

CHANGEMENT CLIMATIQUE, ÉNERGIE ET ENVIRONNEMENT

LE SYSTÈME ÉNERGÉTIQUE DE L'ALGÉRIE

Développement d'un modèle de phases
pour une transformation durable

Sibel Raquel Ersoy, Julia Terrapon-Pfaff
Mai 2021



En appliquant sur l'Algérie un modèle de phases pour la transition énergétique basée sur les énergies renouvelables dans la région MENA, l'étude fournit une vision directrice afin de soutenir la stratégie de développement et piloter le processus de transition énergétique.



La transition vers les énergies renouvelables présente une opportunité à long -terme en faveur du développement économique et social en l'Algérie.



L'Algérie jouit d'un potentiel adéquat pour exporter à l'avenir des énergies renouvelables sous diverses formes ; ce qui offre la possibilité de remplacer les revenus en baisse des combustibles fossiles.

LE SYSTÈME ÉNERGÉTIQUE DE L'ALGÉRIE

Développement d'un modèle de phases pour une transformation durable



Une compréhension claire des interdépendances sociotechniques et une vision structurée sont des conditions préalables pour favoriser et piloter une transition vers un système énergétique entièrement renouvelable. Pour faciliter cette compréhension, un modèle de phases pour la transition vers les énergies renouvelables dans les pays de la région MENA a été développé et appliqué au cas national de l'Algérie. Il est conçu pour accompagner l'élaboration de la stratégie et la gouvernance de la transition énergétique et servir de guide aux décideurs.



L'analyse montre que l'Algérie a déjà franchi les premiers pas d'une transition vers les énergies renouvelables. Selon le modèle de phases MENA, l'Algérie peut être classée comme entrant dans la phase «Décollage des ER». Néanmoins, les énergies fossiles jouent toujours un rôle dominant dans le secteur énergétique algérien et dans l'économie en général. Pour accompagner le décollage des énergies renouvelables, un soutien fort est donc nécessaire à tous les niveaux. Ce n'est qu'alors que les conditions-cadres nécessaires pourront être créées pour encourager la participation et attirer les investissements du secteur privé. Pour cela, il convient de développer une stratégie énergétique à long terme qui prend en compte le potentiel des énergies renouvelables pour accompagner une transformation efficace de l'approvisionnement énergétique algérien et permettre une transition en douceur.



Avec les efforts mondiaux de décarbonisation en cours et l'évolution attendue de la demande des consommateurs du monde entier en faveur des carburants durables, l'Algérie serait bien avisée de s'engager le plus tôt possible sur une voie durable pour saisir les opportunités économiques et éviter les effets de verrouillage technologique et les investissements bloqués dans le secteur des combustibles fossiles. Les résultats de l'analyse selon le modèle de la phase de transition vers une énergie 100% renouvelable visent à stimuler et à soutenir la discussion sur le futur système énergétique de l'Algérie en fournissant une vision d'orientation globale pour la transition énergétique et le développement de politiques appropriées.

Plus d'information sous ce lien :

<https://algeria.fes.de>

<https://mena.fes.de/fr/projets/climat-et-energie>

CHANGEMENT CLIMATIQUE, ÉNERGIE ET ENVIRONNEMENT

LE SYSTÈME ÉNERGÉTIQUE DE L'ALGÉRIE

Développement d'un modèle de phases
pour une transformation durable

Table des matières

1	INTRODUCTION	2
2	MODÈLE CONCEPTUEL	4
2.1	Les modèles de phases originaux	4
2.2	La perspective à plusieurs niveaux et les trois étapes de transition	
2.3	Ajouts dans le modèle de phases « MENA »	6
3	LE MODÈLE DE PHASES « MENA »	8
3.1	Caractéristiques spécifiques de la région MENA	8
3.2	Adaptation du modèle hypothèses selon les caractéristiques des pays de la région MENA	9
3.3	Phases de transition énergétique dans les pays de la région MENA	9
3.4	Transfert du modèle de phases au cas de l'Algérie	11
3.5	Collecte de données	11
4	APPLICATION DU MODÈLE À L'ALGÉRIE	15
4.1	Catégorisation de la transformation du système énergétique en Algérie selon le modèle de phases	15
4.2	Perspectives pour les prochaines phases du processus de transition	32
5	CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	35
	Bibliographie	36
	Liste des abréviations	38
	Liste des unités de mesure	39
	Liste des tableaux	39
	Liste des figures	39

1

INTRODUCTION

La région du Moyen-Orient et de l'Afrique du Nord (MENA) est confrontée à de nombreux défis, notamment une population en croissance rapide, un ralentissement de la croissance économique, des taux de chômage élevés et des pressions environnementales importantes. Ces défis sont exacerbés par des problèmes mondiaux et régionaux, tels que le changement climatique. La région, déjà extrêmement vulnérable en raison de sa réalité géographique et écologique, sera plus affectée par les retombées néfastes du changement climatique. La sécheresse et les températures augmenteront dans ce qui est déjà l'une des régions du monde les plus soumises au stress hydrique. Étant donné qu'une grande partie de la population est concentrée dans les zones urbaines des régions côtières, les citoyens seront également plus vulnérables aux pénuries d'eau, aux tempêtes, aux inondations et aux hausses de température. Dans le secteur agricole, les effets du changement climatique devraient entraîner une baisse des niveaux de production, tandis que la demande alimentaire augmentera en raison de la croissance démographique et de l'évolution des modes de consommation. En outre, on note une accentuation du risque d'endommagement des infrastructures essentielles alors que les dépenses pour la réparation et la construction de nouvelles exercent une pression supplémentaire sur des ressources financières déjà limitées. Ces défis à plusieurs niveaux, résultant de l'interaction des aspects économiques, sociaux et climatiques, ne doivent pas être ignorés, car ils présentent de graves risques pour la prospérité et le développement économique et social et, partant, pour la stabilité de la région.

Les problèmes énergétiques sont au centre d'un grand nombre de ces défis. La région se caractérise par une forte dépendance au pétrole et au gaz naturel dans la couverture de ses besoins énergétiques. Bien qu'étant d'importants producteurs d'énergie, de nombreux pays de la région MENA ont du mal à répondre à la demande énergétique intérieure croissante. La transition vers des systèmes basés sur les énergies renouvelables représente donc une stratégie prometteuse pour ce qui est de répondre à cette demande. La transition contribuerait également à réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) dans le cadre de l'Accord de Paris. En outre, l'utilisation des énergies renouvelables serait à même de booster la croissance économique et l'emploi local et de réduire les contraintes fiscales.

Dans le contexte d'une demande énergétique en nette augmentation due à la croissance démographique, au changement de comportement des consommateurs, à l'urbanisation galopante et à d'autres facteurs - notamment l'industrialisation, le dessalement de l'eau et l'utilisation accrue de l'électricité pour le refroidissement - les énergies renouvelables gagnent en popularité dans la région MENA. Pour garantir la sécurité énergétique à long terme et pour atteindre les objectifs en matière de changement climatique, la plupart des pays de la région ont élaboré des plans ambitieux pour accroître leur production d'énergie renouvelable. Le potentiel important dont dispose la région pour la production d'énergie renouvelable, en particulier l'énergie éolienne et solaire, crée une double opportunité : produire une électricité presque neutre en CO₂ et stimuler la prospérité économique. Cependant, la plupart des pays de la région ont encore recours aux combustibles fossiles comme source dominante d'énergie, et la dépendance aux importations de combustibles fossiles dans certains pays très peuplés représente un risque en termes de sécurité énergétique et de dépenses budgétaires publiques.

Une transition vers un système basé sur les énergies renouvelables implique le déploiement à grande échelle d'une technologie spécifique, le développement d'infrastructures habilitantes, la mise en œuvre de cadres réglementaires appropriés et la création de nouveaux marchés et industries.

Par conséquent, une compréhension approfondie des interdépendances sociotechniques dans le système énergétique et de la dynamique principale de l'innovation du système est cruciale, et une vision claire de l'objectif et de l'orientation du processus de transformation facilite le changement fondamental visé (Weber et Rohrer, 2012). Une meilleure compréhension des processus de transition peut ainsi soutenir un dialogue constructif sur les développements futurs du système énergétique dans la région MENA. Elle peut également permettre aux parties prenantes de développer des stratégies de transition vers un système basé sur les énergies renouvelables.

Pour renforcer cette approche, un modèle de phases pour les transitions énergétiques basées sur les énergies renouvelables dans les pays de la région MENA a été

développé. Ce modèle structure le processus de transition au fil du temps à travers un ensemble d'étapes. Il s'appuie sur le modèle allemand, complété par des informations sur la gouvernance de transition et les caractéristiques de la région MENA. Les phases sont définies en fonction des principaux éléments et processus qui façonnent chacune d'elles, ainsi que la mise en évidence de leurs différences qualitatives. Dans chaque phase, l'accent est mis sur le développement technologique. En même temps, des informations sur les évolutions interdépendantes des marchés, des infrastructures et de la société sont fournies. Des informations complémentaires issues du domaine de la recherche sur le développement durable offrent un soutien supplémentaire à la gouvernance du changement à long terme des systèmes énergétiques au cours des différentes phases. Par conséquent, le modèle de phases favorise une vue d'ensemble d'un processus de transition complexe et facilite le développement précoce de stratégies et d'instruments politiques en fonction des exigences des différentes phases qui se combinent pour former la vision directrice globale.

Dans cette étude, le modèle de phases MENA est appliqué au cas de l'Algérie. L'état actuel du développement dans le pays est évalué et analysé en fonction de ce modèle. Des entretiens d'experts ont été menés afin de préciser les composants abstraits du modèle préalablement défini. En guise de résultat, d'autres étapes de la transition énergétique (sur la base du modèle de phases) sont proposées. Cette application est fondée sur les résultats d'études et de projets antérieurs dans la région MENA, tandis que les données spécifiques aux études de cas ont été collectées pour cette étude par des partenaires locaux et l'experte en la matière, Zineb Mechiche.

2

MODÈLE CONCEPTUEL¹

2.1 LES MODÈLES DE PHASE ORIGINAUX

Le modèle de phases pour les transitions vers des systèmes énergétiques à faible émission de carbone basés sur les énergies renouvelables dans les pays de la région MENA a été développé par Fishedick et al. (2020). Il s'appuie sur les modèles de phases pour la transformation du système énergétique allemand de Fishedick et al. (2014) et Henning et al. (2015). Ce dernier a développé un modèle en quatre phases pour transformer le système énergétique allemand en un système décarbonisé basé sur les énergies renouvelables. Les quatre phases des modèles sont en corrélation avec les principales hypothèses déduites des caractéristiques fondamentales des sources d'énergie renouvelables, désignées comme suit : « Décollage Energies Renouvelables (ER) », « Intégration de Systèmes », « énergie-à-carburant/Gaz », et « Vers 100% Renouvelables ».

Les études des scénarios énergétiques prévoient qu'à l'avenir, la plupart des pays, notamment ceux de la région MENA, produiront de l'électricité principalement à partir de sources éoliennes et solaires. On s'attend à ce que d'autres sources telles que la biomasse et l'hydroélectricité soient limitées en raison de la conservation naturelle, du manque de disponibilité et de la concurrence avec d'autres utilisations (BP, 2018 ; AIE, 2017). Par conséquent, une hypothèse de base du modèle de phases est l'augmentation significative de l'énergie éolienne et solaire dans le mix énergétique. Cela comprend l'utilisation directe de l'électricité dans les secteurs d'utilisation finale qui dépendent principalement pour l'heure des combustibles fossiles et du gaz naturel. La mobilité électrique dans le secteur des transports et les pompes à chaleur dans le secteur du bâtiment devraient jouer un rôle crucial. Les secteurs qui sont technologiquement difficiles à décarboniser comprennent l'aviation, la marine, les véhicules lourds et la chaleur à haute température pour l'industrie. Dans ces secteurs, l'hydrogène ou les carburants et gaz synthétiques à base d'hydrogène (PtF /G) peuvent

remplacer les combustibles fossiles et le gaz naturel. L'hydrogène nécessaire peut être obtenu à partir d'électricité renouvelable par électrolyse.

Il convient de mettre fortement l'accent sur l'adaptation de l'infrastructure électrique, car l'injection et l'extraction d'électricité (en particulier à partir d'énergies renouvelables volatiles) doivent être équilibrées pour maintenir la stabilité du réseau. Ainsi, il est primordial de synchroniser la production et la demande d'énergie ou a fortiori mettre en œuvre des options de stockage. Le stockage de l'électricité est cependant un défi pour la plupart des pays, et le potentiel reste limité en raison des conditions géographiques. Par conséquent, une combinaison d'options flexibles qui correspond à l'offre variable des centrales éoliennes et solaires avec la demande d'électricité doit être obtenue en étendant les réseaux et en augmentant la flexibilité de la production, du stockage ou de la gestion de la demande d'énergie résiduelle à base de fossiles. En outre, le développement des technologies de l'information et de la communication (TIC) peut soutenir la gestion de la flexibilité. En utilisant des applications PtF / G (énergie-à-carburant/gaz), différents secteurs peuvent être jumelés plus étroitement. Cela implique d'adapter les réglementations, les infrastructures et les accommodations dans une nouvelle conception du marché. La demande d'électricité étant quatre à cinq fois plus élevée dans un système énergétique à faible émission de carbone basé sur les énergies renouvelables, l'amélioration de l'efficacité énergétique est une condition préalable à une transition énergétique réussie. Suivre le principe de « l'efficacité énergétique d'abord » implique de traiter l'efficacité énergétique comme un élément clé des futures infrastructures énergétiques et, par conséquent, la considérer parallèlement à d'autres options, telles que les énergies renouvelables, la sécurité d'approvisionnement et l'interconnectivité (Commission européenne DG Énergie, 2019).

Le modèle de phases décrit ces interdépendances sociotechniques des développements, qui se construisent les uns sur les autres dans un ordre temporel. Les quatre phases sont cruciales pour parvenir à un système énergétique entièrement renouvelable. Dans la première

¹ Ce texte est basé sur Holtz et al. (2018).

phase, des technologies d'énergie renouvelable sont développées et introduites sur le marché. Les réductions de coûts sont obtenues grâce à des programmes de recherche et de développement (R&D) et à des politiques de première introduction sur le marché. Dans la seconde phase, des mesures dédiées à l'intégration de l'électricité renouvelable dans le système énergétique sont introduites. Il s'agit notamment de la flexibilité de la production d'énergie fossile résiduelle, du développement et de l'intégration du stockage et de l'activation de la flexibilité du côté de la demande. Dans la troisième phase, le stockage à long-terme de l'électricité renouvelable pour équilibrer les périodes où l'offre dépasse la demande est essentiel. Cela augmente encore la part des énergies renouvelables. Les applications PtF/G (Alimentation-à-carburant/gaz) deviennent des parties intégrantes du système énergétique à ce stade, et les importations de vecteurs énergétiques renouvelables gagnent en importance. Dans la quatrième phase, les énergies renouvelables remplacent entièrement les combustibles fossiles dans tous les secteurs. Toutes les phases doivent se connecter progressivement pour atteindre l'objectif d'un système énergétique 100% renouvelable. Pour décrire les changements à long-terme des systèmes énergétiques au cours de ces quatre phases, le modèle est complété par des informations issues du domaine de la recherche sur la transition durable. Ces recherches portent sur la dynamique des changements fondamentaux à long-terme dans les sous-systèmes sociétaux, tel que le système énergétique.

2.2 LA PERSPECTIVE À PLUSIEURS NIVEAUX ET LES TROIS ÉTAPES DE TRANSITION

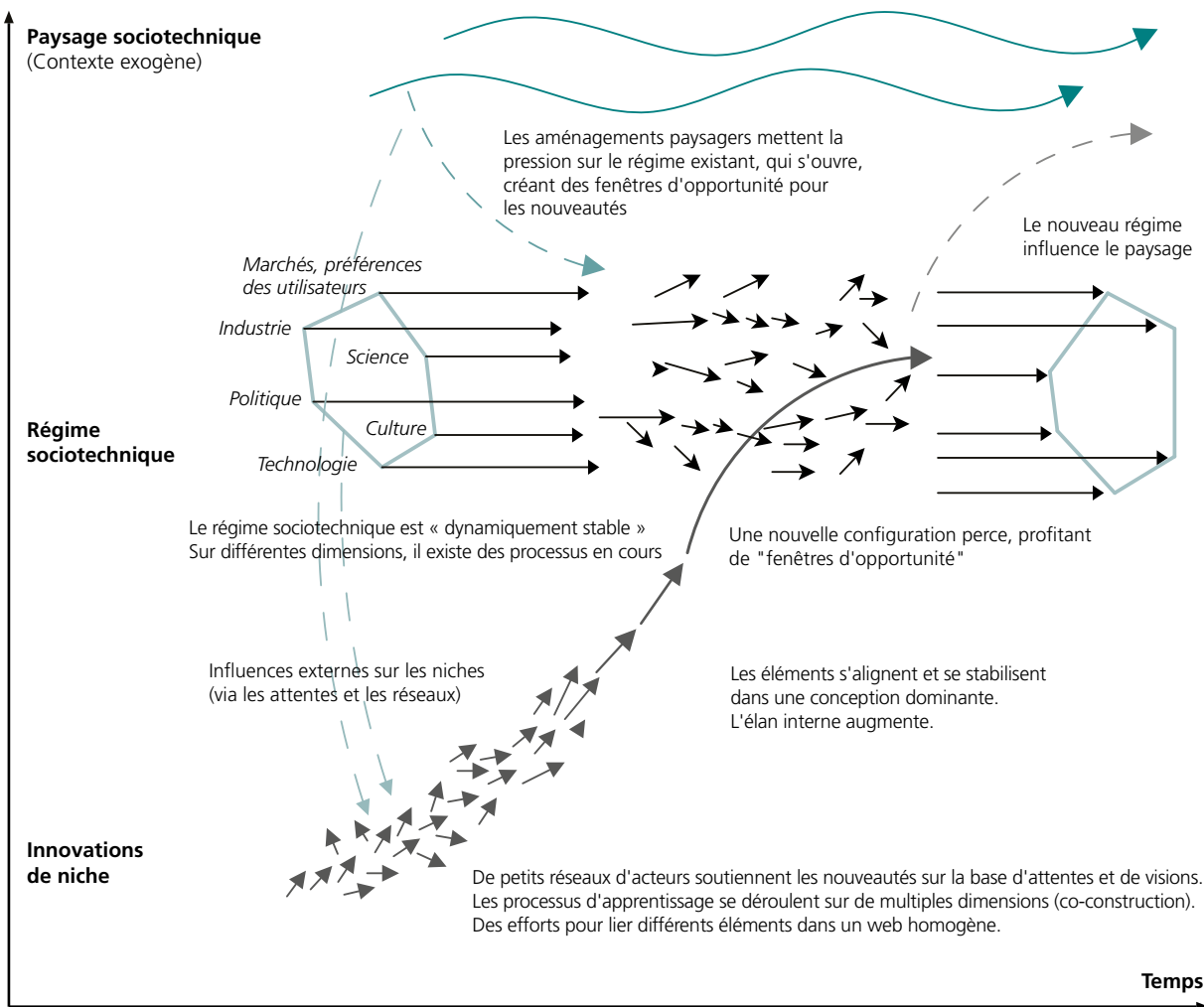
Les transitions énergétiques ne peuvent pas être complètement pilotées, ni totalement prévisibles. L'implication de nombreux acteurs et processus crée un niveau élevé d'interdépendance et d'incertitude autour des développements technologiques, économiques et socioculturels. En raison de l'interdépendance des processus et des dimensions, la recherche sur la transition applique généralement des approches interdisciplinaires. La perspective multi-niveaux (PMN) est un cadre de premier plan qui facilite la conceptualisation des dynamiques de transition et fournit une base pour le développement de mesures de gouvernance (Fig. 2-1).

Sur le plan du « paysage », des tendances omniprésentes telles que les changements démographiques, le changement climatique et les crises économiques affectent le niveau du « régime » et de la « niche ». Le niveau « régime » capture le système sociotechnique qui domine le secteur d'intérêt. Dans cette étude, le régime

est le secteur de l'énergie. Il comprend les technologies existantes, les réglementations, les modèles d'utilisateurs, l'infrastructure et les discours culturels qui se combinent pour former des systèmes sociotechniques. Pour réaliser des changements de système au niveau « Régime » et éviter les dépendances de verrouillage et de cheminement, les innovations au niveau de la « niche » sont incrémentielles car elles fournissent la base fondamentale du changement systémique. Les niches se développent dans des espaces protégés tels que les laboratoires de R&D (Recherches & Développement) et gagnent du terrain lorsque les visions et les attentes deviennent plus largement acceptées. Par conséquent, les structures d'acteurs-réseaux qui ont le pouvoir de diffuser les connaissances et de changer les valeurs sociétales sont d'une importance capitale pour le processus de transition (Geels, 2012). Cet article introduit une approche sociotechnique qui va au-delà de la correction technologique ou du changement de comportement. Les transitions systémiques impliquent une coévolution et des interactions multidimensionnelles entre l'industrie, la technologie, les marchés, les politiques, la culture et la société civile. Une perspective à plusieurs niveaux.

