d'environ 12,2 milliards de dollars en 2021.²⁴ Afin de répondre à ce besoin d'investissement, la Namibie établit des partenariats avec des propriétaires de technologies et engage d'autres parties prenantes dans la promotion des investissements et du commerce²⁵. Le projet représente une opportunité d'investissement majeure pour les pays développés et les entreprises de ces pays qui cherchent à réduire leurs émissions de carbone, à améliorer leurs références écologiques et à participer à l'une des industries à la croissance la plus rapide. Avec le soutien du Gouvernement namibien et de l'autorité portuaire namibienne, des étendues de terres inhabitées, bénéficiant d'un fort ensoleillement et de ressources en vent et en eau, ont été allouées pour garantir la réussite du projet. Bon nombre des projets relatifs à l'hydrogène annoncés se situent dans des pays en développement (par exemple, au Chili, au Maroc et en Afrique du Sud) et impliquent divers partenariats avec des pays développés et des intérêts dans ces derniers.

²¹ Département de l'énergie des États-Unis d'Amérique, Bureau des technologies de l'hydrogène et des piles à combustible, « Hydrogen shot », disponible sur www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-shot.

²² Tong Wenming et autres, « Electrolysis of low-grade and saline surface water », *Nature Energy*, vol. 5 (2020).

²³ Hyphen Hydrogen Energy, "Namibia announces progress with Hyphen Hydrogen Energy to unlock US\$10bn investment for first green hydrogen project to help power the energy transition", 1^{er} juin 2022.

²⁴ Banque mondiale, « indicateur du développement dans le monde », DataBank, disponible sur <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators> (consulté le 20 décembre 2022).

²⁵ Commission européenne, « COP27 : l'Union européenne conclut un partenariat stratégique avec la Namibie sur les matières premières durables et l'hydrogène renouvelable » (en anglais), 8 novembre 2022, disponible sur https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_6683.

Tableau 4
Coûts des différentes technologies de production d'hydrogène

<i>Processus</i>	<i>Source d'énergie</i>	<i>Produit chimique intermédiaire</i>	<i>Coût du capital (en millions de dollars É.-U.)</i>	<i>Coût de l'hydrogène (en dollars É.-U. /kg)</i>
Reformage du méthane à la vapeur	Combustibles fossiles standard	Gaz naturel	180,7	2,08
Gazéification	Combustibles fossiles standard	Charbon	435,9	1,34
Pyrolyse du méthane	Vapeur générée en interne	Gaz naturel	..	1,59-1,70
Pyrolyse de la biomasse	Vapeur générée en interne	Biomasse ligneuse	53,4-3,1	1,25-2,20
Gazéification de la biomasse	Vapeur générée en interne	Biomasse ligneuse	149,3-6,4	1,77-2,05
Photo-fermentation	Solaire	Biomasse organique		2,83
Électrolyse solaire photovoltaïque	Solaire	Eau	12,0-54,5	5,78-23,27
Électrolyse solaire thermique	Solaire	Eau	421,0-22,1	5,10-10,49
Électrolyse par électricité d'origine éolienne	Éolienne	Eau	504,8-499,6	5,89-6,03
Électrolyse nucléaire	Nucléaire	Eau		4,15-7,00
Thermolyse nucléaire	Nucléaire	Eau	39,6-2 107,6	2.17-2.63
Thermolyse solaire	Solaire	Eau	5,7-16.0	7.98-8.40
Photo-électrolyse	Solaire	Eau	..	10,36

Source : Michael Ball et Marcel Weeda, « The hydrogen economy – vision or reality? », *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 4, n° 25 (6 juillet 2015).

23. D'autres projets de ce type portent sur le développement de l'infrastructure, des compétences, du savoir-faire et des autres ressources nécessaires à la mise en place d'une chaîne de valeur viable pour l'hydrogène²⁶. Comme dans d'autres domaines, de nombreuses compétences requises peuvent être de nature technique, tandis que d'autres peuvent nécessiter une formation de niveau maîtrise ou doctorat (par exemple, pour la recherche-développement liée aux composants des électrolyseurs, à la sécurité et aux normes, et à la conception des infrastructures). Dans d'autres cas, des mises à niveau mineures des compétences existantes dans le secteur et les universités peuvent être nécessaires, tandis que la plupart des compétences nécessaires peuvent devoir être nouvellement acquises, en particulier dans les pays qui ne disposent pas d'une industrie gazière établie et des infrastructures connexes.

III. Caractéristiques susceptibles de favoriser la réussite

24. Comme indiqué ci-dessus, les technologies énergétiques nouvelles et émergentes « englobent un ensemble de nouveaux matériaux, produits, applications, processus et modèles commerciaux [qui] sont interdépendants, interconnectés et se renforcent mutuellement »²⁷ et tirent parti des progrès

²⁶ Roger H. Bezdek, « L'économie de l'hydrogène et les emplois du futur », *Renewable Energy and Environmental Sustainability*, vol. 4 (2019).

²⁷ *La situation économique et sociale dans le monde, 2018 : les technologies de pointe au service du développement durable* (publication des Nations Unies, 2018)

réalisés dans de nombreuses disciplines, telles que la nanotechnologie, la science des matériaux, l'électrochimie, la biotechnologie, l'ingénierie et les technologies numériques, entre autres. En conséquence, les technologies émergentes offrent à de nouveaux acteurs diverses possibilités de pénétrer dans différents segments du marché de l'énergie. Il existe donc une petite fenêtre d'opportunité pour acquérir un savoir-faire collectif et technologique et pour tirer parti des niches technologiques et de marché et, par conséquent, rattraper et dépasser les autres.

25. Toutefois, les nouvelles technologies s'appuient souvent sur des bases de connaissances scientifiques, technologiques et industrielles existantes. Cela donne à penser que les pays qui possèdent déjà l'infrastructure de base, les compétences, les connaissances et les industries de soutien sont mieux placés pour jouer un rôle de premier plan. Par exemple, les fabricants ou assembleurs de véhicules à carburant fossile doivent adapter leurs plates-formes d'assemblage existantes et acquérir de nouvelles ressources, matérielles et immatérielles, pour répondre aux exigences de fabrication des voitures électriques. Ceux qui n'ont pas d'expérience dans le domaine de l'assemblage de voitures devront toutefois développer leurs capacités de fabrication de véhicules et leurs chaînes d'approvisionnement et de valeur à partir de zéro, ce qui représente une courbe d'apprentissage abrupte.

26. Le cas de Tesla, par exemple, suggère que les nouveaux entrants qui possèdent des connaissances et des compétences de base sur le produit (c'est-à-dire la technologie des batteries électriques), un modèle d'entreprise unique attrayant pour les investisseurs et un produit positionné de manière à séduire le marché peuvent être compétitifs même sans expérience préalable dans le secteur, s'ils profitent de l'avantage du précurseur²⁸. Les pays et les entreprises d'Afrique qui souhaitent se lancer dans le secteur des nouvelles énergies devront peut-être adopter des approches similaires, c'est-à-dire entrer sur le marché très tôt, trouver un créneau et se doter des capacités nécessaires pour réussir. Le principal argument en faveur de cette approche est que le coût d'entrée sur le marché augmente de façon astronomique à mesure que les technologies arrivent à maturité, car le nombre de concurrents augmente, les produits deviennent plus sophistiqués et les attentes des consommateurs s'accroissent. Par exemple, les voitures électriques d'aujourd'hui sont des chefs-d'œuvre technologiques qui promettent de faibles coûts d'entretien, des normes de sécurité élevées et de bonnes performances routières par rapport aux voitures électriques produites il y a vingt ans.

27. Un autre élément clé qui sous-tend le succès du développement de nouvelles technologies émergentes est l'acquisition continue et active de savoir-faire technologique²⁹, indépendamment de l'industrie concernée. Toutes les technologies énergétiques – des cellules photovoltaïques aux batteries – continueront d'évoluer à un rythme rapide. Les pays devront continuellement apprendre afin de suivre les nouvelles avancées dans le secteur concerné. Il en sera ainsi au niveau de la technologie de conversion de l'énergie (par exemple, les cellules photovoltaïques et les électrolyseurs pour la production d'hydrogène), au niveau du stockage de l'énergie (par exemple, les batteries et l'hydroélectricité par pompage) et au niveau des applications (par exemple, les produits fonctionnant à l'énergie solaire).