La gouvernance des transitions nécessite l'expérimentation et l'apprentissage, un suivi continu, la réflexivité, l'adaptabilité et la coordination des politiques à différents niveaux et secteurs (Hoogma et al., 2005 ; Loorbach, 2007; Voß et al., 2009; Weber et Rohracher, 2012). Le développement de niches dans le cadre du « management stratégique des niches » est une condition préalable essentielle à un changement fondamental. Dans les phases de transition, trois étapes avec des approches politiques associées peuvent être distinguées : « la formation de niche », « la percée », et les développements du paysage mettent la pression sur le régime existant, qui s'ouvre, créant une multitude d'opportunités pour les percées. Au sein des phases de transition, trois étapes avec des approches politiques associées peuvent être distinguées : « formation de niche », « percée » et « croissance basée sur le marché ». Au sein des phases de transition, trois étapes avec des approches politiques associées peuvent être distinguées : « formation de niche », « percée » et « croissance basée sur le marché ». Au stade de la « formation de la niche », cette dernière se développe et mûrit, et peut offrir des solutions absorbables par le régime. À ce stade, les attentes et les visions qui orientent les processus d'apprentissage sont essentielles. En outre, la participation des acteurs et les réseaux sociaux peuvent soutenir la création des chaînes de valeurs nécessaires et les processus d'apprentissage à différents niveaux ont le potentiel de faire progresser la technologie.

Figure 2-1

La perspective à plusieurs niveaux

Source : Geels et Schot, 2007

Dans la phase de « percée », l'innovation de niche se propage par les acteurs impliqués, la part de marché et la réplcation dans d'autres lieux. À ce stade, l'amélioration du rapport qualité-prix est importante et l'accès aux infrastructures et aux marchés nécessaires doit être ouvert. La modification des règles et de la législation ainsi que l'augmentation de la sensibilisation et de l'acceptation de la société servent à réduire les obstacles au déploiement. Lorsque l'innovation de niche devient pleinement compétitive en termes de prix et que des mécanismes politiques de soutiens spécifiques ne sont plus nécessaires, le stade de « croissance basée sur le marché » est atteint. Les technologies des énergies renouvelables sont, à ce stade, pleinement intégrées dans le système.

2.3 AJOUTS DANS LE MODÈLE DE PHASES « MENA »

Dans l'hypothèse où le modèle de phases de la transition énergétique allemande de Fischedick et al. (2014) et

Henning et al. (2015) est pertinent pour les pays de la région MENA, les quatre phases de transition restent les mêmes. La « couche système », qui a été adoptée à partir des modèles de phases originaux, fournit des objectifs clairs pour le développement du système en orientant les lignes directrices pour les décideurs. Étant donné que des processus de formation de puissance avec succès des innovations de niche, une couche « niche » a été ajoutée au modèle de phases original par Fischedick et al. (2020). Un groupe spécifique d'innovations a été identifié pour chaque phase : technologies d'énergies renouvelables (phase 1), options de flexibilité (phase 2), technologies alimentation-à-carburant/gaz (phase 3) et les secteurs comme l'industrie lourde ou l'aviation qui sont difficiles à décarboniser (phase 4). Dans sa phase de percée, chaque pôle d'innovation dépend du processus de formation de niche de la phase précédente. Par conséquent, des mesures spécifiques de gouvernance soutiennent les processus de percée et de la montée en puissance dans la phase actuelle. Dans les

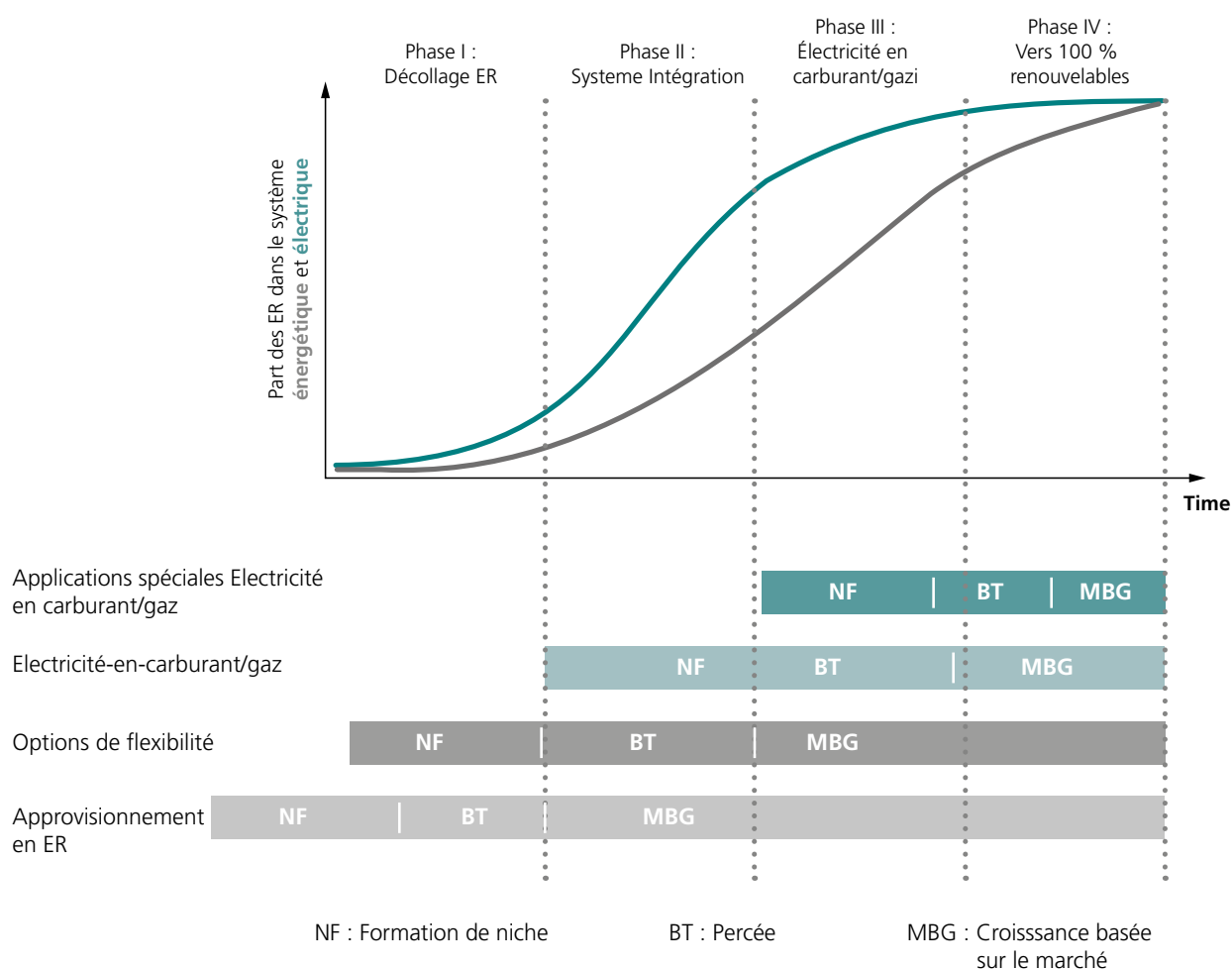
phases ultérieures, les pôles d'innovation continuent de se répandre grâce à une croissance basée sur le marché (Fischedick et al., 2020). Par conséquent, l'ajout de la « couche de niche » met davantage l'accent sur les processus qui doivent se produire pour atteindre les objectifs du système.

L'évolution du déploiement des technologies sur les marchés est décrite dans une « couche technico-économique », tandis que les étapes de la gouvernance sont saisies dans la « couche de gouvernance ». L'objectif de cette couche est de relier les développements de la couche technico-économique aux approches de gouvernance pour soutenir les phases de transition. Des mesures spécifiques mettant fortement l'accent sur la construction d'un système énergétique basé sur les énergies renouvelables sont incluses dans le modèle de phases. Des facteurs tels que les capacités, les infrastructures, les marchés et la déstabilisation du régime actuel basé sur les combustibles fossiles ont également été

ajoutés au modèle. Cependant, ces aspects servent de réflexivité sur la gouvernance et doivent être individuellement évalués et adaptés pour chaque pays de la région MENA.

Cette étude porte une attention particulière au niveau du « paysage » et à son rôle dans la mise sous pression des régimes existants et la création d'opportunités de changement de système. Les questions concernant l'influence des plans internationaux sur le changement climatique, les conflits mondiaux et régionaux et les impacts à long terme de la pandémie de COVID-19 sur les processus de transition sont abordées dans les études de cas de chaque pays. En plus de se concentrer sur la nécessité d'améliorer continuellement l'efficacité énergétique à travers toutes les phases, le modèle est élargi selon l'efficacité des ressources. Cela suppose la réduction continue de l'intensité matérielle grâce à des mesures d'efficacité et à des principes d'économie circulaire.

Figure 2-2
Modèle de phases de transition pour la région MENA



Source : Holtz et al., 2018

3

LE MODÈLE DE PHASES « MENA »

3.1 CARACTÉRISTIQUES SPÉCIFIQUES DE LA RÉGION MENA

Le modèle de phases original a été développé pour le contexte allemand ; ce qui signifie que des hypothèses particulières ont été formulées. Le contexte de la région MENA étant différent, les hypothèses fondamentales du modèle de phases ont été adaptées aux caractéristiques des pays de la région. Fischedick et coll. (2020) ont souligné les différences et décrit les adaptations du modèle de phases « MENA » qui, dans cette étude, sert de point de départ pour le transfert de modèle à chaque pays séparément.

L'une des différences est la situation énergétique actuelle dans la région MENA, qui varie d'un pays à l'autre. Plusieurs pays, dont l'Irak, sont riches en combustibles fossiles. D'autres, comme le Maroc, la Tunisie et la Jordanie, sont fortement dépendants des importations d'énergie. En outre, les prix subventionnés de l'énergie, ainsi que les marchés de l'énergie non libéralisés, présentent d'autres défis pour la transition énergétique dans de nombreux pays de la région MENA (IRENA, 2014).

Une autre différence fondamentale avec le contexte allemand est la tendance croissante de la demande d'énergie dans la région MENA. Selon BP (2019), le Moyen-Orient sera confronté à une augmentation annuelle de la demande d'énergie d'environ 2% jusqu'en 2040. Les secteurs de l'énergie, des transports, de l'industrie et des produits non brûlés sont principalement responsables de la forte augmentation de la consommation finale d'énergie. Un autre facteur contributif est la croissance démographique, qui devrait encore augmenter en particulier en Égypte et en Irak (Mirkin, 2010). En outre, les industries à forte intensité énergétique, notamment l'acier, le ciment et la chimie, représentent une part substantielle de la demande d'énergie. Cette dernière augmente en raison de l'installation et de l'expansion des capacités de dessalement d'eau de mer dans la plupart des pays de la région MENA : la demande d'électricité pour le dessalement devrait tripler d'ici 2030 par rapport au niveau de 2007 (AIE-ETSAP et IRENA, 2012). En outre, l'intensité énergétique dans de nombreux pays de la

région est élevée, en raison de la faible qualité de l'isolation des bâtiments, de l'inefficacité technique des technologies de refroidissement et de chauffage et des infrastructures de distribution. Les pertes d'électricité dans la distribution sont comprises entre 11% et 15% dans les pays stables de la région contre 4% en Allemagne (Banque mondiale, 2019).

Bien que la région MENA bénéficie d'importantes ressources d'énergie renouvelable, une grande partie du potentiel économique de ces énergies reste inexploité. Or, en exploitant ce potentiel, la plupart des pays pourraient devenir autosuffisants en matière d'énergie, et ils pourraient à terme devenir des exportateurs nets d'énergies renouvelables. Alors que les importations d'énergie et d'hydrogène deviennent un pilier important de la stratégie énergétique de l'Europe (Commission européenne, 2020), les pays de la région MENA pourraient bénéficier des marchés émergents des carburants synthétiques et tirer profit des exportations de vecteurs énergétiques vers les pays voisins en Europe. À cet égard, certains pays de la région MENA dotés d'une infrastructure pour le pétrole et le gaz pourraient s'appuyer sur leur expérience dans la gestion du gaz et des carburants liquides. Grâce au soutien des technologies Power-to-X (PtX), ces pays exportateurs d'énergie pourraient passer graduellement d'une phase de combustibles fossiles à un système basé sur les énergies renouvelables. Cependant, pour atteindre cet objectif, l'infrastructure devrait être modernisée à grande échelle pour le transport et le stockage. Pour d'autres pays de la région, l'exploitation de leur potentiel d'énergie renouvelable lors d'une phase de transition ultérieure pour exporter des produits PtX pourrait présenter de nouvelles opportunités économiques.

L'autre différence réside dans le fait que le réseau électrique en Allemagne est pleinement développé, alors que la plupart des pays de la région MENA ont des systèmes de réseau qui doivent être étendus, développés au niveau national et connectés au-delà des frontières. Des interconnexions physiques existent, mais elles se situent principalement dans des clusters régionaux (Banque mondiale, 2013). Par conséquent, la région ne dispose pas du cadre nécessaire au commerce de l'électricité. De plus, des codes de réseau

techniques devraient être élaborés pour intégrer les énergies renouvelables et équilibrer leur variabilité. En outre, comme il existe peu de normes pour le photovoltaïque et l'éolien, des réglementations claires devraient être établies pour permettre l'accès au réseau.

Les pays de la région MENA pourraient bénéficier considérablement des progrès mondiaux dans le domaine des technologies des énergies renouvelables. L'expérience mondiale dans le déploiement de cette technologie ajoute à la courbe d'apprentissage, ce qui a entraîné des réductions de coûts. Dans ce contexte, les coûts des modules PV (photovoltaïques) ont baissé d'environ 80% depuis 2010, et les prix des éoliennes ont baissé de 30% à 40% depuis 2009 (IRENA, 2019). Alors que le modèle de phases pour le contexte allemand suppose que les technologies d'énergie renouvelable ont besoin de temps pour mûrir, le modèle de phases pour le contexte MENA peut inclure des réductions de coûts. Il existe déjà par ailleurs un vaste réseau d'acteurs d'entreprises qui fournissent une expertise dans le domaine des technologies des énergies renouvelables.

Les systèmes énergétiques de la région sont dans une phase de développement ; les énergies renouvelables sont attrayantes car elles assurent la durabilité et la sécurité énergétique. En outre, elles ont le potentiel de stimuler la prospérité économique. Cependant, les conditions de développement des industries des énergies renouvelables sont faibles en raison du manque de cadres de soutien à l'esprit d'entreprise et à l'innovation technologique. Alors qu'en Allemagne, les acteurs privés jouent un rôle majeur dans les petites centrales photovoltaïques et éoliennes, les entreprises publiques de la région MENA sont au cœur des projets à grande échelle. La mobilisation de capitaux est un facteur supplémentaire important qui exigerait des stratégies spécifiques.

3.2 ADAPTATION DU MODÈLE HYPOTHÈSES SELON LES CARACTÉRISTIQUES DES PAYS DE LA REGION MENA

Les étapes du modèle de phases original doivent être adaptées pour correspondre aux caractéristiques de la région MENA. Basé sur Fishedick et al. (2020), des modifications ont été apportées au modèle d'origine dans les quatre phases et leur description temporelle. De plus, la description de la « couche système » est complétée par un accent plus marqué mis sur la déstabilisation du régime, et la « couche de niche » est mise en évidence dans chaque phase pour préparer la phase suivante.

Afin de répondre à l'augmentation attendue de la demande globale d'énergie, le volume d'énergies renouvelables dans les phases 1 et 2 augmente considérablement sans compromettre l'activité existante des industries qui fournissent des combustibles fossiles et du gaz naturel. Le

réseau des pays MENA est limité dans sa capacité à tenir compte de la part croissante des énergies renouvelables ; ce qui se traduit par une plus grande importance accordée à la modernisation et à l'expansion du réseau au cours de la phase 1. De plus, la phase 2 doit commencer plus tôt que dans le cas allemand, et le développement dans certains pays pourrait exiger davantage d'attention portée aux solutions pour les applications hors réseaux et les petites grilles isolées. La demande intérieure croissante d'énergie dans les pays de la région MENA pourrait être satisfaite par des énergies renouvelables et des vecteurs énergétiques, tels que les carburants et les gaz synthétiques. Alors qu'en Allemagne les importations jouent un rôle considérable dans les phases ultérieures (en phase 3 en particulier), l'énergie excédentaire dans les pays de la région MENA pourrait être exportée et offrir des opportunités économiques potentielles en phase 4.

La compétitivité mondiale croissante des énergies renouvelables offre l'opportunité d'accélérer les étapes de formation de la niche dans toutes les phases de transition. Cependant, les processus de formation de niche devraient être intégrés dans les stratégies nationales. Des institutions destinées à soutenir les développements de niche devraient être créées et adaptées au contexte du pays.

3.3 PHASES DE TRANSITION ÉNERGÉTIQUE DANS LES PAYS DE LA REGION MENA

L'Institut de Wuppertal en Allemagne a développé le modèle de phases pour les pays MENA basé sur le modèle allemand et l'expérience acquise au cours du projet de développement d'un modèle de phases pour la catégorisation et le soutien de la transformation durable des systèmes énergétiques dans la région MENA, qui a été soutenu par la fondation Friedrich Ebert (Holtz et al., 2018; Fishedick et al., 2020). Les phases pour la région MENA sont présentées en détail dans leurs dimensions basées sur l'offre, la demande, les infrastructures, les marchés et la société. La perspective multidimensionnelle de la recherche sur les transitions se reflète dans ces couches, mettant en évidence l'interrelation de ces dimensions lors des phases de transition. Le tableau 3-1 résume les principales évolutions aux niveaux « techno-économique » et « gouvernance », ainsi qu'aux niveaux « paysage », « système » et « niche » au cours des quatre phases.

Les capacités d'approvisionnement en électricité renouvelable sont étendues tout au long des phases pour répondre à la demande croissante d'énergie de tous les secteurs. Une hypothèse cruciale consiste en la nécessité d'augmenter considérablement l'efficacité énergétique dans toutes les phases. Les développements des phases 3 et 4 dépendent de nombreux développements technologiques, politiques et sociétaux et, par conséquent, comportent de fortes incertitudes dans la perspective actuelle.

De plus, une analyse plus détaillée de l'influence du niveau « paysage » a été menée. On suppose que les facteurs suivants auraient un impact sur toutes les phases : I) les accords internationaux sur le changement climatique ; II) les efforts de décarbonisation des pays industrialisés, notamment les programmes de relance verte après la pandémie de COVID-19 ; III) les conflits mondiaux et régionaux (affectant le commerce) ; IV) les impacts à long-terme de la pandémie de COVID-19 sur l'économie mondiale ; V) les conditions géographiques et la répartition des ressources naturelles ; et VI) le développement démographique.

Phase 1 - « Décollage des Energies renouvelables »

L'électricité renouvelable est déjà introduite dans le système électrique avant que la première phase, « Décollage des ER », ne soit atteinte. Les évolutions au niveau de la « niche », telles que l'évaluation du potentiel régional, les projets pilotes locaux, la constitution de réseaux d'acteurs, le partage des compétences et des connaissances sur le système énergétique domestique, sont les premiers indicateurs de la diffusion. Au cours de cette étape de pré-phase, des visions et des attentes pour l'expansion de la production d'énergie à base d'énergies renouvelables (ER) sont développées.

Dans la première phase, le développement caractéristique au niveau du système est l'introduction et l'augmentation initiale de l'énergie renouvelable, en particulier de l'électricité produite par les centrales photovoltaïques (PV) et éoliennes. Les pays de la région MENA pourraient largement bénéficier des technologies disponibles à l'échelle mondiale et des baisses des prix mondiaux en matière d'énergies renouvelables, ce qui faciliterait l'introduction sur le marché de l'énergie photovoltaïque et éolienne. La demande d'énergie dans la région augmentant considérablement, la part des énergies renouvelables entrant dans le système ne serait pas capable de remplacer les combustibles fossiles à ce stade. Pour accueillir des niveaux variables d'énergie renouvelable, le réseau doit être étendu et modernisé. Les lois et les règlements entrent en vigueur, visant à intégrer les énergies renouvelables dans le système énergétique et à permettre à l'électricité d'origine renouvelable d'entrer dans le réseau. L'introduction de systèmes de prix incitatifs à l'attention des investisseurs facilite le déploiement à grande échelle des énergies renouvelables et du PV décentralisé pour les ménages.

Les évolutions au niveau de la « niche » ouvrent la voie à la phase 2. Le potentiel régional des différentes options de flexibilité est évalué (par exemple : les possibilités de stockage par pompage et de gestion de la demande (DSM) dans l'industrie), et des visions sont développées qui abordent la question des options de flexibilité. À ce stade, le rôle du jumelage sectoriel (par exemple, mobilité électrique, électricité-chaleur) est discuté et les modèles commerciaux sont explorés. Les besoins de flexibilité attendus et le jumelage sectoriel jettent les bases des startups des technologies de l'information et de la communication (TIC) et de nouveaux modèles commerciaux numériques.

Phase 2 - « Intégration du système »

Dans la phase 2, l'expansion des énergies renouvelables se poursuit au niveau du « système », tandis que la croissance des marchés laisse encore place à la coexistence des énergies fossiles. L'extension du réseau se poursuit et des efforts pour établir des lignes électriques transfrontalières et transnationales sont déployés pour équilibrer les différences régionales en matière d'approvisionnements éolien et solaire. À ce stade, les potentiels de flexibilité (DSM, stockage) sont reconnus et la conception du marché de l'électricité est adaptée pour accueillir ces options. L'infrastructure TIC (technologie de l'information et de la communication) est entièrement intégrée au système énergétique (numérisation). Au niveau politique, les réglementations dans les secteurs de l'électricité, de la mobilité et du chauffage sont alignées pour offrir des conditions de concurrence équitables aux différents vecteurs énergétiques. L'électrification directe des applications dans les secteurs de la mobilité, de l'industrie et du réchauffement ajoute une flexibilité supplémentaire au système.

Les applications électricité-en-carburant/gaz (PtF/G) sont développées au niveau « niche » pour préparer le système à une percée en phase 3. Des projets pilotes testent l'application de carburants et de gaz synthétiques dans les conditions locales. L'hydrogène vert devrait remplacer les combustibles fossiles dans des secteurs tels que la production chimique. À court et moyen termes, la production de CO₂ issue du captage du carbone dans les industries à forte intensité énergétique est acceptable. À long terme, cependant, l'accent doit être mis sur la capture directe du carbone de l'air ou de la bioénergie pour garantir la neutralité carbone. Les réseaux d'acteurs créent et partagent des connaissances et des compétences dans le domaine de l'électricité-en-carburant/gaz (PtF/G). Sur la base d'une évaluation du potentiel des différentes routes de conversion de l'électricité-en-carburant/gaz (PtF/G), des stratégies et des plans de développement des infrastructures sont élaborés et des modèles commerciaux sont explorés.

Le lien eau-énergie est dûment pris en compte dans le cadre d'approches intégrées, car l'eau se raréfie encore en raison des conséquences du changement climatique. Cela pourrait entraîner des pénuries affectant le secteur de l'énergie ou la concurrence d'autres utilisations, telles que la production alimentaire.

Phase 3 - « Electricité-en-carburant/gaz (PtF/G) »

Au niveau du « système », la part des énergies renouvelables augmente dans le mix électrique, conduisant à une concurrence accrue entre les énergies renouvelables et les énergies fossiles et – temporairement – à des charges résiduelles élevées et négatives. La production d'hydrogène vert et de carburant synthétique devient plus compétitive en raison de la disponibilité d'une électricité à bas prix. L'électricité-en-carburant/gaz (PtF/G), soutenu par des réglementations comprenant des systèmes de tarification, entre sur le marché et absorbe des parts croissantes

d'énergies renouvelables « excédentaires » en période de forte offre. Les secteurs de la mobilité et des transports longue distance, en particulier, contribuent à une augmentation de l'application de l'Electricité-en-carburant/gaz (PtF/G). Ceci, à son tour, permet le remplacement des combustibles fossiles et du gaz naturel. Le développement des infrastructures hydroélectriques et la modernisation des infrastructures pétrolières et gazières existantes pour l'utilisation de carburants et de gaz synthétiques créent des installations d'approvisionnement renouvelables dédiées aux exportations internationales. Les réductions de prix et l'introduction de redevances et de taxes sur les combustibles fossiles ont non seulement une influence négative sur leurs conditions de marché, mais elles déclenchent également l'élimination progressive des combustibles fossiles. Ces évolutions stimulent des changements dans les modèles économiques. Les solutions électricité-en-carburant/gaz (PtF/G) assurant un stockage à long terme, des structures de marché d'exportation considérables peuvent être établies.

Au niveau de la « niche », l'expérimentation des applications électricité-en-carburant/gaz (PtF/G) joue un rôle essentiel dans des secteurs difficiles à décarboniser, comme l'industrie lourde (béton, chimie, acier), le transport lourd et le transport maritime. En outre, le potentiel d'exportation de l'hydrogène ainsi que des carburants et gaz synthétiques est étudié et évalué. Des réseaux d'acteurs sont établis, un apprentissage initial est acquis et des modèles commerciaux sont étudiés.

Phase 4 - « Vers 100% d'énergies renouvelables »

Les vecteurs énergétiques renouvelables remplacent progressivement les combustibles fossiles résiduels. Ces derniers sont graduellement éliminés et le PtF/G est pleinement développé en termes d'infrastructure et de modèles commerciaux. Le soutien aux énergies renouvelables n'étant plus nécessaire, les systèmes de soutien des prix sont progressivement supprimés. Les structures des marchés d'exportation sont élargies et constituent un secteur crucial de l'économie.

3.4 TRANSFERT DU MODÈLE DE PHASES AU CAS DE L'ALGÉRIE

Le modèle de phases MENA a été appliqué de manière exploratoire au cas de la Jordanie dans Holtz et al. (2018). Il a été discuté avec des décideurs politiques de haut rang, des représentants de la communauté scientifique, de l'industrie et de la société civile en Jordanie. Il s'est avéré être un outil efficace pour soutenir les discussions sur les stratégies et l'élaboration des politiques concernant la transition énergétique qui peut également être appliquée à d'autres pays de la région MENA. Par conséquent, le modèle de phases MENA a été appliqué au cas national de l'Algérie après que les adaptations nécessaires y ont été apportées. Les résultats illustrent une vue d'ensemble structurée des développements continus du système énergétique algérien. En outre, ils donnent un aperçu des prochaines étapes nécessaires pour transformer une transition vers un système basé sur les énergies renouvelables.

Afin de refléter les défis et opportunités spécifiques de la transition énergétique en Algérie, certaines adaptations à l'ensemble de critères du modèle de phases MENA ont également été apportées au niveau du paysage. Il s'agit notamment de facteurs tels que la pandémie de COVID-19 et les efforts mondiaux de décarbonisation à la lumière de l'Accord de Paris. Ces aspects ont déjà affecté ou affecteront les prix mondiaux du pétrole et du gaz et le développement du secteur. En outre, des détails sur le rôle dominant des combustibles fossiles dans le système énergétique et les défis connexes pour le développement du secteur des énergies renouvelables ont été évalués.

3.5 COLLECTE DE DONNÉES

Des informations détaillées sur l'état et les développements actuels des différentes dimensions (offre, demande, infrastructure, réseau d'acteurs et développement du marché) ont été compilées afin d'appliquer le modèle de phases aux situations nationales individuelles. Dans un premier temps, une revue complète de la littérature pertinente et des données disponibles a été réalisée.

Sur la base de l'évaluation et de l'analyse des données disponibles, des lacunes d'information ont été identifiées. Les informations manquantes ont été complétées à l'aide d'entretiens d'experts et de recherches sur place par des institutions partenaires locales. En outre, ces dernières ont aidé à identifier les défis et les obstacles spécifiques au pays qui pourraient entraver le déblocage du potentiel d'énergies renouvelables. Les personnes interrogées comprenaient des parties prenantes importantes ayant une expérience dans le secteur de l'énergie ou dans des secteurs connexes issus d'institutions politiques, d'universités et du secteur privé. Les entretiens avec des experts ont été menés conformément aux lignes directrices pour les entretiens structurés.

Les données quantitatives utilisées sont soit basées sur des sources secondaires, telles que les bases de données de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) et de l'Agence internationale pour les énergies renouvelables (AIER), soit calculées à l'aide des données disponibles pour identifier l'état actuel et les tendances futures.

Des entretiens d'experts ont été menés en Algérie par Zineb Mechiche pour enquêter sur les défis et les obstacles spécifiques au pays qui pourraient entraver le déblocage du potentiel d'énergies renouvelables. Les principaux partenaires de l'entretien étaient Solar Cluster - Algérie et Tewfik Hasni, ainsi que d'autres parties prenantes concernées ayant plusieurs années d'expérience dans le secteur de l'énergie en Algérie (institutions politiques, universités et secteur privé).

Tableau 3-1

Développement Durant les Phases de Transition

	Développement Avant la phase I	Phase I : " Décollage ER "	Phase II : " Intégration du système ER "	Phase III : " Électricité-en-carburant /Gaz (PtF/G " "	Phase IV : " Vers 100% ER "
	* La formation de niche ER	* Lancée RE * Option de flexibilité de formation de niche	* Croissance basée sur le marché ER * Option de flexibilité révolutionnaire * Formation de niche PtF/G	* Option de flexibilité de croissance basée sur le marché * Lancée des PtF/G * Application spécial PtF/G de formation de niche et exportations	* Croissance basée sur le marché PtF/G * Application et exportations révolutionnaire spéciales
Secteur d'énergies	Niveau paysage	* Plans et cadres internationaux sur le changement climatique * Efforts de décarbonisation des pays industrialisés (notamment les programmes de récupération écologique après la pandémie de COVID-19) * Conflits internationaux et régionaux (affectant le commerce) * Impacts à long terme de la pandémie de COVID-19 sur l'économie mondiale * Conditions géographiques et la distribution des ressources naturelles * Développement démographique			
	Niveau système	Couche Techno-économique	* Parts des ER dans le système énergétique environ 0%-20%	* Parts des ER dans le système énergétique environ 20%-50%	* Parts des ER dans le système énergétique environ 50%-80%
			* Introduction sur le marché des ER s'appuyant sur la disponibilité dans le monde et entraînée par la baisse des prix mondiaux	* Nouvelle extension du réseau (national et international)	* Extension du stockage à long terme (ex. stockage du gaz de synthèse)
			* Extension et modernisation du réseau électrique	* Les structures TIC s'intègrent aux systèmes énergétiques (ex. l'introduction des compteurs intelligents)	* La première infrastructure PtF/G est construite (répondant à la demande grandissante nationale et étrangère)
			* Réglementations et schémas de prix pour ER	* Entrée des options de flexibilités du système (ex. stockage sur batteries)	* Charges résiduelles négatives temporairement élevées en raison des parts élevées des ER
			* Développer et renforcer les chaînes d'approvisionnement national pour ER	* Électrification directe des applications dans le secteur du bâtiment, de la mobilité et de l'industrie ; évolution des modèles commerciaux dans ces secteurs(ex. pompes à chaleur, véhicules électriques, système de maison intelligente, commercialisation du délestage des charges industrielles)	* Elimination progressive des infrastructures de modèles commerciaux à combustible fossiles
			* Pas de remplacement des combustibles fossiles en raison de la croissance du marché	* Pas de remplacement (ou seulement un remplacement limité) des combustibles fossiles en raison de la croissance du marché	* Consolidation des modèles d'exportation basés sur ER
				* Développement et extension des mini-réseaux comme solution pour les applications hors-réseau et les sites éloignés	* Remplacement complet des combustibles fossiles par des ER
				* Augmentation des volumes des PtF/G dans le transport, en remplacement des combustibles fossiles et du gaz naturel	* Stabilisation des modèles commerciaux PtF/G et des capacités de production (ex. investissement à grande échelle)
				* Faire progresser la transition énergétique dans les secteurs d'utilisation finale(transports, industries et bâtiments)	
				* Faire progresser la transition énergétique dans le secteur de l'industrie, réduire la teneur élevée du carbone de certains produits et les émissions élevées de certains procédés	

			Développement Avant la phase I	Phase I : " Décollage ER "	Phase II : " Intégration du système ER "	Phase III : " Électricité-en-carburant /Gaz (PtF/G " "	Phase IV : " Vers 100% ER "
			* La formation de niche ER	* Lancée RE * Option de flexibilité de formation de niche	* Croissance basée sur le marché ER * Option de flexibilité révolutionnaire * Formation de niche PtF/G	* Option de flexibilité de croissance basée sur le marché * Lancée des PtF/G * Application spécial PtF/G de formation de niche et exportations	* Croissance basée sur le marché PtF/G * Application et exportations révolutionnaire spéciales
Secteur d'énergies	Niveau système	Couche de Gouvernance	* La reconnaissance fondamentale que l'efficacité énergétique est le deuxième pilier stratégique de la transformation du système énergétique	* Soutenir l'adoption des ER (ex. tarifs de rachat), mettre en place des réglementations et des barèmes de prix pour les ER	* Faire pression sur le régime électrique basé sur les combustibles fossiles (ex. réduction de subventions et tarification du carbone)	* Faire pression sur les composants du système qui contrecarrent la flexibilité (ex. éliminer progressivement les centrales électriques de base)	* Faire pression sur les combustibles fossiles (ex. éliminer la production)
				• Participation croissante des investisseurs institutionnels (fonds de pension, compagnies d'assurances , dotations et fonds souverains) à la transition	* Retrait du soutien aux ER (ex. élimination progressive des tarifs d'achat)	* Retrait du soutien aux options de flexibilité	* Retrait du soutien aux PtF/G
				* Sensibilisation croissante aux enjeux environnementaux	* Mesures pour réduire les effets secondaires involontaires des ER (le cas échéant)	* Mesures pour réduire les effets secondaires involontaires des options de flexibilité (le cas échéant)	* Mesures pour réduire les effets secondaires involontaires du PtF/G (le cas échéant)
				* Fournir un accès aux infrastructures et aux marchés pour les énergies renouvelables (ex. mettre en place des réglementations pour l'accès au réseau)	* Adaptation de la conception du marché pour tenir compte des options de flexibilité	* Mettre en place des réglementations et des schémas de prix (ex. transport, remplacement des combustibles fossiles et du gaz naturel)	* Accès aux infrastructures et aux marchés (ex. connecter les sites de productions aux pipelines)
				* Des efforts modérés pour accélérer les améliorations de l'efficacité	* Fournir un accès aux marchés pour des options de flexibilité (ex. l'adaptation de la conception du marché, l'alignement des réglementations relatives à l'électricité, mobilité et à la chaleur)	* Réduire les prix payés pour l'électricité à base de combustibles fossiles	* Soutenir l'adoption (ex. les subventions)
					* Soutenir la création et l'activation d'options de flexibilité (ex. tarifs pour le chargement bidirectionnel des véhicules électriques)	* Fournir l'accès aux infrastructures et marchés pour PtF/G (ex. des pipelines de modernisation pour le transport de gaz/carburant synthétiques)	
					* Faciliter le jumelage sectoriel entre les secteurs de l'électricité et de l'utilisation finale pour soutenir l'intégration des VRE dans le secteur de l'électricité	* Soutenir l'adoption des PtF/G (ex. exonération fiscale)	
					* Adaptation de la conception du marché pour tenir compte des options de flexibilité		
					* Investissements réalloués vers des solutions à carbones bas : part élevée d'investissement ER et réduction du risque d'actifs échoués		
					* Alignement des structures socio-économiques du système financier; des exigences plus large en matière de durabilité et de transition		
					* Faciliter le jumelage sectoriel entre les secteurs d'électricité et des utilisateurs finaux pour faciliter l'intégration des VRE dans le secteur de l'électricité		
					* Alignement des réglementations en matière d'électricité, de mobilité et de chaleur		

			Développement Avant la phase I	Phase I : " Décollage ER "	Phase II : " Intégration du système ER "	Phase III : " Électricité-en-carburant /Gaz (PtF/G) "	Phase IV : " Vers 100% ER "
			* La formation de niche ER	* Lancée RE * Option de flexibilité de formation de niche	* Croissance basée sur le marché ER * Option de flexibilité révolutionnaire * Formation de niche PtF/G	* Option de flexibilité de croissance basée sur le marché * lancée des PtF/G * Application spécial PtF/G de formation de niche et exportations	* Croissance basée sur le marché PtF/G * Application et exportations révolutionnaire spéciales
Secteur d'énergies	Niveau Niche	Couche Techno-économique	* Évaluation du potentiel des ER	* Évaluation des potentiels régionaux pour les différentes options de flexibilité	* Évaluation du potentiel des différentes voies de conversion PtF/G	* Expérimenter des applications PtF/G dans des secteurs tels que l'industrie (ex. les secteurs de l'acier, du ciment et de la chimie) et les transports spéciaux (l'aviation et le transport maritime)	
			* Projets pilotes locaux en ER	* Expérience avec des options de flexibilité	* Projets pilotes locaux avec génération de PtF/G basée sur l'hydrogène ER et la capture du carbone (ex. CCU/CCS)	* Investir dans l'exportation des modèles d'entreprises PtF/G	
				* Exploration des modèles commerciaux autour des options de flexibilité, y compris les startups TIC et les nouveaux modèles commerciaux numériques pour le jumelage sectoriel	* Exploration des modèles commerciaux de base PtF/G	* Exportations pilotes des carburants synthétiques	
					• Exploration de nouveaux potentiels DSM (ex. recharge intelligente, chauffage et refroidissement par pompes de chauffage flexible, stockage thermique alimenté par l'électricité)		
					* Puiser dans les expériences globales des PtF/G		
		Couche Gouvernance	* Développement de visions et d'attentes partagées pour le développement des ER	* Développement de visions et d'attentes pour l'intégration des marchés flexibles et des systèmes énergétiques (marchés énergétiques régionaux et transnationaux)	* Développement de visions et d'attentes partagées pour les PtF/G (ex. stratégie et plans pour le développement ou l'adaptation des structures)	* Développement de visions et d'attentes partagées pour les exportations électricité-en-carburant/gaz (par exemple, sur les marchés cibles et les emplacements pour les étapes de conversion)	
			* Soutenir le processus d'apprentissage autour des ER (ex. des projets locaux)	* Soutenir le processus d'apprentissage autour des options de flexibilité (ex. projets locaux)	* Soutenir le processus d'apprentissage autour des PtF/G (ex. projets locaux pour la génération des PtF/G, exploiter des expériences mondiales des PtF/G et exploration de modèles commerciaux basés sur PtF/G)	* Soutenir l'apprentissage des PtF/G dans des secteurs tels que l'industrie et les transports spéciaux (ex. des expériences d'utilisation des produits PtF/G pour la fusion du verre)	
			* Formation de réseaux d'acteurs liés aux ER (ex. des co-entreprises)	* Formation de réseaux d'acteurs autour de la flexibilité dans les secteurs de l'électricité, de la mobilité et du chauffage (ex. l'exploration de modèles commerciaux autour de la flexibilité y compris les startups TIC et les nouveaux modèles commerciaux numériques pour le jumelage sectoriel)	* Formation de réseaux d'acteurs autour des PtF/G (national and international)	* Soutenir l'apprentissage sur les exportations des PtF/G (ex. en ce qui concerne l'acceptation du marché et les réglementations commerciales)	
			• Engagement et implication communautaires (ex. initiatives citoyennes)	* Développement d'une base de connaissances partagée sur les voies de décarbonisation intégrées pour permettre l'alignement et la masse critique qui peuvent aider à déplacer l'ensemble du secteur		* Formation de réseaux d'acteurs pour la création de structures d'exportation de carburant synthétique à grande échelle (ex. producteurs, associations commerciales et marchés)	
	* Amélioration continue de l'efficacité énergétique						
	* Poursuivre la réduction de l'intensité matérielle grâce à des mesures d'efficacité et des principes d'économie circulaire						

Source : création personnelle

4

APPLICATION DU MODÈLE
À L'ALGÉRIE**Fiche descriptive**

Accord de Paris ratifié	✓
Stratégie de croissance verte	x
Objectifs d'énergies renouvelables fixés	✓
Politiques réglementaires pour les énergies renouvelables établies	✓
Stratégie d'efficacité énergétique existante	✓
Stratégie Electricité-en-X	x

4.1 CATÉGORISATION DE LA TRANSFORMATION DU SYSTÈME ÉNERGÉTIQUE EN ALGÉRIE SELON LE MODÈLE DE PHASES

Le système énergétique de l'Algérie dépend fortement des combustibles fossiles, car le pays dispose d'abondantes réserves de pétrole et de gaz. En tant que membre de l'Organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEP), l'Algérie est l'un des plus grands producteurs d'hydrocarbures au monde, utilisant plus de 90% de ses revenus d'hydrocarbures à l'exportation. Cependant, le pays dispose également d'un potentiel solaire important, car elle bénéficie de plus de 3000 heures d'ensoleillement par an et possède la plus grande superficie terrestre du continent. Ainsi, l'Algérie dispose du potentiel nécessaire pour devenir un acteur majeur du secteur des énergies renouvelables. Pourtant, actuellement, le pays exploite à peine ce potentiel et se trouve à la croisée des chemins pour le développement d'un futur système énergétique avec des visions concurrentes dans le paysage politique (Hochberg, 2020).

Dans le cadre de l'Accord de Paris, l'Algérie s'est engagée à réduire ses émissions de GES de 7% d'ici 2030 par rapport au scénario du statu quo (INDC-Algérie, 2015). Avec un soutien international, le pays pourrait même réduire ses émissions de GES de 22% d'ici 2030 (Darby, 2015). Cependant, malgré la formulation par l'Algérie d'objectifs ambitieux en matière d'énergies renouvelables et la mise en place d'un cadre réglementaire pour le déploiement des technologies idoines, la part actuelle des énergies renouvelables dans le mix énergétique global reste largement insuffisante ou presque insignifiante. La pandémie de COVID-19 a mis en évidence la grande vulnérabilité de

l'Algérie vis-à-vis des prix du marché mondial du pétrole et du gaz. La pandémie a également ralenti le rythme des plans de transition énergétique. Néanmoins, la crise pourrait constituer l'impulsion nécessaire pour introduire un changement fondamental et finalement donner la priorité aux investissements dans les énergies propres, même si cela dépendra des efforts et de la volonté des principaux décideurs politiques du pays.