28. À mesure que les technologies arrivent à maturité, les investissements du secteur public dans la recherche-développement des énergies renouvelables seront probablement dépassés par ceux du secteur privé. À ce stade, la

²⁸ Forbes, "Teslanotches first full-year profit, aided by \$270 million fourth-quarter net income", 27 janvier 2021.

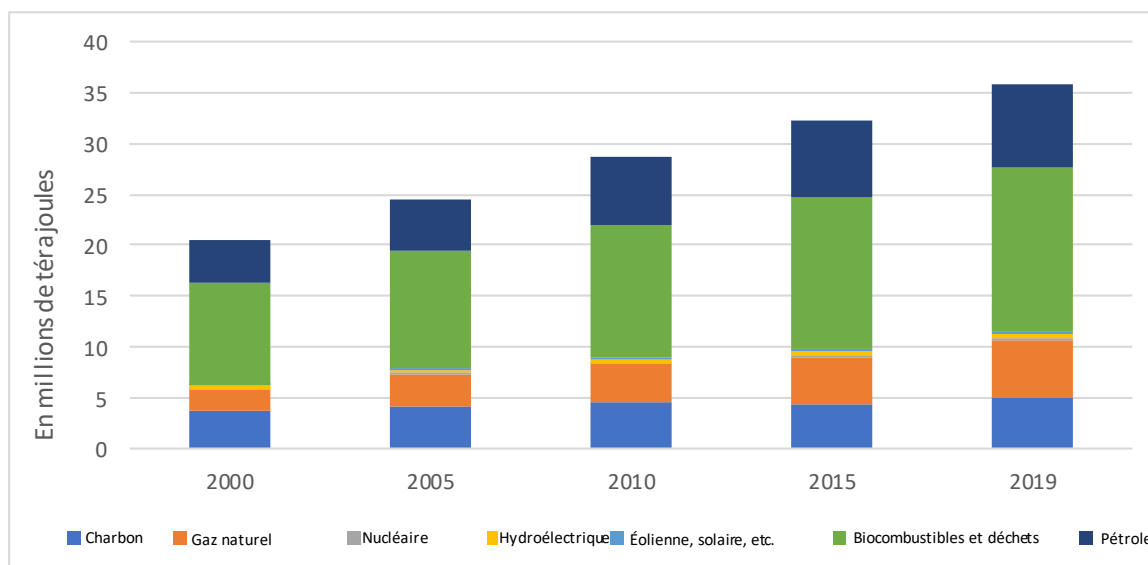
²⁹ Eduardo B. Viotti, "National Learning Systems : a new approach on technological change in late industrializing economies and evidences from the cases of Brazil and South Korea", *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 69, n° 7 (septembre 2002).

protection de la propriété intellectuelle relative aux technologies clés rendra plus difficile et plus coûteux l'accès aux nouvelles connaissances. Les pays qui souhaitent s'approprier une partie du marché émergent des énergies renouvelables devraient donc s'y prendre tôt et apprendre avec le reste du monde.

IV. Tailler une part à l'Afrique dans les technologies énergétiques émergentes

29. Le marché des produits d'énergie renouvelable connaît une croissance rapide, tant en Afrique que dans le reste du monde. Par exemple, entre 2000 et 2019, l'approvisionnement total en énergie en Afrique a augmenté de 75 %, tandis que l'approvisionnement en énergie renouvelable a augmenté de 1 740 % (voir figure III). La question n'est donc pas de savoir s'il existe un appétit pour les énergies renouvelables en Afrique³⁰, mais plutôt si les approches et les modèles commerciaux actuels³¹ sont susceptibles d'aider l'Afrique à réduire sa dépendance vis-à-vis des combustibles fossiles traditionnels et de la biomasse. Pour les pays africains, les prix élevés de l'énergie et le manque de sources d'énergie alternatives et modernes pour répondre à leurs besoins énergétiques peuvent être, en plus de la baisse des prix, des débouchés commerciaux et des préoccupations environnementales, des facteurs clés à prendre en compte.

Figure III
Approvisionnement total en énergie de l'Afrique



Source : Données de la CEA, fondées sur la base de données de l'Agence internationale pour les énergies renouvelables.

30. Que peut faire l'Afrique pour se tailler une part décente du futur marché mondial des énergies renouvelables ? Il y a quelques décennies encore, la production et l'exportation de produits de l'industrie solaire photovoltaïque étaient un club exclusif composé de pays avancés d'Europe et des États-Unis. Aujourd'hui, cependant, la Chine et l'Inde sont des producteurs de composants et de systèmes d'énergie solaire, et le Viet Nam est également en train de devenir un producteur de produits d'énergie solaire. La Chine, par exemple, a

³⁰ Anders Ellegård et autres, "Rural people pay for solar : experiences from the Zambia PV-ESCO project", *Renewable Energy*, vol. 29, n° 8 (juillet 2004).

³¹ Velma Mukoro, Maria Sharmina et Alejandro Gallego-Schmid, "A review of business models for access to affordable and clean energy in Africa : do they deliver social, economic, and environmental value ?", *Energy Research and Social Science*, vol. 88 (juin 2022).

soutenu des start-up privées innovantes³², souvent attirées par des programmes d'investissement gouvernementaux ambitieux et à long terme, le développement du capital humain et l'investissement dans les infrastructures de recherche-développement.³³ La Chine compte des universités entières et de nombreuses écoles et programmes académiques spécialisés dans l'énergie, fournissant ainsi les talents et les connaissances nécessaires à la planification du développement énergétique au niveau industriel et national³⁴. De même, le Viet Nam a fait appel à des investisseurs étrangers et nationaux pour développer la production et les exportations locales dans le cadre de son programme ambitieux qui a vu l'énergie solaire installée passer de 105 MW en 2018 à 16 660 MW en 2020³⁵. Les pays africains ont besoin de plans tout aussi ambitieux. Quelques mesures que les pays africains pourraient prendre pour être compétitifs sont indiquées ci-après :

A. Adopter une approche intégrée du développement du capital humain

31. Les technologies énergétiques nouvelles et émergentes englobent un éventail de compétences, de connaissances et de technologies issues de diverses disciplines et secteurs, ce qui rend relativement difficile la détermination des points d'entrée. Les pays peuvent notamment encourager leurs institutions à créer des centres de formation et de recherche interdisciplinaires en collaboration avec des entreprises existantes du secteur de l'énergie qui enseignent, entreprennent des recherches et mettent au point des produits pour ou avec des industries connexes. Ces centres peuvent être conçus autour de compétences existantes qui peuvent facilement être mises à niveau, d'une technologie énergétique donnée, de centres de formation existants, de fournisseurs et d'exploitants d'énergies renouvelables spécifiques, ou de toute combinaison pouvant s'adapter aux contextes nationaux.

32. Par exemple, l'institut de formation et de recherche en géothermie de l'université de technologie Dedan Kimathi, au Kenya, propose une licence en géologie, un diplôme de troisième cycle en technologie de l'énergie géothermique et une maîtrise en technologie de l'énergie géothermique aux étudiants, ainsi qu'à des équipes pouvant comprendre des membres du monde universitaire, de l'industrie et des organismes de réglementation intéressés par le développement de l'industrie de l'énergie géothermique³⁶. Les programmes ont été conçus conjointement avec des experts du secteur qui ont contribué à faire du Kenya le huitième producteur d'énergie géothermique au monde et le premier producteur en Afrique³⁷. Une approche similaire pourrait être utilisée pour concevoir des programmes de formation et de formation professionnelle en relation avec d'autres secteurs des énergies renouvelables.

33. Les blocs régionaux de pays pourraient également s'appuyer sur les programmes existants pour créer des capacités spécialisées dans des technologies énergétiques spécifiques. Par exemple, le centre de formation

³² Matthew Hopkins et Yin Li, « The rise of the Chinese solar photovoltaic industry: firms, governments, and global competition », in *China As an Innovation Nation*, Yu Zhou, William Lazonick et Yifei Sun, eds. (Oxford, Oxford University Press, 2016) ; et Ping Huang et autres, « How China became a leader in solar PV : an innovation system analysis », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 64 (2016).