Cette étude vise à soutenir la discussion sur le futur système énergétique de l'Algérie en fournissant une vision directrice globale pour la transition vers un système basé sur les énergies renouvelables. Afin d'aider à l'élaboration de stratégies politiques appropriées, l'état actuel de la transition énergétique de l'Algérie et les développements potentiels sont évalués en détail selon le modèle de phases proposé.

4.1.1 Évaluation de l'état actuel et des tendances aux niveaux du paysage et du système

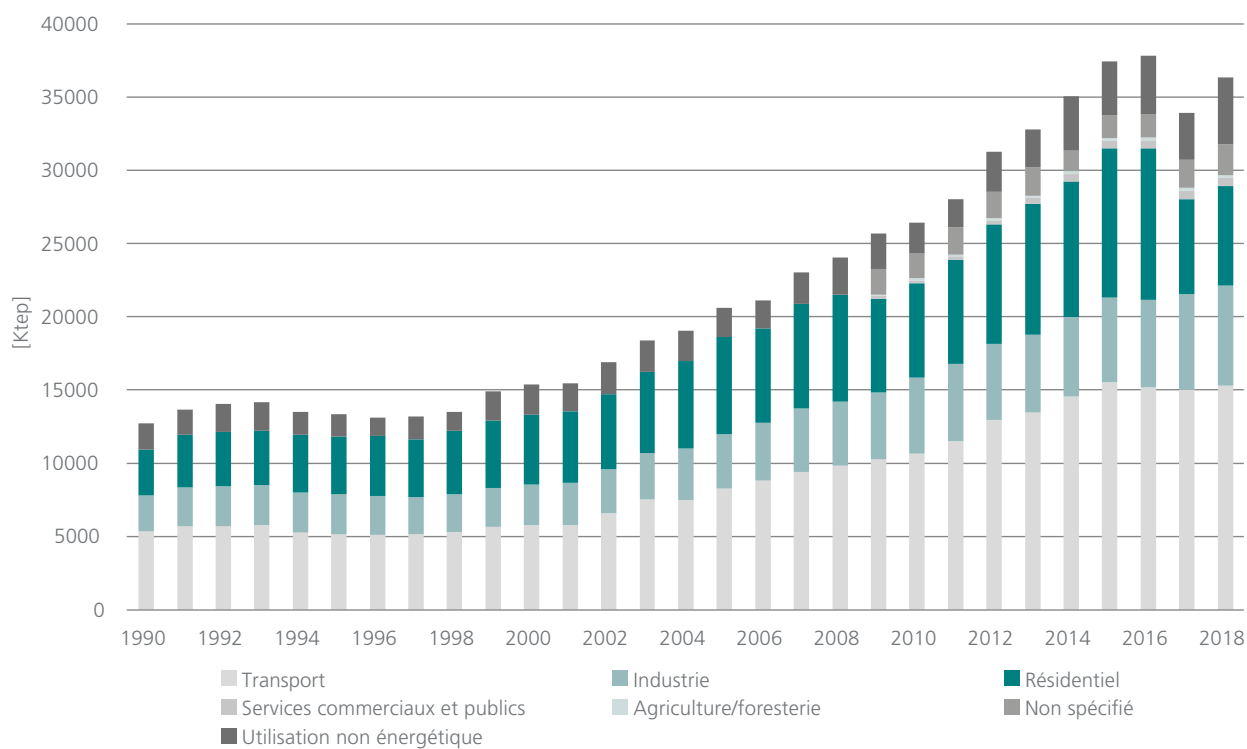
Cette section examine l'état actuel et les tendances du système énergétique de l'Algérie en termes d'offre, de demande, de secteur pétrolier et gazier, d'énergie renouvelable, d'infrastructure, de réseau d'acteurs et de développement du marché.

L'offre et la demande d'énergie

Les changements démographiques, le développement industriel et l'urbanisation sont tous des moteurs de la demande énergétique croissante de l'Algérie. En 2018, la consommation totale finale d'énergie s'élevait à 36 360 ktep (kilo tonnes d'équivalent en pétrole) (cf. AIE, 2020). Répartie par secteur, le transport a dominé la consommation d'énergie (42%), suivi des ménages et de l'industrie (19% chacun) et des autres secteurs (21%) (AIE, 2020) (Fig.4-1).

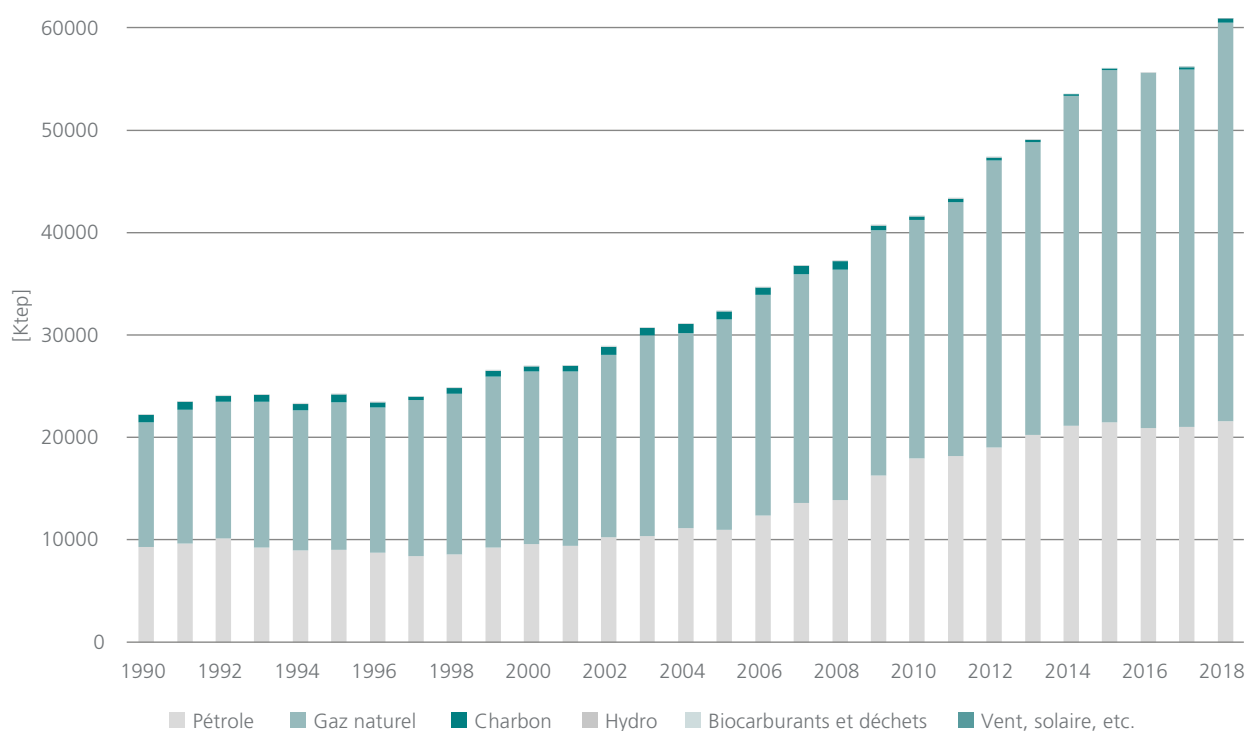
En 2018, le mix énergétique était dominé par les énergies fossiles (Fig.4-2), le gaz naturel représentant 63,8%, le pétrole 35,4% et le charbon 0,6%, tandis que les énergies renouvelables représentaient au total une part négligeable de 0,1%. (AIE, 2020).

Figure 4-1

Consommation totale d'énergie finale (en ktep), Algérie 1990-2018

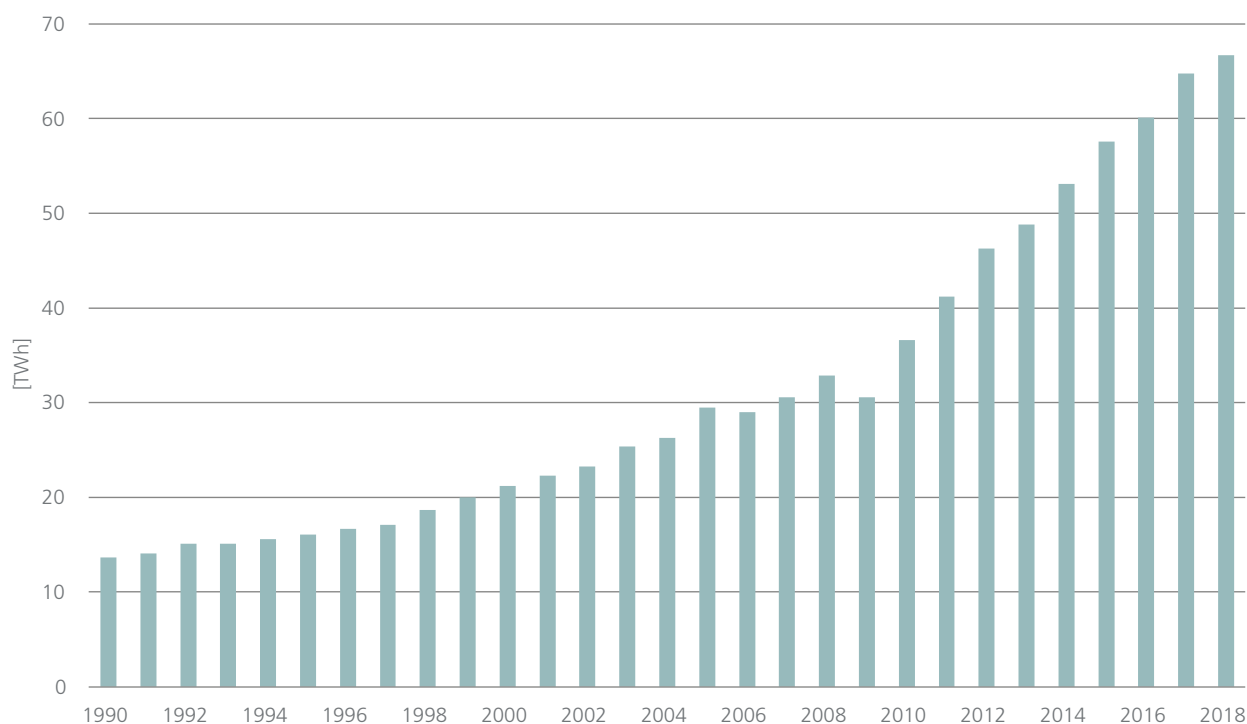
Source : données basées sur AIE, 2020a

Figure 4-2

Consommation totale d'énergie finale (en ktep), Algérie 1990-2018

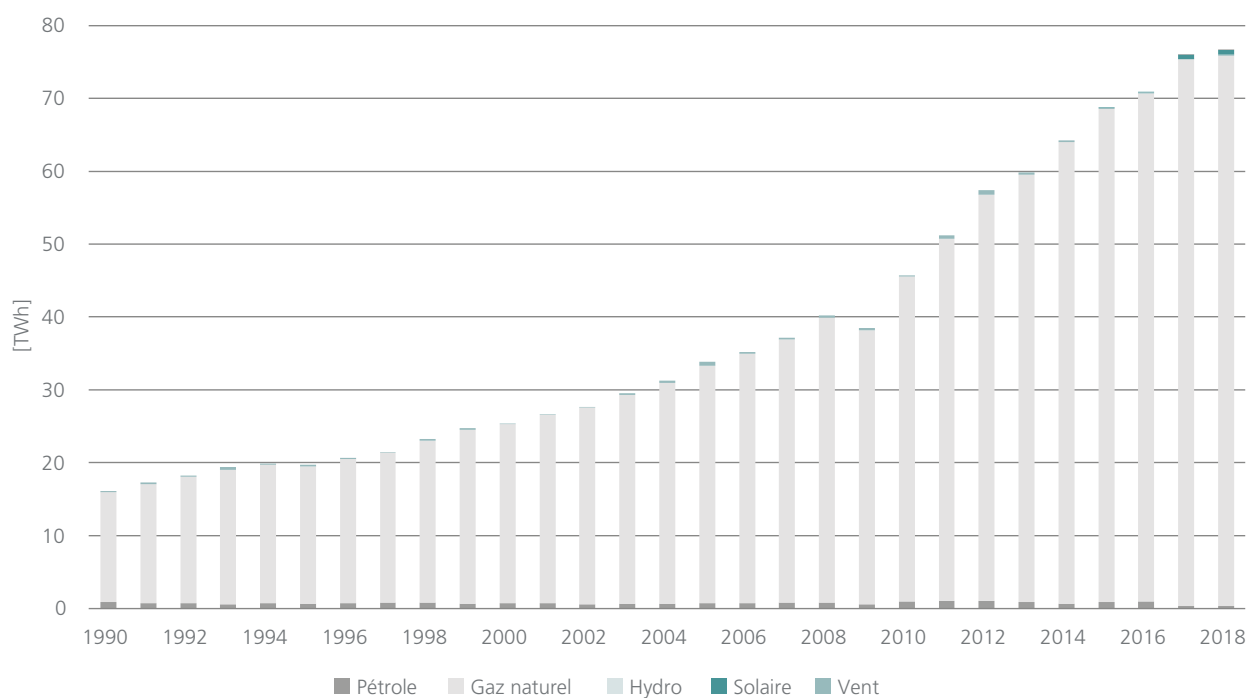
Source : données basées sur AIE, 2020a

Figure 4-3
Consommation d'électricité (en TWh), Algérie 1990-2018



Source : données basées sur AIE, 2020a

Figure 4-4
Production d'électricité par source (en TWh), Algérie 1990-2018



Source : données basées sur AIE, 2020a

La croissance moyenne de la consommation d'énergie en Algérie entre 2000 et 2017 était d'environ 5%. Selon la commission des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique (CEREFE), l'Algérie disposait en 2019 d'une puissance totale de 20963 MW (CEREFE, 2020), dont 96% provenaient de centrales de gaz naturel. Selon la Commission de régulation de l'énergie et du gaz (CREG), l'Algérie prévoit d'augmenter sa capacité totale installée à 36 000 MW d'ici 2028. Outre le gaz naturel, l'expansion comprendra des centrales solaires, qui devraient occuper une part de 15% de la capacité de production installée d'ici 2028 (Hochberg, 2020). Un plan pourrait être en attente également pour le développement d'une centrale nucléaire utilisant les grandes réserves d'uranium du pays pour répondre à la demande croissante d'électricité (Xinhua, 2019).

La consommation d'électricité en 2018 s'élevait à environ 66,7 TWh, soit près de cinq fois la demande d'électricité en 1990 (Fig.4-3). Pendant les mois d'été, l'utilisation des technologies de refroidissement est élevée. Ainsi, la demande culmine entre 13h et 15h. En août 2019, le plus haut pic du pays était enregistré à 15656 MW à 14h30. Selon la CREG, on estime que la demande en électricité de l'Algérie passera à 150 TWh d'ici 2030 et atteindra 250 TWh d'ici 2050. Cette demande croissante est due aux changements de comportement des consommateurs et des processus de production des biens industriels (Bouznit et al. 2020). Bien que la marge de réserve de capacité pour 2013 était de 47% (Banque mondiale, 2013), la demande en électricité des années précédentes a dépassé l'offre (par exemple en 2003 et 2012) ; ce qui a conduit à des protestations citoyennes régulières. L'industrie est également très vulnérable aux pannes d'électricité (AHK, 2018).

Pour faire face à l'augmentation des niveaux de consommation, l'Algérie envisage d'intégrer un volume important d'énergies renouvelables dans son réseau électrique. Cependant, cela peut s'avérer un long chemin, car en 2018, plus de 98% de l'approvisionnement en électricité était généré à partir du gaz naturel, alors que la part des énergies renouvelables n'était que d'environ 1% (Fig.4-4).

Les chiffres montrent que les énergies renouvelables ne jouent qu'un rôle marginal dans le mix énergétique et ne sont pas encore en mesure de remplacer les combustibles fossiles pour répondre aux besoins énergétiques croissants de l'Algérie. Ceci est cohérent avec la phase initiale décrite dans le modèle de phases MENA.

Le secteur pétrolier et gazier

Les importantes réserves d'hydrocarbures de l'Algérie constituent son épine dorsale économique. En tant que quatrième exportateur mondial de gaz naturel liquéfié (GNL), troisième en gaz de pétrole liquéfié et cinquième en gaz naturel, l'Algérie est un pays exportateur net (Fig.4-5). Le secteur des hydrocarbures contribue à hauteur de 45,9%

au produit intérieur brut (PIB). Ses principales régions d'exportation sont l'Europe (49%) et l'Amérique du Nord (36%) (DENA, 2014). En raison de ses ressources naturelles, l'Algérie joue un rôle crucial dans les politiques européennes de voisinage et de partenariat. Ainsi, elle a signé plusieurs accords bilatéraux pour intégrer les zones de libre-échange (AHK, 2011).

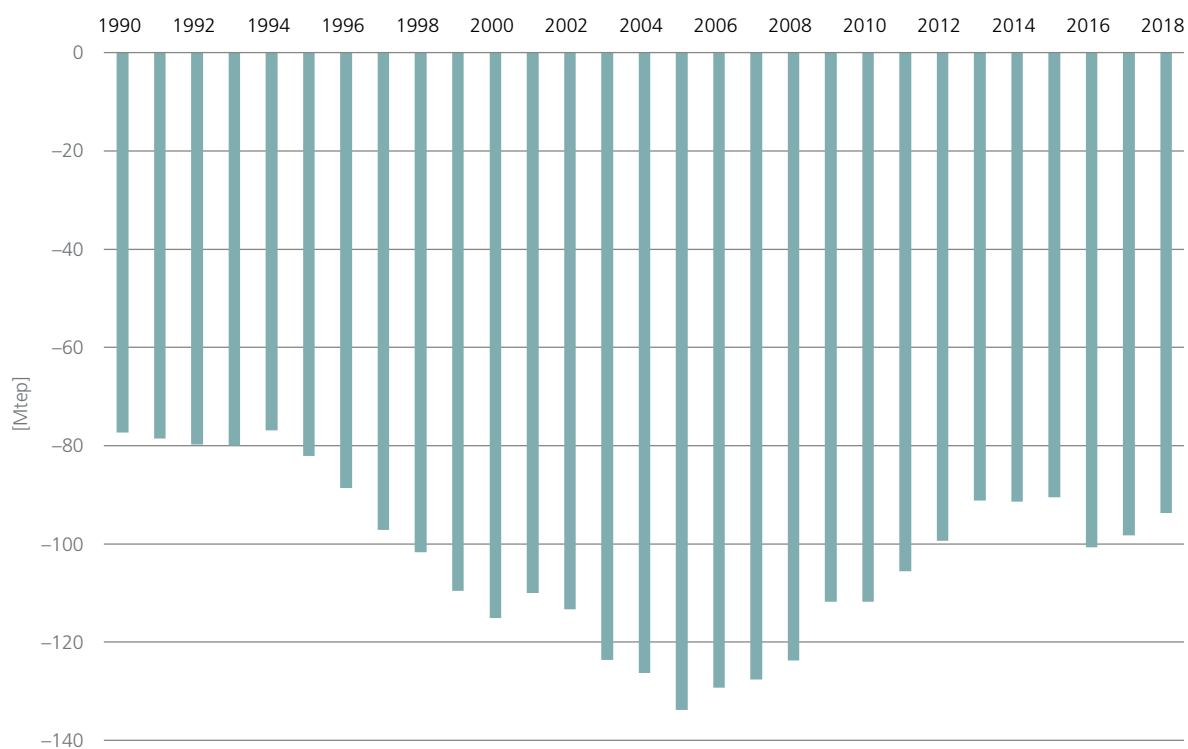
De plus, des découvertes récentes ont montré que l'Algérie possède le troisième plus grand volume de ressources de gaz de schiste au monde (19,800 milliards de m³) et 5,7 milliards de barils de pétrole de schiste (Boersma et al. 2015). L'Algérie a envisagé la fracturation du gaz de schiste, mais les manifestations publiques contre son exploration ont interrompu son développement pour le moment. La pandémie actuelle a encore entravé tout développement dans cette direction en raison de la baisse des prix du pétrole et du gaz sur le marché mondial.

Les évaluations ont également montré que les ressources de l'Algérie pourraient bien dépasser ses réserves prouvées de gaz classique. Plus de la moitié de ces réserves sont situées à Hassi R'Mel dans le sud du pays. Malgré des découvertes récentes, l'exploitation des hydrocarbures a diminué ces dernières années en raison de l'assèchement des champs et des retards dans les nouvelles exploitations. Ce dernier est causé par un manque d'approbation nationale, d'une infrastructure insuffisante et des défis techniques (DENA, 2014). Alors que le pays produisait encore environ 1,5 million de barils de gaz par jour en 2005, sa production quotidienne actuelle est tombée à environ 1 million de barils (GTAI, 2020).