³³ David Cyranoski et autres, « Education: the PhD factory », *Nature*, vol. 472 (2011).

³⁴ Sarah O'Meara et Yvaine Ye, « Four research teams powering China's net-zero energy goal », *Nature*, 23 mars 2022.

³⁵ Van Nguyen, « Vietnam: foreign investors in dire need of incentives for renewable energy » *Energy Monitor*, 1^{er} septembre 2022.

³⁶ Université de technologie Dedan Kimathi, « Programmes », disponible sur <https://getri.dkut.ac.ke/programmes/>.

³⁷ Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture, « Kenya now eighth in the world for geothermal power », disponible sur www.unesco.org/reports/science/2021/sites/default/files/medias/fichiers/2022/03/central-east_africa_Box-19-1.pdf.

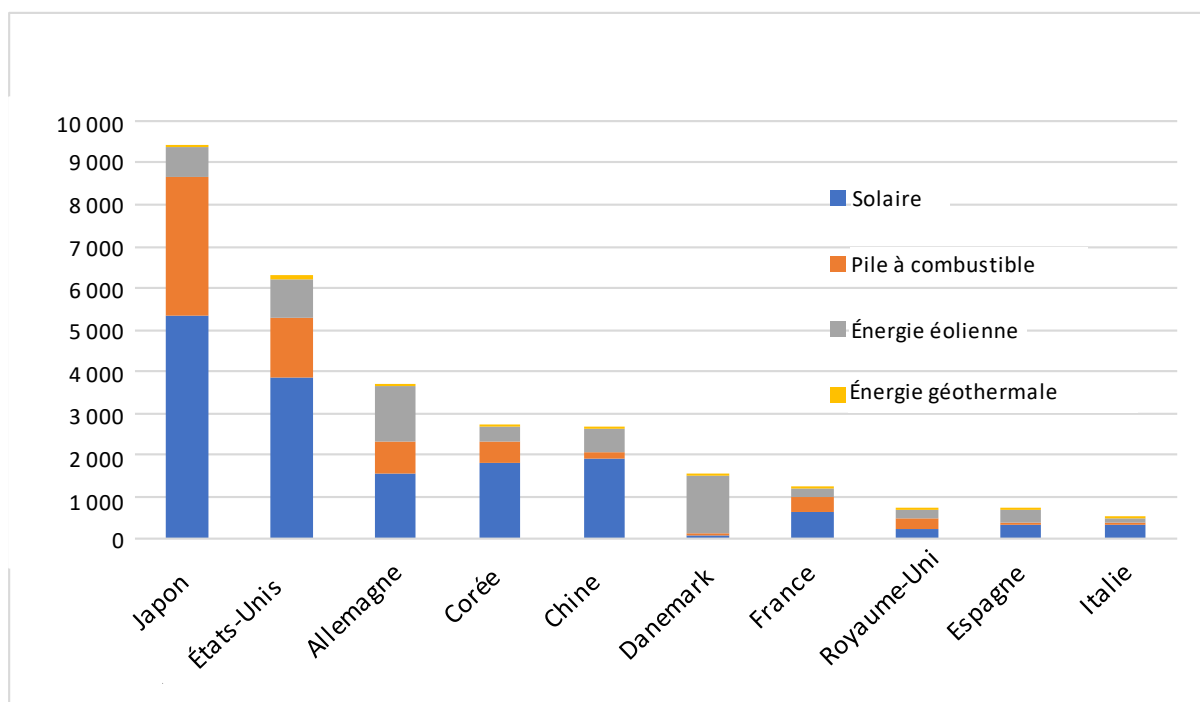
régional de Kafue Gorge, en Zambie, est supervisé par un conseil d'administration régional composé de représentants de l'Eswatini, du Malawi, de l'Ouganda, de la République-Unie de Tanzanie, de la Zambie et du Zimbabwe et propose des formations en hydroélectricité. Basé au même endroit que la centrale hydroélectrique de Kafue Gorge, le centre offre une formation pratique aux diplômés des écoles d'ingénieurs et aux travailleurs du secteur de l'énergie. Avec le nombre croissant d'entreprises spécialisées dans les énergies renouvelables, une approche similaire pourrait être utilisée pour améliorer les compétences et en créer de nouvelles.

B. Développer la recherche-développement dans le domaine des énergies renouvelables

34. À l'échelle mondiale, rien qu'en 2019, environ 6,7 milliards de dollars ont été investis dans la recherche-développement pour l'énergie solaire, 2,7 milliards de dollars pour l'énergie éolienne, 1,8 milliard de dollars pour l'énergie des biocarburants, 1 milliard de dollars pour l'énergie de la biomasse, 0,7 milliard de dollars pour la petite hydroélectricité et 0,2 milliard de dollars chacun pour l'énergie géothermique et l'énergie marine. De même, les 20 principaux constructeurs automobiles ont dépensé, en 2019 et 2020, 97,5 milliards de dollars pour la recherche-développement sur les batteries³⁸. Ces investissements sont axés sur la chaîne de valeur technologique (matériaux, production, intégration et recyclage), avec comme objectif d'optimiser les performances, les coûts et la durabilité afin de répondre aux objectifs de croissance environnementale et économique.

Figure IV

Pays ayant déposé le plus de brevets dans le domaine des technologies renouvelables (2010-2019)



Source : James Nurton, « Patenting trends in renewable energy », Organisation mondiale de la propriété intellectuelle, mars 2020.

³⁸ Binder Dijker Otte (BDO) UK, « Top 20 global carmakers spend another £71.7bn on R&D as electric vehicle rollout gathers pace », 26 juillet 2021.

35. Les chiffres montrent que les investissements dans les énergies renouvelables en Afrique sont limités. Aucun pays africain ne figure parmi les pays qui déposent le plus de brevets dans le domaine des énergies renouvelables (voir la figure IV ci-dessus). Pour commencer à changer cette situation, les pays africains devraient s'efforcer de créer des centres de recherche et de mise au point de produits dans le domaine des énergies renouvelables dans les universités et les institutions de recherche-développement. Parmi les modèles, on peut citer le National Renewable Energy Laboratory du Département de l'énergie des États-Unis, qui compte 3 227 employés et divers centres de recherche et laboratoires spécialisés dans l'énergie solaire, l'énergie éolienne et la bioénergie. Son volume d'affaires en 2022 était de 671 millions de dollars ; il a obtenu 688 brevets et est engagé dans 1 046 collaborations actives avec des universités, des industries et des entités gouvernementales et à but non lucratif³⁹. Ces entités peuvent diriger les efforts nationaux ou régionaux en matière de formation, de recherche et de soutien aux industries connexes.

36. L'élargissement de la base de recherche-développement crée immédiatement des emplois pour certains des esprits les plus brillants et les plus créatifs d'Afrique, qui sont actuellement perdus au profit de l'émigration ; il permet à l'Afrique de participer à la production des connaissances qui détermineront l'avenir des industries des énergies renouvelables et aide l'Afrique à développer les compétences et les industries nécessaires pour installer, entretenir, améliorer et concevoir ses technologies, produits et infrastructures en matière d'énergies renouvelables. L'expansion de la recherche-développement permet également de réunir les meilleures équipes de recherche⁴⁰ et les industries pour une collaboration étroite, ce qui a traditionnellement été considéré comme un moyen d'accélérer la croissance des industries dans les technologies émergentes.^{41,42} Très peu de pays africains peuvent aujourd'hui se targuer d'avoir la capacité de concevoir, d'installer et de maintenir des installations d'énergie renouvelable à grande échelle.

C. Recherche active d'alliances stratégiques de recherche et industrielles

37. Les pays africains devraient prendre l'initiative de définir les domaines dans lesquels les alliances stratégiques pourraient être plus utiles. Les alliances de recherche seront importantes pour acquérir et développer une base de recherche nationale dans le domaine des énergies renouvelables. Elles peuvent inclure le jumelage d'établissements de formation, d'enseignement et de recherche d'intérêt, l'échange et l'accueil de chercheurs et d'étudiants de haut niveau, ainsi que des installations de recherche communes dans le pays d'origine et dans les pays partenaires. Elles doivent avoir pour objectif clair d'aider les pays africains à gravir les échelons technologiques afin d'éviter une dépendance perpétuelle.