Des réformes destinées à faciliter les investissements étrangers et stopper ce déclin du développement ont été mises en place, notamment en 2005. Cependant, elles ont ensuite été annulées par les institutions militaires et sécuritaires qui avaient tout intérêt financier à maintenir le statu quo (Boersma et al. 2015), ce dont elles avaient le pouvoir. En janvier 2020, une nouvelle loi sur l'énergie visant à améliorer les conditions d'investissement des entreprises étrangères (grâce à des mécanismes dont la faible fiscalité) est entrée en vigueur en Algérie (Henle et Schmitz, 2020).

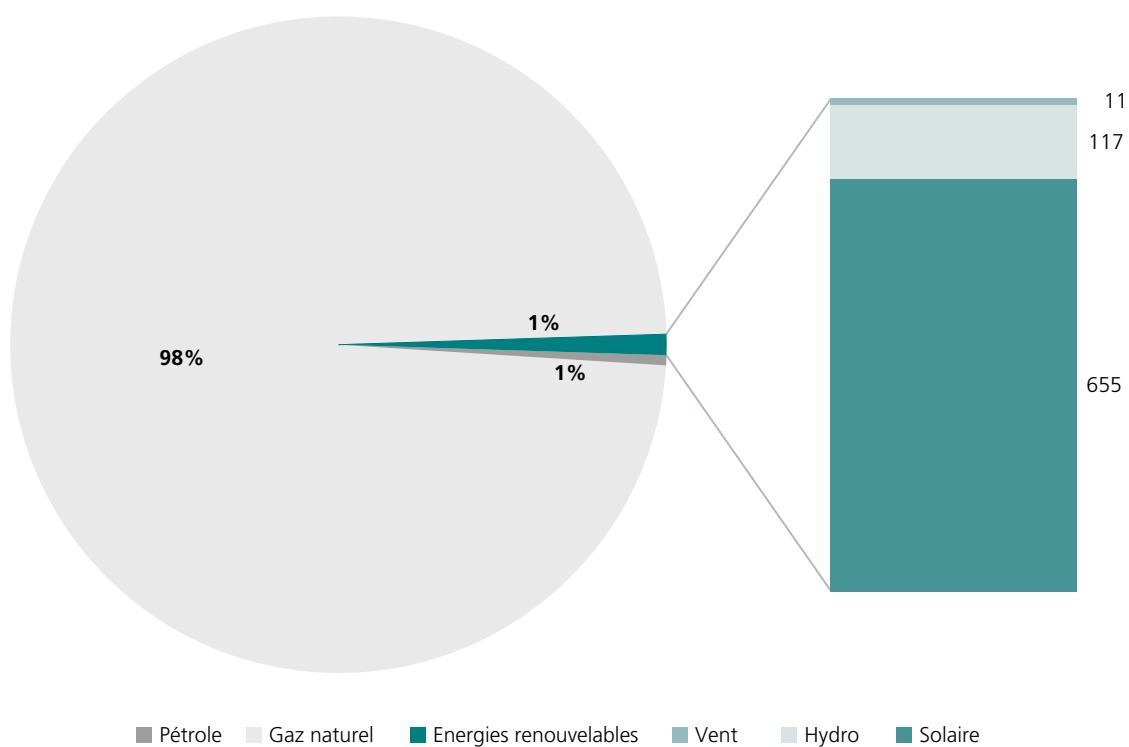
Le débat politique récent s'est prononcé en faveur de l'exportation de gaz naturel, alors que l'objectif est de remplacer sa consommation domestique par des énergies renouvelables. En exportant tout le gaz naturel qu'elle utilise actuellement, l'Algérie pourrait générer environ 200 millions USD par an. Cependant, les décideurs sont prudents, adhérant au discours de la sécurisation des approvisionnements énergétiques à tout prix (notamment le maintien des structures de subvention existantes), en raison de l'impact négatif de la guerre civile des années 1990. En conséquence, il est probable que la structure actuelle du régime d'approvisionnement en énergie restera en place pendant quelques années.

Figure 4-5
Importations nettes d'énergie (en Mtep), Algérie 1990-2018



Source : données basées sur AIE, 2020a

Figure 4-6
Mix de production d'électricité (en GWh), Algérie 2018



Source : données basées sur AIE, 2020a

Énergies renouvelables

Comme indiqué ci-dessus, les ressources renouvelables en 2018 représentaient 1% du mix de production d'électricité du pays. En 2018, l'énergie solaire représentait 84% de l'électricité totale produite à partir de sources renouvelables, tandis que l'hydroélectricité représentait 15% et l'énergie éolienne 1% (Fig.4-6).

Malgré sa lente expansion en énergies renouvelables, le potentiel d'énergie solaire de l'Algérie est parmi les plus élevés au monde avec une irradiation moyenne quotidienne de 6,57 kWh /m², soit un total annuel compris entre 2 000 kWh par m² et 2 650 kWh par m². Comme 86% de l'Algérie est couverte par le désert du Sahara, il existe un bon potentiel pour la mise en œuvre de projets solaires à grande échelle.

Le potentiel solaire thermique est d'environ 170 000 TWh par an, tandis que le potentiel Photovoltaïque s'élève à environ 13,9 TWh par an (DENA, 2014). La majeure partie du potentiel se trouve dans le sud du pays, tandis que l'essentiel de la demande provient des centres urbains du nord. Le projet phare d'énergie solaire à concentration (ESC) de l'Algérie - une centrale hybride ESC-gaz - est situé à Hassi R'Mel. La centrale a une capacité de 25 MWc ESC et 125 MW de gaz. L'investissement pour cette centrale était d'environ 313 millions d'euros, et elle a commencé à fonctionner en 2011. En 2014, la centrale photovoltaïque de Ghardaïa d'une capacité de 1,1 MWc a commencé à fonctionner et, en 2018, une autre centrale d'une capacité de 10 MWc a été commandée à BirRebaa. La branche énergie renouvelable de Sonelgaz, SKTM, a construit 22 centrales photovoltaïques d'une capacité totale de 343 MWc (voir le tableau 4-1). Outre les mises en œuvre à plus grande échelle, des micro-réseaux insulaires alimentés par l'énergie solaire ont été construits pour répondre à la demande locale dans les régions éloignées et peu peuplées du sud. Ces derniers approvisionnent 16 villages avec 1,5 GWh par an (DENA, 2014). Le centre et l'ouest de l'Algérie

constituent des sites de premier plan pour l'énergie éolienne, avec une vitesse moyenne du vent de 7,5 m/s. Des quelques études existantes disponibles, on peut déduire que le potentiel algérien en énergie éolienne s'élève à 35 TWh par an. Cependant, on décèle un facteur limitant dans la part élevée de sable et de poussière dans l'air, qui pourrait affecter la fonctionnalité des turbines. De plus, le transport d'équipements éoliens lourds vers des zones désertiques reculées (où le potentiel de production d'énergie éolienne est le plus élevé) pourrait être un défi supplémentaire, car les réseaux routiers du désert algérien ne sont pas adaptés à ce type de trafic (DENA, 2014). En 2014, le premier projet éolien d'envergure, Kabertène Adrar, a démarré son exploitation avec une puissance installée de 10,2 MWc (Voir tableau 4-1).

Le potentiel d'utilisation de la biomasse pour la production d'énergie est limité et n'est pas inclus dans le plan de déploiement des énergies renouvelables de l'Algérie. De même, le potentiel géothermique n'est pas pris en compte pour un déploiement à grande échelle, bien qu'il existe une certaine géothermie dans les zones avec des formations de calcaire et de grès (DENA 2014).

Le potentiel hydroélectrique est également sévèrement limité en Algérie, car le pays souffre de pénurie d'eau. De faibles taux de précipitation, un rejet rapide et un taux d'évaporation extrêmement élevé limitent le potentiel de production hydroélectrique. De plus, la plupart des oueds fluviaux sont saisonniers. Bien que l'Algérie ait une capacité hydroélectrique installée de 313 MW et puisse produire jusqu'à 500 GWh d'électricité par an, seulement 117 GWh ont été générés en 2018. Par ailleurs, il n'y a aucune trace de la capacité installée des petites centrales hydroélectriques (DENA, 2014).

Le tableau 4-1 résume les projets opérationnels d'énergie renouvelable connectés au réseau en Algérie, qui ont une capacité installée totale combinée de 389,3 MWc.

Tableau 4-1

Projets ER opérationnels en Algérie

Centrales éoliennes opérationnelles				
Site	Kabertène (Adrar)			
Année opérationnelle	2014			
Capacité installée (MWp)	10.2			
Energie solaire opérationnelle (CSP et PV)				
Site	Hassi-R'Mel	Ghardaia	BirRebaa Nord (Ouargla)	Programme de SKTM
Type	Solaire thermique et vapeur (gaz naturel)	PV	PV	PV
Année opérationnelle	2011	2014	2018	2018
Capacité installée (MWp)	25 (CSP)	1.1	10	343

Source : infos basées sur CEREFE, 2020

Malgré les faibles niveaux actuels d'énergies renouvelables, le gouvernement affiche la volonté de lutter contre le changement climatique et de sécuriser l'approvisionnement énergétique de l'Algérie en mettant en œuvre des projets d'envergure. C'est pourquoi, en 2011, le ministère de l'Énergie a lancé, le « Programme national d'énergies renouvelables et d'efficacité énergétique » (PNEREE). Ce plan prévoit l'installation de 22 GW de capacité d'énergies renouvelables d'ici 2030, dont 10 GW sont destinés à l'exportation. D'ici 2030, la production d'électricité à partir d'énergies renouvelables devrait augmenter d'environ 40%, ce qui équivalra à une part de 27% dans le mix énergétique (REN21, 2019). La réalisation de ce plan coûtera à l'Algérie environ 86,55 milliards d'euros (DENA, 2014).

Le tableau 4-2 résume les différentes phases du programme et fait référence à la technologie énergétique spécifique.

Ce programme a été mis à jour en 2015, fixant des objectifs ambitieux pour porter la capacité solaire à 13,5 GW d'ici 2030. La part de la capacité photovoltaïque a été augmentée et l'ESC (Energie Solaire Concentrée) a été retiré de la première phase de mise en œuvre. Le principal argument en faveur du retrait de la technologie ESC était son coût trop élevé. Cependant, comme les scénarios énergétiques montrent que la consommation énergétique globale de l'Algérie est répartie sur 20% pour l'électricité et 80% pour le chauffage, la décision du gouvernement sur l'ESC pourrait s'avérer illogique.

Tableau 4-2
Programme des ER 2030 en Algérie (en MWp)

	Phase 2015-2020	Phase 2021-2320	Total
PV (photovoltaïque)	3,000	10,575	13,575
Eolien	1,010	4,000	5,010
CSP	-	2,000	2,000
Cogénération	150	250	400
Biomasse	360	640	1,000
Géothermal	5	10	15
Total	4,525	17,475	22,000

Source : infos basées sur CEREFE, 2020

Les répercussions de la pandémie de COVID-19, qui a conduit à une baisse mondiale du prix du pétrole, devraient encore renforcer l'ambition et la volonté politique du gouvernement algérien d'investir dans l'énergie solaire (Stahl, 2020). Dans ce contexte, le gouvernement algérien a récemment manifesté un vif intérêt pour la possibilité de remplacer les centrales de gaz par des centrales solaires. Le gaz pourrait être exporté au lieu d'être brûlé dans les centrales, ce qui pourrait générer des économies en devises (Henle et Schmitz, 2020).

Pour atteindre ses objectifs, l'Algérie envisage également un projet solaire, Tafouk 1, qui consiste en cinq appels d'offres de

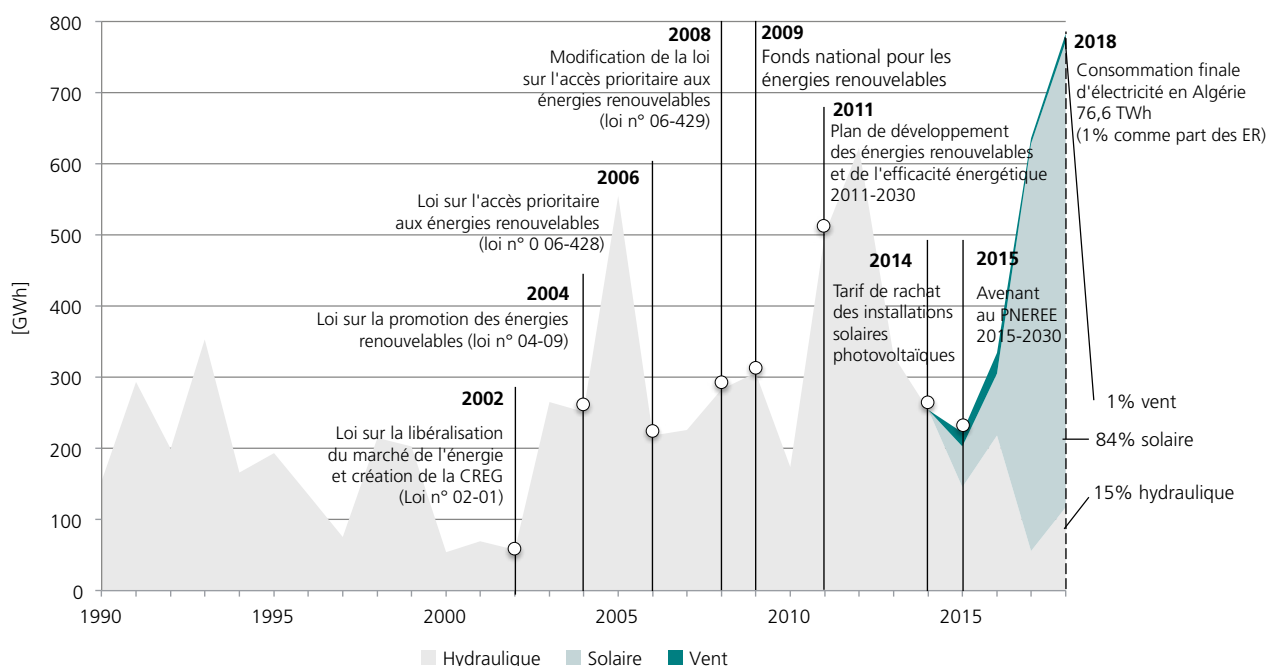
800 MW. Le projet de 4 000 MW augmentera potentiellement la capacité de production solaire de l'Algérie pour les modules, les racks et les câbles. Il donne également un élan pour atteindre les objectifs de l'Algérie en matière d'énergie renouvelable (Hochberg, 2020). Un élément substantiel de l'offre consiste en l'exigence que les pièces soient fabriquées localement, ce qui pourrait créer des barrières initiales car le marché solaire algérien n'est pas encore pleinement développé. Néanmoins, ces politiques ont le potentiel d'encourager le transfert de connaissances vers l'économie locale. Située au carrefour de l'Europe et de la région MENA, l'Algérie pourrait, dans un scénario optimiste, devenir un pôle d'approvisionnement manufacturier pour l'industrie des énergies renouvelables (ibid.).

En Algérie, le secteur agricole est un pionnier dans l'utilisation des énergies renouvelables. La plupart des sites agricoles se trouvent dans le sud reculé, loin du réseau de transport. Certaines installations agricoles ont donc investi dans des centrales solaires ou éoliennes afin de garantir un fonctionnement commercial ininterrompu pour le refroidissement, le séchage et le traitement, ainsi que pour l'irrigation. Cependant, cela n'est pas encore devenu la norme de l'industrie et la majorité des producteurs agricoles continue d'utiliser des générateurs diesel (AHK, 2018). Plusieurs projets hors réseau à petite échelle ont également été mis en œuvre ; il s'agit notamment des kits solaires et des systèmes d'irrigation par pompage solaire et éolien (CEREFE, 2020).

Pour inciter au déploiement des énergies renouvelables, le gouvernement algérien a mis en place plusieurs mécanismes de financement. Il s'agit notamment des accords d'achat d'électricité (PPA), réglementés par le décret exécutif n° 13-218, et des tarifs de subventionnement pour l'énergie solaire, l'énergie éolienne et la cogénération, qui sont réglementés par les arrêtés de 2014. Les tarifs varient en fonction de la capacité de la centrale électrique. Les centrales éoliennes d'une capacité de plus de 5 MW reçoivent 9,5 centimes d'euro par kWh tandis que les petites (moins de 5 MW) reçoivent 11,9 centimes d'euro par kWh. Les centrales solaires d'une capacité de plus de 5 MW reçoivent 11,6 centimes d'euros par kWh, les petites (moins de 5 MW) reçoivent 14,5 centimes d'euros par kWh. Les projets ESC ne sont pas inclus dans le plan des tarifs de subventionnement (Energypedia, 2020). Le Fonds National des énergies renouvelables et de la cogénération (FNER) a également été créé par le Décret exécutif No. 11-423 en 2011, qui est financé par un prélèvement de 1% sur les recettes fiscales pétrolières (RCREEE, 2019). Comme la Jordanie, l'Algérie offre une garantie légale d'accès prioritaire au réseau pour les énergies renouvelables ; il s'agit actuellement d'un mécanisme rare dans la région MENA. Les décrets exécutifs n° 06-428 et 06-429 de 2006 et 2008 garantissent cet accès prioritaire (RCREEE, 2012). La figure 4-7 illustre l'introduction de mesures de politique énergétique et leur impact sur la production d'électricité renouvelable par année.

Figure 4-7

**Développement de la production d'électricité renouvelable par source (en GWh)
et introduction de mesures de politique énergétique, Algérie 1990-2018**



Source : données basées sur AIE, 2020a

La croissance dans les énergies renouvelables générée depuis 2014 coïncide avec l'introduction du tarif de subventionnement. La plus forte croissance a été réalisée l'année suivante après des modifications apportées au PNEREE. L'énergie solaire représentait la part la plus élevée des énergies renouvelables ; ce qui pourrait être le résultat de son tarif de subventionnement plus important. Alors que la figure 4-7 montre l'évolution de la production d'électricité renouvelable et des mesures de politique énergétique jusqu'en 2018, le premier appel d'offres n'a été lancé qu'en 2019. Étonnamment, ce premier appel d'offres n'aurait attiré qu'un faible nombre de propositions (Bouznit et al. 2020).

En résumé, s'agissant des énergies renouvelables, le gouvernement algérien semble adopter une approche graduelle plutôt que de procéder à des changements rapides à grande échelle. Tant que le gouvernement continuera de subventionner les prix de l'énergie et que l'infrastructure électrique bien développée à proximité des centres de demande côtiers restera en place, le rythme de la transition vers les énergies renouvelables restera probablement modéré. Malgré le potentiel de l'Algérie pour des projets solaires d'envergure, plusieurs projets d'énergie renouvelable prévus pour la période 2006-2014 et 2016-2020 n'existent que sur papier et subissent, qui plus est, une publicité négative en raison du puissant lobby pétrolier et gazier. L'Algérie n'a donc pas encore rempli les conditions pour être

classée comme un pays ayant achevé la première phase selon le modèle de référence.

Infrastructure

En Algérie, 99% de la population est connectée au réseau national de transport d'électricité. Ce dernier s'étend sur 30,515 km de longueur, dont 4,497 km constituent un réseau haute tension de 400 kV. Il est connecté au Maroc et à la Tunisie via l'interconnexion du Maghreb, dont la Libye fait également partie (Banque mondiale, 2013). Vers le Maroc, les lignes de transport sont de 225 kV et 400 kV, avec une capacité globale de 1 400 MW. Les lignes d'interconnexion tunisiennes ont une capacité totale de 900 MW, avec des tensions de 90 kV, 150 kV et 220 kV. Une ligne de 400 kV est également prête depuis 2008 du côté algérien (IRENA, 2014). Les États du Maghreb ont accepté de réformer le réseau de transport et de travailler ensemble pour améliorer et harmoniser un marché commun du commerce de l'électricité. En outre, dans la déclaration d'Alger de 2010, les nations ont déclaré leur objectif de créer un marché viable de l'électricité dans les États du Maghreb et d'intégrer ce marché avec l'UE, en particulier avec la péninsule ibérique (Banque mondiale, 2013). Les travaux nécessaires à l'intégration à l'UE sont achevés du côté marocain, tandis que la partie algérienne est encore en cours de développement. De plus, l'Algérie envisage de créer un marché panarabe de l'électricité ; cette perspective a été

entérinée par la signature mutuelle de mémorandums d'accord avec d'autres pays arabes en 2017 (Matar, 2020).

Les actifs du réseau de transport appartiennent à la Société algérienne de gestion du réseau de transport de l'électricité (GRTE - la société de transport détenue et exploitée par Sonelgaz), qui agit en tant qu'acheteur unique dans le modèle du marché de l'énergie algérien. La sécurité d'approvisionnement est de la responsabilité d'une autre entité de Sonelgaz, l'opérateur système électrique. Le GRTE a élaboré des plans d'extension du réseau de transport de 2020 à 2029, créant une longueur totale de 50,280 km (Mansour, 2020a). Le secteur de la distribution est surveillé par quatre sociétés de distribution, qui supervisent leur propre système.