38. Les alliances industrielles sont en grande partie formées entre des entreprises pour toute une série de raisons qui peuvent inclure la combinaison de connaissances uniques, d'actifs intellectuels et d'expériences en matière de recherche-développement, de fabrication ou de production, de distribution, de marketing et de vente. L'Afrique devra peut-être : inciter ou encourager ses services publics de l'énergie, largement intégrés verticalement, et ses

³⁹ National Renewable Energy Laboratory, "About NREL", disponible sur www.nrel.gov/about/.

⁴⁰ The Hamilton Project, "La plupart des investisseurs ont des diplômes d'études supérieures", 13 décembre 2017.

⁴¹ Lynne Zucker, Michael Darby et Marilyn B. Brewer, "Intellectual human capital and the birth of U.S. biotechnology enterprises", *American Economic Review*, vol. 88, n° 1 (1998).

⁴² Reddi Kotha et Gerard George, "Academic entrepreneurs : the role of star scientists in commercialization of radical science", *Frontiers of Entrepreneurship Research : Proceedings of the 30th Annual Entrepreneurship Research Conference*, vol. 30 (2010).

entreprises privées à rechercher des partenariats qui pourraient conduire à la formation de coentreprises ; créer des start-up dans des segments technologiques donnés ou accéder à des compétences, acquérir de l'expérience ou développer conjointement des plates-formes de recherche-développement, de fabrication et de production pour les technologies ou les produits liés aux énergies renouvelables.

D. Développer et moderniser les infrastructures de transmission

39. Avec l'augmentation des investissements dans les énergies renouvelables, le nombre de projets visant à se connecter aux réseaux nationaux est susceptible de croître rapidement. Les réseaux électriques actuels de l'Afrique, qui desservent environ la moitié de la population, pourraient s'avérer inadéquats, voire mal préparés, pour faire face à une augmentation de l'offre et de la demande d'énergie. Les pays doivent donc anticiper cette poussée et entreprendre les mises à niveau nécessaires pour garantir que le réseau électrique sera sûr, stable et fiable si ou quand la charge augmente. Même les pays dotés de réseaux étendus et bien développés auront du mal à mettre en ligne davantage d'électricité provenant de sources renouvelables⁴³. Des questions telles que la connexion au réseau et les tarifs de distribution deviendront essentielles pour encourager les investissements et la croissance rapide de l'accès à l'énergie et de son abordabilité en Afrique. D'autres infrastructures pour la mobilité électrique, le stockage et la distribution de l'hydrogène devront être construites sur la base des besoins anticipés en matière de demande et d'offre.

E. Création d'une feuille de route pour les technologies et l'innovation dans le domaine des énergies renouvelables

40. Plusieurs questions abordées dans cette section du présent rapport pourraient étayer les feuilles de route nationales et régionales sur les énergies renouvelables. Un plan détaillé peut aborder la question de savoir comment les pays assureront la transition vers un approvisionnement énergétique propre, accessible, compétitif, sûr, sécurisé et abordable pour tous. Les décideurs et les entités industrielles émergentes en Afrique doivent élaborer des plans stratégiques plus clairs, qui guident le comportement de toutes les parties prenantes et suscitent l'espoir d'un avenir meilleur au sein de la population. Par exemple, ils doivent prendre en compte des questions telles que le nombre d'emplois qui seraient créés, le nombre de communautés qui seraient connectées, le caractère abordable de l'énergie et la stabilité de l'approvisionnement en électricité. Bien que les plans ne se déroulent pas nécessairement comme prévu, ils incitent les universités, les entreprises, les organismes gouvernementaux et la société dans son ensemble à travailler pour un avenir commun.

41. Si chaque pays peut utiliser des outils et des approches différents, ils devraient tous tenir compte, entre autres facteurs, des exigences technologiques, industrielles, commerciales, d'emploi et d'investissement et des réglementations et pratiques de fusion, ainsi que des coûts et avantages, ainsi que des perdants et des gagnants potentiels. Par exemple, parmi les emplois créés par les services publics et les systèmes photovoltaïques pour les communautés, environ 75 % sont dans la fabrication et 25 % dans la

⁴³ Joseph Rand et autres, "Queued up: characteristics of power plants seeking transmission interconnection as of end of 2021" (Berkeley, États-Unis, Lawrence Berkeley National Laboratory, 2022), disponible sur (<https://escholarship.org/uc/item/38m4d192>).

construction et l'installation⁴⁴, tandis que deux tiers des emplois dans l'hydrogène vert sont dans la production d'énergie renouvelable et un tiers dans la production, la transmission et le stockage d'hydrogène.⁴⁵ Par conséquent, les choix faits par les pays et leurs entreprises auront un impact sur l'emploi, l'accessibilité, l'abordabilité et la demande globale future, en fonction du secteur et des cas d'utilisation. Des feuilles de route plus claires pourraient aider à orienter les politiques nationales, les investissements et le développement du capital humain, à réduire au minimum la création de perdants et à optimiser les avantages, ainsi qu'à encourager une concurrence et une collaboration saines aux niveaux national, régional et mondial. Les feuilles de route doivent inclure des plans de mise en œuvre et d'investissement clairs.

V. Conclusion

42. L'objectif principal du présent rapport est de mettre en lumière un certain nombre de technologies émergentes et les chances qu'elles offrent pour l'Afrique, ainsi que de présenter certaines tendances et les moyens par lesquels l'Afrique pourrait participer pleinement aux industries des technologies énergétiques émergentes. On espère également que le rapport stimulera la recherche, le débat, l'élaboration de politiques, la collaboration et les partenariats entre les pays pour faire progresser le développement, la production et la fabrication de produits d'énergie renouvelable en Afrique, de manière à permettre au continent de produire durablement des énergies renouvelables utiles, accessibles et abordables. On espère aussi qu'il stimulera la recherche, le débat, l'élaboration de politiques, la collaboration et les partenariats entre les pays pour faire progresser le développement, la production et la fabrication de produits d'énergie renouvelable en Afrique, le but étant de permettre au continent de produire durablement des énergies renouvelables utiles, accessibles et abordables.

43. Jusqu'à présent, l'Afrique semble très bien réussir dans l'acquisition et le déploiement de l'énergie solaire et éolienne et elle est en passe de devenir l'un des principaux acteurs du commerce et de la production d'hydrogène. L'adoption rapide des énergies renouvelables en Afrique s'explique par la forte baisse des prix et l'amélioration de l'efficacité de divers composants, tels que les batteries⁴⁶, les panneaux solaires et les éoliennes⁴⁷ l'objectif étant de fournir de l'électricité à ceux qui n'en ont pas ou dont l'alimentation est instable. La prochaine étape consistera à devenir plus qu'un utilisateur et consommateur de produits énergétiques conçus ailleurs pour différents environnements.

44. Des efforts concertés de la part des gouvernements, des universités, des entreprises et des organisations à but non lucratif sont nécessaires pour permettre à l'Afrique de devenir un acteur clé dans la recherche, le développement, la production, la fabrication, l'utilisation et le commerce des produits d'énergie renouvelable. Des politiques claires peuvent contribuer à stimuler ce développement et à résoudre bon nombre des problèmes soulevés dans le présent rapport.

⁴⁴ Georgeta Vidican Auktor et autres, *Achieving Inclusive Competitiveness in the Emerging Solar Energy Sector in Morocco*, étude n° 79 (Bonn, Institut allemand de développement, 2013).

⁴⁵ Sonja van Renssen, « Hydrogen tests climate policymakers with its job potential », *Energy Monitor*, 6 mai 2021.

⁴⁶ *Sustainable Truck and Van*, Prix des batteries au lithium -97 % en 30 ans. Et d'ici 2050, un supplément de -68 % », 20 mai 2021. www.sustainabletruckvan.com/price-of-lithium-batteries-fall/.

⁴⁷ Département de l'énergie des États-Unis d'Amérique, « 2020 sees record for land-based wind generation, 24 % increase in pipeline of offshore wind energy - laying the foundation for rapid growth in years to come », 30 août 2021, disponible sur www.energy.gov/articles/doe-releases-new-reports-highlighting-record-growth-declining-costs-wind-power.