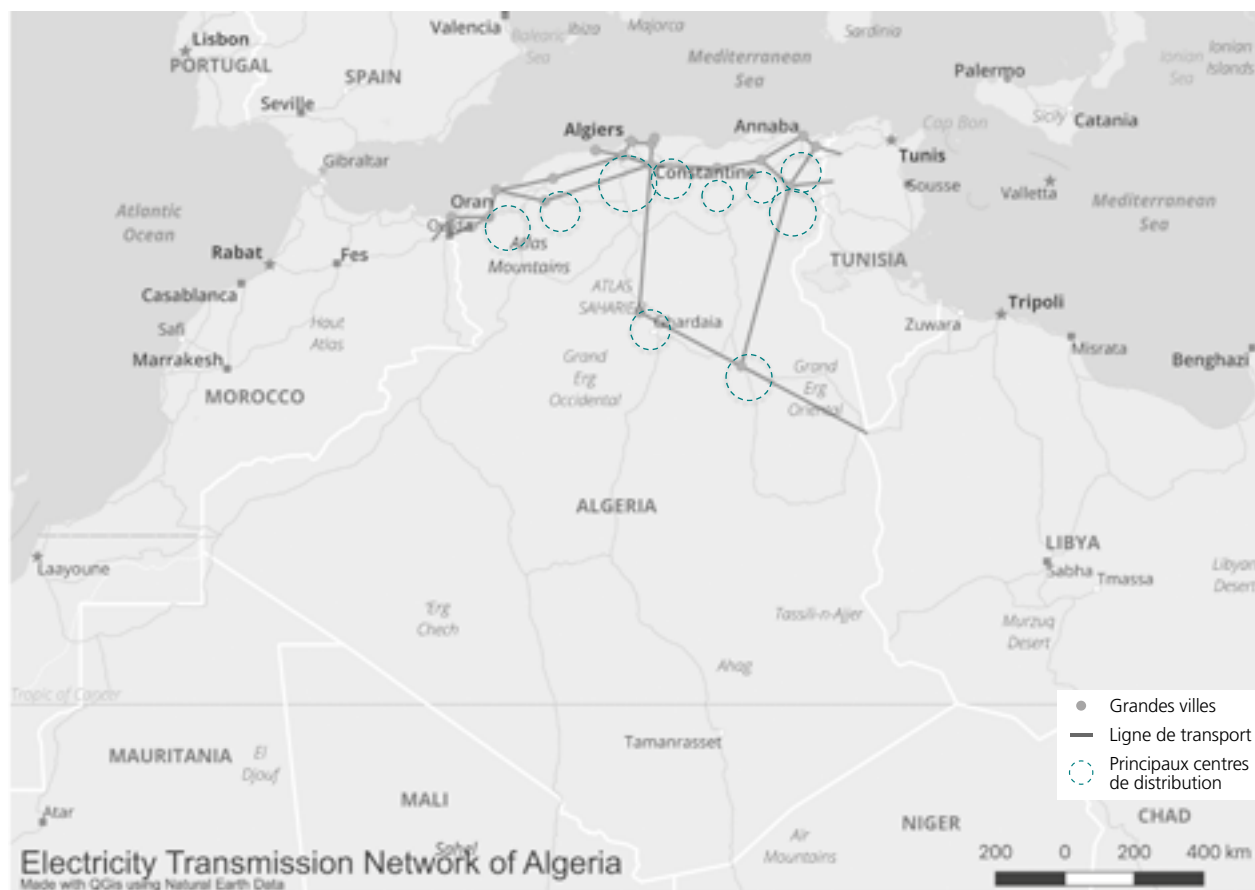
Le réseau algérien est actuellement confronté à plusieurs défis. Il s'agit notamment de la communication à sens unique, des niveaux élevés d'émissions de carbone, des longues lignes de transport pour fournir de l'électricité, des coûts d'électricité élevés et des fluctuations à l'avenir si des niveaux croissants d'énergie renouvelable sont injectés dans le réseau (Harrouz et al., 2017). Actuellement, 389,3 MWC

d'énergie renouvelable sont injectés dans le réseau algérien, qui offre des conditions préférentielles d'accès audit réseau, car il garantit la priorité de distribution (RCREEE, 2019). Avoir une part élevée d'énergies renouvelables dans la structure électrique créera des avantages économiques à long terme. Cependant, le réseau doit être capable d'intégrer un pourcentage élevé de production fluctuante, et les extensions du réseau dépendront de sites adaptés aux énergies renouvelables (Platzer, 2016). Les adaptations nécessaires doivent également être apportées pour contrôler les systèmes de distribution, comme la facturation nette des auto-producteurs d'énergies renouvelables raccordés au réseau (RCREEE, 2019). Par conséquent, la nécessité d'une vue d'ensemble est essentielle à toutes les autres mesures de planification.

Le temps nécessaire pour achever l'expansion et la modernisation dépendra de la construction de la ressource électrique et de la motivation des institutions concernées (Shen et al., 2018). La figure 4-8 représente le réseau de transport d'électricité de l'Algérie avec ses principaux centres de charge situés dans les zones côtières urbaines.

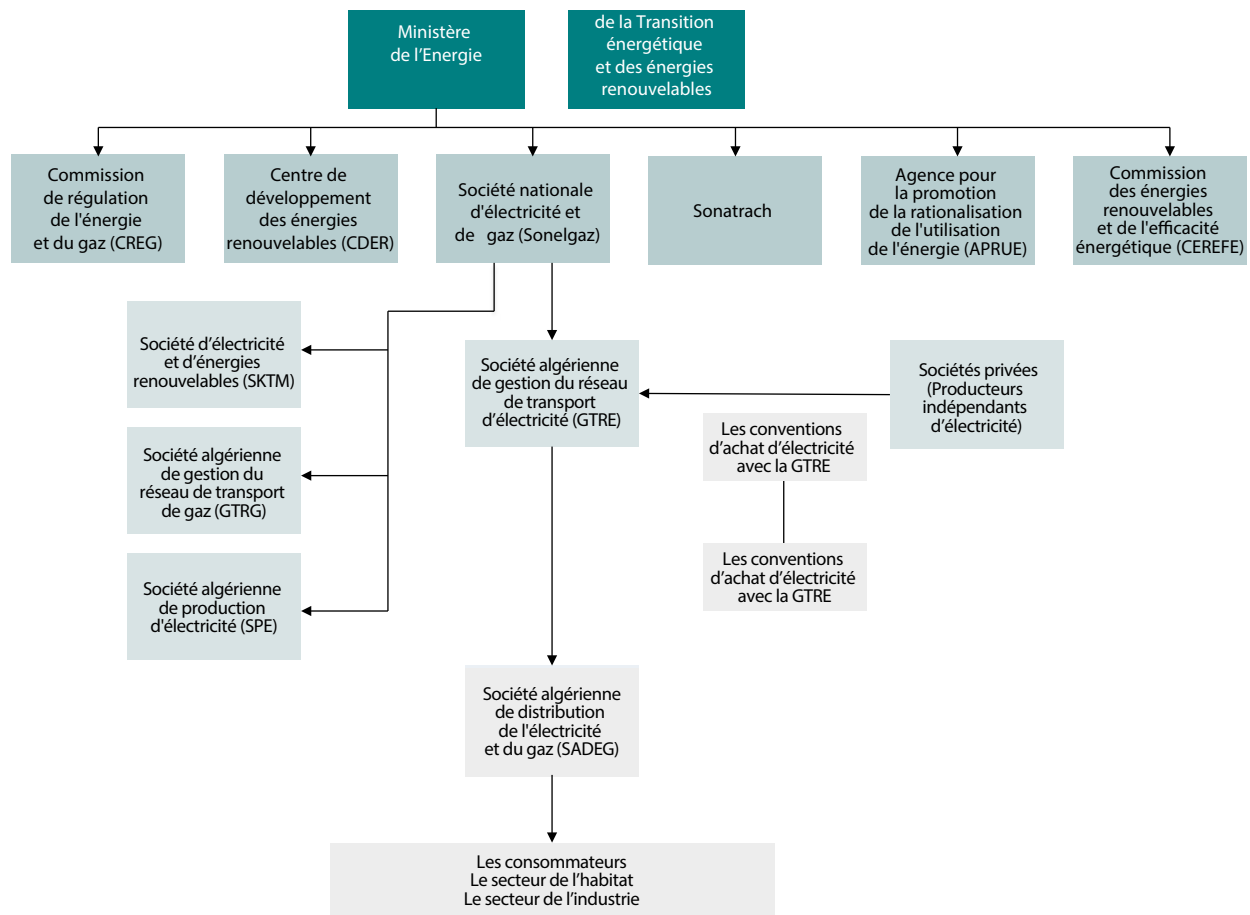
Figure 4-8

Réseau de transport d'électricité d'Algérie montrant les principaux centres de charge



Source : propres données de création basées sur Energydata, 2017

Figure 4-9

Structure du marché de l'électricité avec les autorités et les entreprises concernées

Source : propres données de création basées sur Bouznit et al., 2020

Dans son état actuel, l'infrastructure de transport de l'Algérie est incapable d'intégrer de grands volumes d'énergies renouvelables. Bien qu'un cadre réglementaire soit en place et que la libéralisation du marché ait commencé (la loi n° 02-01 de 2002 dicte le dégroupage de l'ancien service public intégré verticalement, Sonelgaz (Ministère De L'Énergie, 2020)), le réseau fait toujours face à des défis techniques et réglementaires, et est toujours en phase d'expansion. Par conséquent, le développement de l'infrastructure électrique pour l'intégration des énergies renouvelables selon la première phase du modèle de phases a été lancé mais n'est pas encore achevé.

Institutions et gouvernance

Le ministère de l'Énergie est l'acteur clé du secteur de l'électricité et de l'énergie en Algérie. Il supervise l'ensemble du secteur et pilote le développement et la mise en œuvre des politiques et stratégies énergétiques. En raison d'une prise de conscience croissante de l'importance des énergies renouvelables, le ministère de la Transition énergétique et des énergies renouvelables a été créé pour promouvoir le

déploiement de ces dernières dans le pays. À la suite des mesures de dégroupage du marché de l'électricité en 2002, celui-ci a été divisé en plusieurs institutions. Cependant, elles appartiennent pour la plupart à l'État. Créée en 2002, la CREG supervise les marchés de l'électricité et du gaz national pour protéger les intérêts des consommateurs et des opérateurs. La CREG gère et contrôle également les services publics de l'énergie et agit en tant que consultant auprès du gouvernement (Energypedia, 2020). En outre, elle publie des appels d'offres pour le déploiement de technologies d'énergies renouvelables.

Du côté de l'extraction et de la production, plusieurs entreprises nationales dominent le secteur énergétique algérien : le groupe Sonatrach est responsable des hydrocarbures, tandis que le groupe Sonelgaz produit et commercialise de l'électricité et se charge de la distribution nationale du gaz naturel. La Société algérienne de l'Électricité produit également de l'électricité, tandis que la GRTE (Société algérienne de gestion du réseau de transport de l'électricité) est en charge du transport de l'électricité. La distribution d'électricité est sous la responsabilité de la

Société algérienne de distribution de l'électricité et du gaz (SADEG), née de la fusion des quatre anciennes sociétés de distribution de Sonelgaz : la Société de distribution du centre (SDC), la Société de distribution de l'ouest (SDO), la Société de distribution de l'est (SDE) et la Société de distribution d'Alger (SDA) (Mansour, 2020b). En 1985, le ministère de l'Énergie a créé l'Agence pour la promotion de la rationalisation de l'utilisation de l'énergie (APRUE) pour promouvoir les mesures d'efficacité énergétique. APRUE est responsable des campagnes d'éducation et de sensibilisation à l'efficacité énergétique.

Les PVE (Producteur privé d'électricité) sont autorisés à produire et à vendre de l'électricité dans le cadre du marché de l'acheteur unique depuis 2002. Un AAE (Accord d'achat d'électricité) doit être signé avec la Société publique représentant Sonelgaz, qui achète l'électricité aux PVE. Actuellement, 13% de l'électricité produite en Algérie provient des PVE, qui sont principalement actifs dans le secteur des combustibles fossiles (DENA, 2014). Un système d'appel d'offres est en place pour stimuler les investissements dans les énergies renouvelables en Algérie. Les contrats, sous forme de CAE (Contrat d'achat de l'électricité), sont attribués aux entreprises qui soumissionnent pour produire l'électricité au coût le plus bas. Le premier appel d'offres a été lancé en 2019, visant un total de 150 MW. Cependant, comme les règles d'appel d'offres exigeaient une fabrication locale substantielle de modules solaires et d'autres équipements – malgré le nombre limité de fabricants solaires locaux – les offres n'ont été faites que pour 90 MW, même si l'accord prévoyait une participation obligatoire de 51% pour l'entité algérienne et un financement par les banques algériennes (Bellini, 2019 ; Hochberg, 2020 ; Bouznit et al., 2020). Les projets sélectionnés lors de l'appel d'offres de 2019 seront développés dans le cadre d'un programme de construire-posséder-exploiter (CPE) avec un CAE sur 20 ans. Le gouvernement a lancé un nouvel appel d'offres de 50 MW pour le développement de projets hybrides gaz/diesel et solaire hors réseau. Les appels d'offres et le plan tarifs subventionnés font partie du plan algérien d'installation de 22 GW de capacité de production d'énergie renouvelable d'ici 2030. La figure 4-9 illustre le cadre institutionnel algérien du marché de l'électricité et de l'énergie.

Depuis la restructuration de Sonelgaz en tant que société holding en 2002 (loi n° 02-01), les experts ont fait valoir que les efforts de l'Algérie pour libéraliser le marché sont minimes et représentent toujours un obstacle considérable pour le secteur privé. Le cadre juridique est déjà mûr, mais le cadre réglementaire et les mécanismes financiers se sont avérés insuffisants (Hochberg, 2020). Selon Boersma et al. (2015), les entreprises opérant dans le secteur de l'énergie sont confrontées à de longs processus bureaucratiques car toutes les communications doivent passer par Sonatrach ou Sonelgaz. Cela retarde la réalisation des projets et peut entraîner des problèmes de communication. Par conséquent, l'état actuel de développement et l'efficacité du cadre institutionnel place l'Algérie au début de la première phase vers un système d'énergie renouvelable selon le modèle de phases MENA.

Marché et économie de l'énergie

La structure tarifaire de l'électricité en Algérie varie en fonction de l'heure de la journée : il existe six tarifs - heures de pointe, heures creuses, principales heures de consommation, jour, nuit et un tarif fixe. En outre, les tarifs sont différenciés en fonction du type de client (par exemple, les ménages et l'industrie), ces derniers payant généralement plus par kWh. Les tarifs varient donc entre 0,007 et 0,052² centime d'euro par kWh. La structure tarifaire est contrôlée par la CREG.

L'Algérie est un État rentier typique. En plus d'exporter du gaz naturel et du pétrole, elle dépend des hydrocarbures pour sa consommation intérieure. Les deux ressources sont fortement subventionnées. En 2019, environ 7,6% du PIB de l'Algérie ont été subventionnés : le pétrole a été subventionné à hauteur de 8,8 milliards USD, le gaz à 2,3 milliards USD et l'électricité à 2 milliards USD (AIE, 2020b). Le prix de l'électricité est lié au coût de production subventionné des centrales à gaz. L'un des principaux obstacles au développement des énergies renouvelables en Algérie est le faible prix du marché de l'électricité résultant de ces subventions. De plus, le prix bas entraîne des externalités négatives ; non seulement la consommation d'énergie serait élevée, mais le coût de l'énergie ne se refléterait pas non plus dans les prix des matières premières à forte intensité énergétique. Les réformes des subventions allègeraient les pressions budgétaires et permettraient de réaffecter le budget à d'autres priorités, telles que les énergies renouvelables (RCREEE, 2019). Cependant, comme le gouvernement algérien n'a pas encore lancé ou annoncé de réforme des subventions, il est prévu que cette situation ne change pas dans un proche avenir (DENA, 2014).

À l'appui des énergies renouvelables, l'Algérie a créé le Fonds national de la maîtrise de l'énergie (FNME), un fonds d'énergie renouvelable et de cogénération financé par les impôts et les amendes. Les taxes nécessaires pour le financer sont recalculées annuellement sur la base des exigences budgétaires annuelles pour les programmes d'énergies renouvelables et d'efficacité énergétique. Ils sont également inclus dans la loi de finances (AHK 2018).

Les PVE (entreprises privées)

En termes de financement du secteur privé, il est généralement difficile d'obtenir un prêt bancaire pour des projets d'énergies renouvelables ou d'efficacité énergétique (AHK, 2018) car le secteur est encore à un stade précoce en Algérie, ce qui rend les risques imprévisibles pour les banques. La possibilité de financer des projets par le capital-investissement sous forme de fonds d'investissement est possible. Cependant, seul un petit nombre d'entreprises privées algériennes se spécialisent dans ce secteur. D'autres options consistent en des plans de financement de projets,

² Les tarifs de 120,5 cDA et 811,47 cDA ont été convertis en utilisant le convertisseur de devises www1.oanda.com

où les remboursements sont liés aux flux de trésorerie futurs. Cependant, l'un des inconvénients de ces stratagèmes est que les services publics étrangers ne sont autorisés à détenir que 49% de l'exploitation (ibid.).

En résumé, les prix de l'énergie subventionnés par l'État constituent un obstacle majeur à un déploiement plus large des énergies renouvelables et limitent le soutien que le gouvernement algérien peut leur apporter. Les subventions faussent le marché au détriment de la transition énergétique. Jusqu'à ce que l'Algérie réforme ses subventions aux combustibles fossiles et investisse activement dans la diversification énergétique, son évolution vers un système énergétique basé sur les énergies renouvelables est à de faibles chances de progresser. Ainsi, l'Algérie est pressentie pour rester dans la première phase du modèle de phases de transition.

Efficacité

En 2011, le gouvernement algérien a lancé un programme national d'efficacité énergétique qui a été modifié en 2015. Le programme vise à atteindre des objectifs d'efficacité dans les secteurs du bâtiment, des transports et de l'industrie. Pour le secteur du bâtiment, le but est d'économiser plus de 30 millions de tep d'ici 2030 grâce à l'utilisation d'isolation thermique dans la construction, de lampes LED et de chauffe-eau solaires. L'objectif du secteur des transports est d'économiser 15 millions de tep, principalement en remplaçant les carburants conventionnels par du gaz de pétrole liquéfié (GPL) et du gaz naturel comprimé (GNC). Le secteur industriel devrait y contribuer en économisant jusqu'à 34 millions de tep d'ici 2030. Au total, le gouvernement prévoit de consacrer 900 milliards de DA² au programme d'efficacité énergétique. Pour réaliser les mesures prévues par ce plan, les actions suivantes devront être menées chaque année jusqu'en 2030: 100 000 bâtiments résidentiels devront adopter des mesures d'isolation thermique, 10 millions de lampes à haute efficacité énergétique devront être distribuées et 1,3 million de véhicules devront être adaptés à l'utilisation du GPL. On s'attend à ce que ces mesures créent jusqu'à 180 000 emplois (energypedia, 2020; Sahnoune et Imessad, 2017). En outre, le gouvernement prévoit de réduire de 1% le torchage du gaz dans les centrales électriques d'ici 2030.

Pour les nouveaux appareils technologiques utilisant de l'électricité, du gaz ou d'autres combustibles, une certification et un étiquetage énergétiques existent. Par exemple, les équipements résidentiels typiques, tels que les unités de climatisation, les réfrigérateurs, les radiateurs, les lampes et les téléviseurs, sont étiquetés avec des classifications énergétiques conformément à la loi sur l'efficacité n° 05-16, introduite en 2015. Les mesures d'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment n'ont pas encore été réglementées par la loi; cependant, des documents techniques guident les travaux de réaménagement

d'isolation thermique et d'éclairage (AHK, 2018). Un autre plan consiste à se concentrer sur l'économie circulaire en introduisant le compostage des déchets organiques et la valorisation du méthane dans les stations d'épuration. De toute évidence, le plan comprend les premières étapes vers l'utilisation efficace des ressources.

Une évaluation des mesures prises par l'Algérie en matière d'efficacité énergétique montre que le gouvernement l'a reconnue comme un élément essentiel de la transition énergétique. Les plans du cadre réglementaire indiquent que le pays a mis en pratique des mesures d'efficacité énergétique au niveau politique. Cependant, les objectifs ne sont pas encore atteints, ce qui signifie que l'Algérie est dans la première phase de la transition énergétique selon le modèle de phases MENA. En d'autres termes, l'Algérie n'a pas encore complètement achevé la première phase.

Les émissions de gaz à effet de serre (GES)

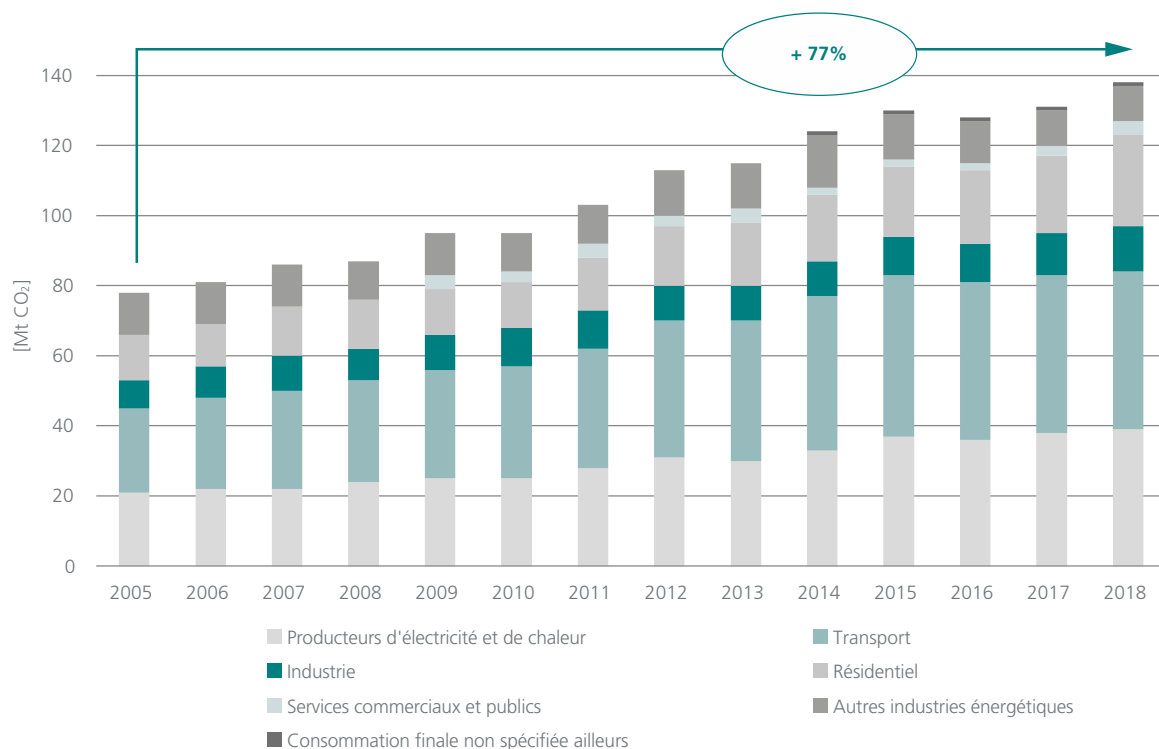
L'Algérie occupe la troisième place en Afrique en termes d'émissions de CO₂ (Hochberg, 2020). En 2014, la consommation d'énergie par habitant s'élevait à 1 327 kg en équivalent pétrole (Banque mondiale, 2014), ce qui est relativement élevé par rapport aux autres États du Maghreb. En 2018, le secteur des transports était responsable de 32% des émissions de CO₂, les producteurs d'électricité et de chaleur de 28%, suivi du secteur résidentiel avec 19%, et de l'industrie avec 9%. Depuis 2005, les émissions de CO₂ ont augmenté de 77% en raison de la dynamique démographique croissante, du développement industriel et des impacts résultant du changement climatique (Fig. 4-10). La figure 4-10 illustre le profil du CO₂ algérien, tandis que la figure 4-11 illustre les émissions résultant de la production de chaleur et d'électricité par source pour 2018.

L'Algérie est très vulnérable au changement climatique, car elle connaît déjà des niveaux importants de stress hydrique. Les ressources en eau restent un défi majeur. Sur tous les pays méditerranéens, l'Algérie est classée deuxième seulement derrière l'Espagne en termes de dessalement, ce dernier étant largement basé sur les énergies fossiles (Sahnoune et Imessad, 2017). Avec une capacité installée de 2,4 millions de m³ par jour en 2015 pour le dessalement, ce secteur génère des niveaux élevés d'émissions de CO₂ en raison de son procédé à forte intensité énergétique.

Bien que l'objectif des contributions déterminées au niveau national (CDN) consiste à réduire les émissions de CO₂ de 7% d'ici à 2030, ces dernières sont en augmentation en raison de l'industrialisation. Afin de décarboniser le secteur des transports, responsable de la majeure partie des émissions de GES, des programmes ciblant l'électrification doivent être mis en œuvre. Cependant, l'électrification directe ne réussira à réduire les émissions de GES que si l'électricité est produite à partir de sources renouvelables.

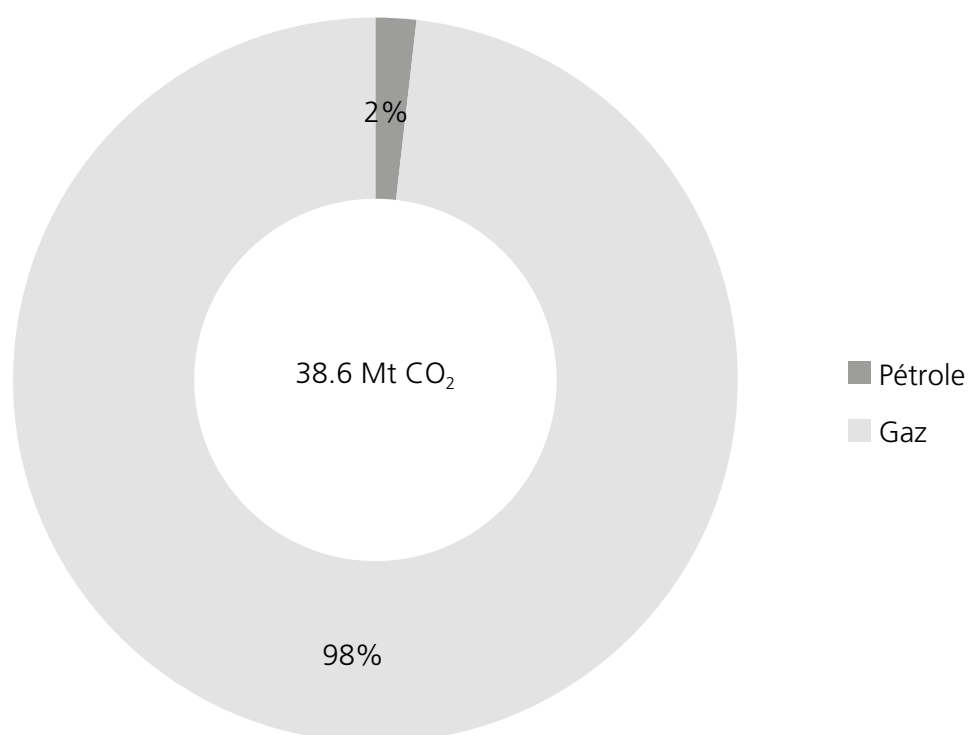
² Environ 8 milliards d'euros.

Figure 4-10
Émissions de CO₂ par secteur (en Mt CO₂), Algérie 2005-2018



Source : données basées sur AIE, 2020a

Figure 4-11
Émissions de CO₂ de la production d'électricité et de chaleur par source d'énergie (en Mt CO₂), Algérie 2018



Source : données basées sur AIE, 2020a

Société Civile

Le nombre d'organisations sociales, culturelles et environnementales augmente en Algérie et la conscience écologique des citoyens semble accroître lentement (BTI, 2020). Le pays a également connu une opposition considérable à certains projets énergétiques, en particulier dans le sud-ouest algérien où le Gouvernement comptait explorer les ressources de gaz de schiste. Des protestations inattendues des communautés locales ont conduit à une résistance à l'échelle du pays et ont réussi à suspendre le projet. Nonobstant les avantages environnementaux et socio-économiques associés au développement des énergies renouvelables, l'acceptation sociale de ces projets ne doit pas être tenue pour acquise.

Diverses agences et institutions de recherche et de formation sur les énergies renouvelables ont été créées. Il s'agit notamment de l'Institut pour les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique (IAER), l'APRUE et le Centre de développement des énergies renouvelables (CDER) (Tuerk et al., 2015). APRUE organise des campagnes de sensibilisation à la conservation de l'énergie, et le CDER diffuse des informations pertinentes sur les énergies renouvelables et publie régulièrement des informations à ce sujet sur son site Internet.

Le groupement nommé « Solar Energy Cluster » a été créé en 2017 par 12 entreprises énergétiques pour renforcer le réseau des entreprises nationales et des acteurs opérant dans la chaîne de valeur. Il s'agit notamment des fournisseurs de matières premières, des développeurs, des installateurs, des formateurs professionnels, des universitaires et des concepteurs. Actuellement, 34 entreprises sont membres de ce réseau. Le cluster vise à sensibiliser et à encourager l'utilisation des énergies renouvelables, en particulier l'énergie solaire, en fournissant des informations approfondies et des lignes directrices de bonnes pratiques pour accompagner la transition énergétique du pays (Haouari, 2017). La création du Pôle Energie Solaire a conduit à une nouvelle vision d'une Algérie alimentée uniquement par les énergies renouvelables; cependant, le gouvernement inclut toujours les combustibles fossiles dans sa vision future du système énergétique.

Un nombre limité d'établissements proposent des diplômes de maîtrise ou de doctorat dans ce domaine. L'IAER prodigue des formations et des ateliers spécifiques pour le renforcement des capacités, y compris des cours sur l'ingénierie, la sûreté et la sécurité, l'audit énergétique et la gestion de projet pour les installateurs et les techniciens (Tuerk et al., 2015). Selon le CEREFE (2020), entre 2017 et 2018, 40 personnes ont obtenu une certification professionnelle en efficacité énergétique, 46 en installation et maintenance de modules photovoltaïques et 268 en installation de systèmes photovoltaïques et solaires thermiques.

Le secteur financier ayant une compréhension limitée du domaine des énergies renouvelables, le déploiement à grande échelle de projets inhérents est difficile en Algérie. Il est donc crucial d'élaborer une formation spécifique pour le secteur

financier, ce qui est loin d'être une réalité pour l'instant. Dans l'ensemble, l'Algérie a récemment mis en place un certain nombre d'institutions de sensibilisation aux énergies renouvelables. Cependant, la société algérienne n'accorde pas encore suffisamment d'importance aux thèmes environnementaux. Des campagnes de sensibilisation contribueront à cette dimension ; mais pour ce faire, il faudra des efforts considérables pour intégrer ces aspects dans les habitudes et les mentalités des citoyens.

Résumé des développements au niveau du paysage et du système

Au niveau du paysage, la pandémie de COVID-19 devrait affecter la transition énergétique au moins à court terme mais aussi potentiellement à long terme. D'autres barrières impactant le développement de la transition énergétique au niveau du système sont liées à des schémas techniques, financiers et réglementaires.

L'Algérie a officiellement dégroupé son marché de l'électricité et garantit un accès prioritaire à l'électricité produite à partir d'énergies renouvelables, mais la configuration actuelle consiste en un marché à acheteur unique, la Sonelgaz détenant le monopole. Les appels d'offres récemment lancés en Algérie n'ont jusqu'à présent pas réussi à équilibrer les intérêts du secteur public avec ceux du secteur privé et des investissements étrangers. Ce nombre limité de projets s'explique très probablement par les exigences strictes en matière de contenu local pour les projets d'énergie renouvelable.

En résumé, au niveau du système, un certain nombre de facteurs limitent actuellement les progrès de l'Algérie dans la transition énergétique: l'abondance des ressources en gaz naturel, les prix de l'électricité subventionnés, les structures du marché de l'énergie, le soutien hésitant des acteurs institutionnels et un manque de volonté sociale de payer pour les énergies renouvelables. Tous ces aspects empêchent l'Algérie d'atteindre ses ambitieux objectifs de transition. En mettant en œuvre le PNEREE et la loi n° 02-01 de libéralisation du marché, le pays est entré dans la première phase de la transition énergétique vers un système basé sur les énergies renouvelables selon le modèle de phases MENA. Cependant, les défis actuels, tels que la pandémie, pourraient avoir un impact négatif sur les progrès ou entraver la poursuite du développement.

De plus, les énergies renouvelables ne remplacent pas actuellement le pétrole et le gaz en raison de la croissance de la demande énergétique. En fait, l'inverse est vrai: la consommation de combustibles fossiles ainsi que les émissions de GES augmentent, et les capacités en combustibles fossiles se développent, ce qui est susceptible de créer des verrouillages technologiques.

Le tableau 4-3 résume les tendances et objectifs actuels de la transition énergétique en fonction d'indicateurs pertinents.

Tableau 4-3

Tendances et objectifs actuels de la transition énergétique

Catégorie	Indicateur	2005	2010	2015	2018	2020	2030	2050
Émissions de CO2 (comparé à 1990)	CO2 emissions par unité du PIB	-10%	-12%	-3%	N/A	N/A	-7% à 20% (comparé à BAU)	-
	CO2 emissions par habitant	+15%	+35%	+65%	+65%	N/A	-	-
Energie renouvelable	Capacité de croissance	N/A	253	312	Objectifs de chauffage solaire de l'eau: 490,000 m2 de la zone collecte (solaire CSP) (2020)	1 GW bio-énergie des déchets à énergie, 15 MW géothermal, 13.5 GW PV solaire, 2 GW CSP, 5 GW éolien(2030)		
	Part dans la consommation d'énergie finale	0.6%	0.3%	0.1%	0.1% (2017)	N/A	40%	-
	Part dans le mix énergétique	1.6%	0.38%	0.23%	1.02%	6%	27%	-
Efficacité (comparé à 1990)	Approvisionnement total en énergie primaire	+46.1%	+87.7%	+152.5%	+174.7%	N/A	-	-
	Intensité énergétique de l'énergie primaire	-5.4%	+3.2%	+18.1%	N/A	N/A	-	-
	Total fourniture en énergie (TES) par habitant	+11.1%	+33.3%	+55.6%	+55.6%	N/A	-	-
	Consommation d'électricité par habitant	+80%	+100%	+200%	+220%	N/A	-	-
	Subventions des combustibles fossiles (% du PIB 2019)	N/A	N/A	N/A	7.6% du GDP: 8.8 milliards USD (pétrole), 2.3 milliards USD (gaz), 2 milliards USD (électricité)	-	-	-
Bâtiments	consommation finale d'électricité des ménages (comparé à 2005)	+186%	+94%	+224.6%	+308.1%	N/A	-	-
Transport (comparé à 1990)	Total de la consommation finale d'énergie	+55.2%	+99.5%	+190.9%	+186.4%	N/A	-	-
	CO2 émissions dans le secteur des transports	+50%	+100%	+187.5%	+181.3%	N/A	-	-
	Nombre de e-véhicules	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	100,000	-
Industrie	Intensité carbone de la consommation industrielle (comparé à 1990)	-4.3%	-10.9 %	-19.2%	-19.2%	N/A	-	-
	Valeur ajoutée (% de PIB)	57.33%	50.5%	35.7%	39.6%	37.4% (2019)	-	-

Catégorie	Indicateur	2005	2010	2015	2018	2020	2030	2050
Sécurité d'approvisionnement	Exportation du gaz naturel (comparé à 1990)	+106.5%	+82.3%	+38.7%	+63.9%	N/A	-	-
	Importation de produits pétroliers (comparé à 1990)	+243%	+597%	+2,696%	+491%	N/A	-	-
	exportations globales du pétrole brut (comparé à 2012)	N/A	N/A	-21.76 (2017)	-29.42 (2018)	-27.81% (2019)	-	-
	Importation d'électricité (comparé à 1990)	+72.2%	+103.2%	+67.7%	+41.9%	N/A	-	-
	Exportation d'électricité (comparé à 1990)	-7.7%	+165.4%	+111.5%	+96.2%	N/A	-	-
	Accès à l'électricité par proportion de la population	N/A	98.8%	99.93%	100%	N/A	-	-
	réserves du pétrole (comparé à 1999)	N/A	+7.87%	N/A	+7.9%	+7.87%	-	-
	Réserves du gaz (comparé à 1999)	N/A	-1.15%	N/A	-0.2%	-1.15%	-	-
Investissement (comparé à 2007)	Investissements en décarbonisation (millions USD)	0.1499 USD	0.3892 USD	0.8838 USD	N/A	N/A	-	-
Socio-économie	Population (2019)	-	-	-	43,053,054	-	-	-
	Croissance démographique	1.39%	1.80%	2.04%	2%	N/A	-	-
	Taux d'Urbanisation	63.83%	67.54%	70.85%	72.05% (2017)	N/A	-	-
	Croissance du PIB	5.9%	3.6%	3.7%	1.4%	N/A	-	-
	rentes pétrolières (% du PIB)	29%	23.3%	12.8%	15.7%	N/A	-	-
	rentes en gaz naturel (% du PIB)	3.9%	3.2%	3.2%	3.1%	N/A	-	-
	Emplois dans les industries à bas carbone	N/A	N/A	N/A	N/A	13,776 (2019)	-	-
Eau	Niveau du stress hydrique	92.5%	104.9%	126%	137.9 (2017)	N/A	-	-

Source : basé sur infos de BP, 2020; FAO, 2020; IEA, 2020a; IRENA, 2020; Statista, 2020; La Banque Mondiale, 2020

4.1.2 Évaluation des tendances et des développements au niveau de la niche

Les évolutions au niveau de la niche au cours de chaque phase sont cruciales pour atteindre les étapes ultérieures de la transition énergétique (voir tableau 3-1). Avec les progrès susmentionnés réalisés au niveau du système, des développements antérieurs et parallèles ont eu lieu au

niveau de la niche. Si certains aspects, tels que l'énergie solaire et l'efficacité énergétique, sont intégrés au niveau du système énergétique, d'autres aspects sont encore au niveau de la niche. Les premiers développements sont évidents dans des domaines tels que l'électrification du secteur des transports ou PtX, ce qui présente une importance capitale pour passer aux phases suivantes. L'Algérie montre des progrès dans presque toutes les dimensions pertinentes de

l'offre, de la demande, des infrastructures, des marchés et de la société. Cependant, des étapes essentielles à la transition énergétique doivent être mises en œuvre par le gouvernement afin de parvenir à l'introduction complète des énergies renouvelables sur les marchés algériens.

■ PV hors réseau

Le photovoltaïque hors réseau est une niche évidente en Algérie. Les régions éloignées du sud, ainsi que les régions très encombrées du nord sont confrontées à de sérieux défis en termes d'approvisionnement énergétique stable. Les coupures d'électricité en été menacent la fiabilité de la production. La demande énergétique pour les activités industrielles, telles que le ciment, la céramique, la chimie et la production alimentaire, ainsi que la construction de nouveaux bâtiments consommant de grandes quantités d'énergie, ne peuvent être satisfaites uniquement par l'État (AHK, 2018). Pour contrer ce problème, des solutions décentralisées sont nécessaires. Cependant, en raison du manque d'alternatives, les générateurs diesel sont principalement utilisés pour répondre à cette demande (ibid.). Seul le secteur agricole qui possède des systèmes d'irrigation à énergie solaire fait exception. Or, le nombre croissant de ces systèmes prouve leur faisabilité et conduit à une demande croissante.

■ Efficacité énergétique

Dans le cadre du plan d'efficacité énergétique 2015, l'Algérie cible le secteur du bâtiment. Les mesures de rénovation comprennent l'utilisation de matériaux d'isolation thermique; cependant, il s'agit actuellement d'un marché immature en Algérie. Dans ce contexte, la production industrielle locale doit se concentrer sur les matériaux isolants et étendre ses capacités de production. L'audit énergétique fait également partie du plan d'efficacité, mais l'Algérie compte peu d'entreprises qualifiées spécialisées dans ce secteur (AHK, 2018).

■ E-mobilité

Des mesures concrètes de mobilité électrique sont encore en cours de développement, mais certains objectifs existent déjà. Par exemple, le ministre de la Transition énergétique s'est fixé un seuil de 100 000 véhicules électriques (VE) dans les rues d'ici 2030. Cependant, l'objectif principal du secteur des transports publics est de passer aux locomotives électriques pour remplacer les nombreux trains diesel encore en circulation. L'Algérie envisage d'électrifier les lignes de chemin de fer et la liaison ferroviaire prévue vers le sud - Tamanghasset - est également concernée. L'électrification dans le secteur ferroviaire pourrait être alimentée par la technologie solaire installée le long de la ligne (Oxford Business Group, 2016). Des discussions sont en cours sur l'électrification du secteur du transport routier, mais il n'y a pas encore eu de développements significatifs.

■ Biocarburants

La production de biocarburants n'est actuellement pas envisagée en Algérie. Cependant, un projet pilote a vu le jour visant à produire du bioéthanol à partir des résidus du traitement des dattes. Le mélange d'essence avec le biocarburant produit à partir des dattes est en cours de test et une étude de faisabilité a été menée (DENA, 2014).

■ Hydrogène et PtX (Alimentation-à-X)

Deux projets pilotes de recherche pour le développement de l'hydrogène ont été lancés en 2006. Le « projet pilote d'hydrogène solaire » (mis en œuvre par le Département des études technologiques et de l'innovation du CDER) et le projet HYDROSOL (en coopération avec l'Institut de thermodynamique technique et de recherche solaire au Centre aérospatial allemand DLR) visent à exploiter le potentiel solaire de l'Algérie pour produire de l'hydrogène (AHK, 2011). Les carburants synthétiques sont discutés dans une mesure limitée au niveau politique, même si l'Algérie devait signer un protocole d'accord avec Desert Energy sur l'hydrogène en 2020 (Hochberg, 2020). Une étude existante sur l'hydrogène de 2003 a analysé le potentiel estimé de production dans le sud du pays (Boudries-Khellaf et Khellaf, 2003).

La dynamique mondiale actuelle pour l'hydrogène ne doit pas être ignorée par l'Algérie et ses acteurs industriels (Kefaifi, 2020). Le pays dispose en effet d'un secteur de la réforme qui se compose d'un certain nombre d'usines d'ammoniac, de méthanol et de raffinage qui fonctionnent depuis plus de 60 ans et utilisent du gaz synthétique. Il serait donc essentiel de convertir le procédé standard et d'utiliser l'hydrogène produit à partir d'énergies renouvelables. Cependant, il n'y a actuellement aucune incitation à soutenir une telle démarche.

4.1.3 Étapes nécessaires pour atteindre la phase suivante

L'Algérie a déjà fait les premiers pas dans la transition vers les énergies renouvelables et peut être classée comme entrant dans la phase «Décollage des ER» selon le modèle de phases MENA. Afin d'intégrer les énergies renouvelables dans le système (deuxième phase) et de procéder à la transition énergétique, les efforts pour la mise en œuvre des énergies renouvelables doivent être accrus et la volonté politique d'agir à cet égard traduite en action concrète.

L'Algérie est un marché à fort potentiel d'énergies renouvelables en raison de sa superficie et de la diversité de ses ressources, mais des défis subsistent. La domination du secteur pétrolier et gazier à la fois dans le mix énergétique et dans l'économie globale entrave de différentes manières le déploiement généralisé des énergies renouvelables. En raison de la pandémie de COVID-19, les énergies

renouvelables sont devenues plus favorables en termes de coûts et de financement disponible. Ainsi, le gouvernement devrait se concentrer sur l'adoption de technologies de plus en plus compétitives, car elles ont été annoncées comme les gagnantes de la crise (AIE, 2020c). Le gaz peut agir à court terme comme une technologie relais de la transition énergétique en Algérie, car il est efficace et flexible et donc compatible avec les énergies renouvelables. À long terme, cependant, la technologie du gaz devrait être progressivement supprimée.

Pour soutenir le décollage des énergies renouvelables, un soutien gouvernemental fort est nécessaire, en particulier dans un pays comme l'Algérie avec d'importantes ressources en combustibles fossiles. Par exemple, les conditions-cadres juridiques et d'investissement pour la mise en œuvre des projets d'énergies renouvelables doivent être révisées en vue de les rendre plus attractives. Bien que l'Algérie dispose d'un cadre réglementaire clair en matière d'énergies renouvelables, celui-ci n'est pas efficace. Les appels d'offres pour le secteur privé n'ont eu qu'un timide succès et les limitations imposées aux investissements étrangers en Algérie constituent un obstacle majeur. Les entreprises algériennes doivent également être incitées à amorcer leur transition; par exemple, grâce à des revenus garantis issus de la production d'énergie renouvelable. Cela peut prendre la forme d'abattements fiscaux ou d'exonérations, de certifications CO2 ou d'audits énergétiques. C'est en leur fournissant un cadre et une réglementation adéquats que les entreprises peuvent être pleinement impliquées dans les efforts de transition énergétique (Al-Shamali et al. 2019).

En outre, l'Algérie doit inciter, par le biais de privilèges, à l'introduction et l'intégration des énergies renouvelables et des options de flexibilité. Une étape importante serait de supprimer progressivement les subventions énergétiques pour les combustibles fossiles, qui entravent actuellement la transition. Cela donnerait à l'État un levier budgétaire et aiderait à réduire la consommation d'énergie excessive (Al-Shamali et al., 2019).

Le renforcement de la coopération avec les pays voisins et l'UE en matière de transfert de technologie et de renforcement des capacités pourrait également contribuer à atteindre l'objectif d'une part plus élevée d'énergies renouvelables dans le mix électrique. La promotion de partenariats et d'alliances énergétiques, comme l'Alliance germano-marocaine pour l'hydrogène conclue en juin 2020, pourrait être un pas important dans cette direction. Plus précisément, l'introduction d'une formation professionnelle dédiée, ainsi que de cours certifiés pour les parties prenantes, telles que les banques, pourraient contribuer à augmenter les niveaux de capacité nationale dans le secteur des énergies renouvelables.

Pour accélérer la mutation de la transition énergétique vers l'intégration systémique, l'Algérie doit commencer à envisager des options de flexibilité. Certaines incitations

dans le secteur de la mobilité électrique et de l'hydrogène existent, mais le gouvernement ne s'est pas encore penché sur celles-ci (Hochberg, 2020). Le débat sur la mobilité électrique pourrait être avancé en imposant une taxe carbone sur les véhicules à essence ou en introduisant des bus électriques dans le secteur des transports publics. L'établissement d'une structure tarifaire différenciée et dynamique pourrait en outre offrir une opportunité d'exploiter les potentiels de flexibilité existants. De plus, les réseaux de transport et de distribution doivent être étendus et améliorés.

La numérisation du secteur de l'énergie s'avère également un facteur important pour l'intégration des systèmes. Or, elle en est encore à un stade très précoce en Algérie. Afin de progresser dans la numérisation, le savoir-faire nécessaire doit être transféré et adapté au contexte local algérien.

Dans l'ensemble, les progrès dépendront largement de la motivation politique à soutenir activement la transition énergétique. Cela implique non seulement des investissements publics, mais aussi la conception des conditions-cadres nécessaires pour encourager la participation et attirer les investissements du secteur privé.

4.2 PERSPECTIVES POUR LES PROCHAINES PHASES DU PROCESSUS DE TRANSITION

Comme le montre cette analyse, l'Algérie a fait des progrès dans le domaine des énergies renouvelables. Avec le PNEREE, le pays dispose d'un concept utile à court et moyen terme qui permet de répondre aux défis du secteur de l'énergie. Cependant, pour que l'Algérie atteigne ses objectifs en matière d'énergies renouvelables, elle doit redoubler d'efforts. Bien qu'il existe un cadre juridique solide, la mise en œuvre pratique est à la traîne. Cela est dû au lobbying du secteur pétrolier et gazier, qui a conduit à la construction de centrales électriques plus conventionnelles. Les nouvelles capacités de production de combustibles fossiles ont une longue durée de vie, ce qui pourrait créer de nouvelles dépendances de trajectoire dans le système énergétique et constituer un obstacle devant une transition énergétique durable, comme le montre le modèle de phases. Alors que le gaz peut être une technologie de transition à court terme pendant la première phase, l'objectif à long terme doit concevoir les énergies renouvelables comme principale source d'énergie.

Pour atteindre cet objectif, il est essentiel de renforcer la coopération entre les différents secteurs et niveaux de gouvernance. Au niveau vertical, la communication entre les entités de gouvernance doit être renforcée. Au niveau horizontal, des plates-formes de dialogue intersectoriel et interdisciplinaire doivent être créées pour développer un cadre politique solide, cohérent et complet qui facilitera la transformation du système énergétique. L'objectif global devrait consister à fournir des recommandations pour

renforcer le développement des énergies 100% renouvelables en Algérie au bénéfice de la population. La transition énergétique doit être envisagée au sein du système socio-économique dans lequel elle se déploie. Les interactions bidirectionnelles entre la transition énergétique et le système socio-économique peuvent favoriser les synergies (IRENA, 2018). Par conséquent, les politiques devraient envisager la transition énergétique non seulement d'un point de vue économique, mais également socio-économique et aborder des questions plus larges, telles que l'énergie et la justice climatique. L'implication de différents acteurs et représentants de la population peut installer un climat de transparence et encourager la participation. Par exemple, réunir différents acteurs pour l'élaboration de scénarios énergétiques peut également accroître la motivation à s'engager dans cette transition.

Dans sa politique énergétique, l'Algérie affiche toujours l'attitude typique d'un État rentier avec un fort accent sur les énergies fossiles, tandis que les ambitions autour des énergies renouvelables restent majoritairement sur le papier. De plus, la libéralisation du marché de l'énergie est retardée. Citons comme exemple la loi N ° 02-01, qui prévoit la libéralisation du marché mais regroupe les sociétés énergétiques en une société holding qui en détient plus de 50%. La création d'une autorité de régulation indépendante pourrait être une première étape vers une meilleure surveillance du marché de l'électricité.

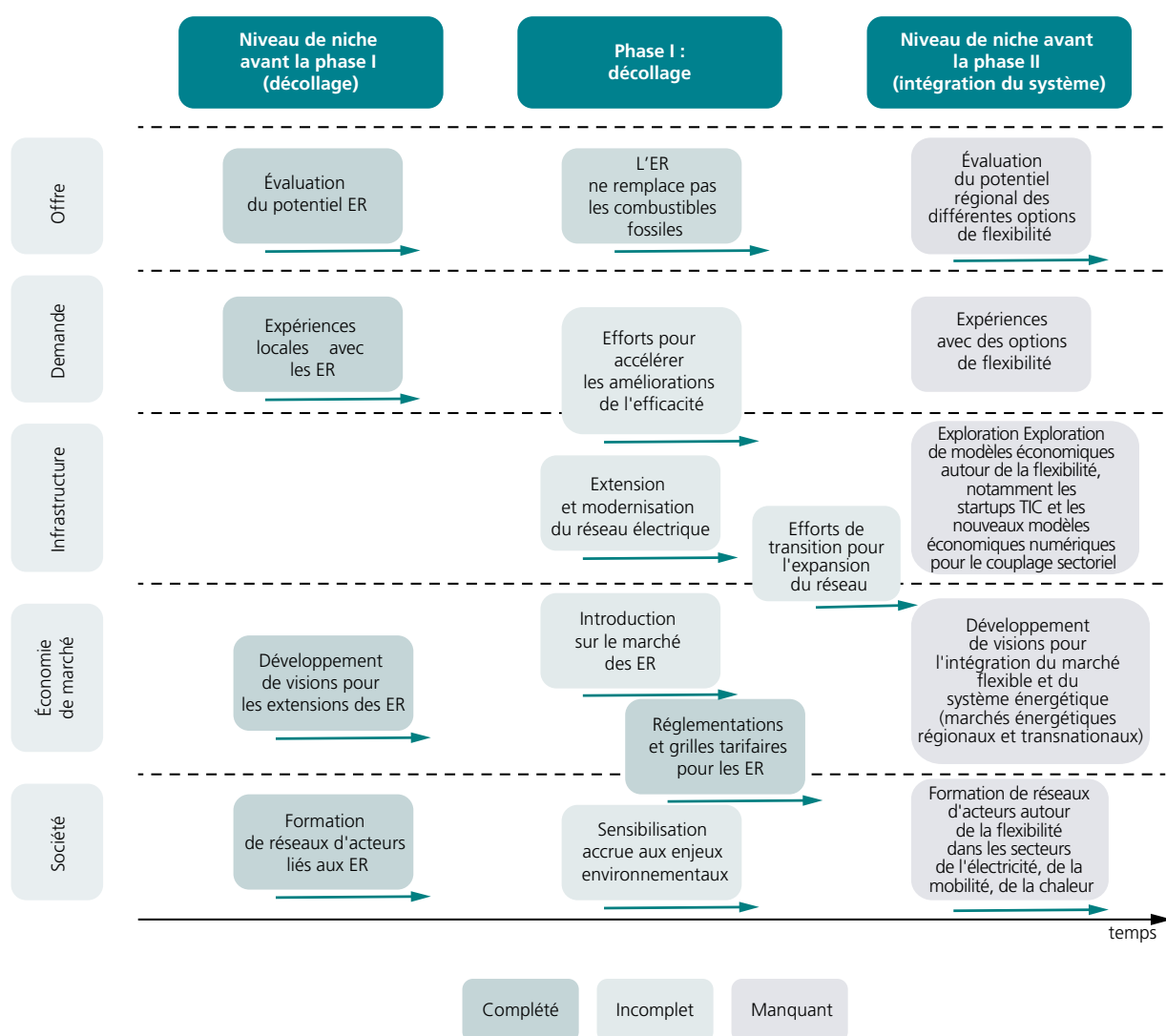
Étant donné que les centres de demande se trouvent au nord sur la côte, alors que toute la production d'énergie actuelle autour de Hassi R'Mel est au sud et que le potentiel d'énergie renouvelable se trouve également au Sahara, une infrastructure appropriée pour le transport de l'énergie constitue un élément essentiel. Alors que l'infrastructure de transport pour le pétrole et le gaz est déjà en place, on observe un manque de réseau intelligent et de technologie de gestion pour acheminer de grandes quantités d'électricité renouvelable sur la côte (Hasni et al., 2021). Par conséquent, la planification de la capacité des infrastructures doit être abordée de manière holistique et développée en faveur des énergies renouvelables.

En résumé, le gaz restera une composante importante du système énergétique en Algérie à court et moyen terme. Néanmoins, les énergies renouvelables doivent être intégrées dans la planification stratégique à un stade précoce pour saisir les opportunités économiques et permettre une transition en douceur. Le plan énergétique actuel du PNEREE ne propose pas d'approche intégrée permettant d'incorporer efficacement l'ensemble du système énergétique et l'aligner sur les objectifs à long terme. Il est donc recommandé à l'Algérie de commencer à développer une stratégie à long terme prenant en compte son potentiel d'énergies renouvelables afin de permettre une transformation efficace de son approvisionnement énergétique. Avec les efforts

mondiaux en cours en termes de décarbonisation et l'évolution attendue de la demande des consommateurs en faveur des carburants durables, l'Algérie serait bien avisée de s'engager dans cette voie le plus tôt possible pour éviter les effets du verrouillage technologique et les investissements bloqués dans le secteur des combustibles fossiles.

La figure 4-12 résume l'état actuel de l'Algérie dans la transition du système énergétique et donne un aperçu des étapes suivantes.

Figure 4-12

Vue d'ensemble du statut de l'Algérie dans le modèle de transition du système énergétique

Source : basé sur infos IEA, 2020

5

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Le modèle de phases MENA a été adapté au cas national de l'Algérie afin de fournir des informations favorables à la transition du système énergétique vers la durabilité. Le modèle, qui s'appuyait sur le contexte allemand avant d'être complété par des informations sur la gouvernance de transition, a été adapté pour saisir les différences entre les hypothèses générales sous-jacentes, les caractéristiques de la région MENA et le contexte algérien spécifique.

Le modèle, qui comprend quatre phases (« Décollage des ER », « Intégration Système », « Alimentation-à-Fuel / Gaz » et « Vers 100% ER »), a été appliqué pour analyser et déterminer où se situe l'Algérie dans sa transition vers les énergies renouvelables. L'application du modèle fournit également une feuille de route détaillant les étapes nécessaires pour avancer sur cette voie. L'analyse a montré que l'intérêt pour les énergies renouvelables est croissant en Algérie et que le gouvernement algérien s'est fixé des objectifs ambitieux en la matière. Bien que le cadre juridique et la planification de l'expansion des énergies renouvelables soient bien développés, le soutien réglementaire et les incitations financières ont jusqu'à présent été quelque peu limités. Étant donné que les combustibles fossiles jouent un rôle majeur dans le secteur énergétique algérien, ainsi que dans l'économie de manière générale, le passage vers un système fondé sur les énergies renouvelables a besoin d'un soutien gouvernemental fort à tous les niveaux. Afin d'obtenir un appui politique plus large, la transition énergétique doit être reconnue par les décideurs comme une opportunité à long terme de développement économique et social.

L'Algérie peut tirer profit de ses ressources en utilisant le gaz naturel comme technologie de transition le long de la voie du développement. À long terme, cependant, la réalisation d'un système énergétique basé sur 100% d'énergies renouvelables devrait être un objectif réaliste pour le pays. En outre, l'Algérie possède un potentiel suffisant pour exporter à l'avenir des énergies renouvelables sous diverses formes, ce qui offre la possibilité de remplacer les revenus en baisse des combustibles fossiles. À cet égard, les changements structurels liés aux efforts mondiaux de décarbonisation, qui devraient entraîner une baisse de la demande de combustibles fossiles, sont susceptibles de devenir un

moteur important de la transition vers les énergies renouvelables. Par conséquent, le gouvernement algérien serait bien avisé de prendre des mesures pour promouvoir les investissements dans les petites voitures avec de bonnes technologies énergétiques (moins polluantes). Cela nécessite une planification holistique pour faciliter l'intégration des systèmes et des infrastructures, en tenant compte des structures socio-économiques. L'instauration de la confiance entre les décideurs et les autres parties prenantes est essentielle à la réalisation des objectifs de l'Algérie en matière d'énergies renouvelables, et des changements de politique, d'investissement et de comportement seront nécessaires.

BIBLIOGRAPHIE

- AHK – Deutsch-Algerische Industrie-und Handelskammer.** (2011). *Zielgruppenanalyse Algerien*.
- AHK – Deutsch-Algerische Industrie-und Handelskammer.** (2018). *Algerien – Erneuerbare Energien und Energieeffizienz in Gewerbe und Landwirtschaft*. https://www.german-energy-solutions.de/GES/Redaktion/DE/Publikationen/Marktanalysen/2018/zma_algerien_2018.pdf?__blob=publicationFile&v=3
- Al-Shamali, A., El-Issa, B., Elmaddah, E., Mansour, I., Rouabhia, I., Al-Thobhani, K., El Saim, N., Fawaz S., Al Harthey, S., Serriya, S., & Al-Zoghoul, S.** (2019). *Energy & climate in the MENA region – Youth perspective to a sustainable future*. Friedrich-Ebert-Stiftung. https://germanwatch.org/sites/default/files/Energy_and_Climate_MENA_Region.pdf
- Banque mondiale.** (2013). *Middle East and North Africa – Integration of electricity networks in the Arab world: Regional market structure and design*. (Report No: ACS7124). <http://documents.worldbank.org/curated/en/415281468059650302/pdf/ACS71240ESW0WH010and0II000Final0PDF.pdf>
- Banque mondiale.** (2014). *Energy use (kg of oil equivalent per capita) – Algeria, Germany, Morocco, Tunisia, Libya, Egypt, Arab Rep., Saudi Arabia*. <https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.PCAP.KG.OE?locations=DZ-DE-MA-TN-LY-EG-SA>
- Banque mondiale.** (2019). *Electric power transmission and distribution losses (% of output)*. <https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.LOSS.ZS>
- Banque mondiale.** (2020). *Data*. <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.KD.GD?locations=IQ>
- Bellini, E.** (2019, September 17). Limited success for Algeria's 150 MW PV tender. *PV Magazine*. <https://www.pv-magazine.com/2019/06/17/limited-success-for-algerias-150-mw-pv-tender/>
- Boersma, T., Vandendriessche, M., & Leber, A.** (2015). *Shale gas in Algeria: No quick fix*. Brookings Institution. https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2016/07/no_quick_fix_final-2.pdf
- Boudries-Khellaf, R., & Khellaf, A.** (2003). *Estimation de la production de l'hydrogène solaire au sud Algérie*.
- Bouznit, M., Pablo-Romero, M., & Sánchez-Braza, A.** (2020). Measures to promote renewable energy for electricity generation in Algeria. *Sustainability*, 12(4), 1468. <https://doi.org/10.3390/su12041468>
- BP.** (2018). *BP energy outlook – 2018 edition*. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2018.pdf>
- BP.** (2019). *BP energy outlook – 2019 edition*. <https://www.bp.com/energyoutlook>
- BP.** (2020). *Statistical review of world energy 2020 – 69th edition*. London.
- BTI – Bertelsmann Transformation Index.** (2020). *Algeria country report 2020*. <https://www.bti-project.org/en/reports/country-report-DZA-2020.html>
- CEREF – Commission for Renewable Energy and Energy Efficiency.** (2020). *Transition énergétique en Algérie*.
- Darby, M.** (2015, September 4). *Algeria targets 7-22% greenhouse gas emissions cut by 2030*. Climate Home News. <https://www.climatechange-news.com/2015/09/04/algeria-targets-7-22-greenhouse-gas-emissions-cut-by-2030/>
- DENA – Deutsche Energie-Agentur.** (2014). *Länderprofil Algerien*. https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/3217_Laenderprofil_Algerien_REG.pdf
- Energydata.** (2017). *Algeria – Electricity transmission network*. <https://energydata.info/dataset/algeria-electricity-transmission-network-2017>
- energypedia.** (2020, December 16). *Algeria energy situation*. https://energypedia.info/wiki/Algeria_Energy_Situation
- European Commission.** (2020). *A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe*. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewiCmuasdrvAhVNgf0HHe6sDd4QFjA-CegQIBhAD&url=https%3A%2F%2Fec.europa.eu%2Fcommission%2Fpresscorner%2Fapi%2Ffiles%2Fattachment%2F865942%2FEU_Hydrogen_Strategy.pdf&usq=AOvVawOC2qrWCJBh6z9arLPPwMjw
- European Commission DG Energy.** (2019). *Energy efficiency first principle*. 5th Plenary Meeting Concerted Action for the EED, Zagreb.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations.** (2020). *6.4.2 Water stress | Sustainable Development Goals*. <http://www.fao.org/sustainable-development-goals/indicators/642/en/>
- Fischedick, M., Holtz, G., Fink, T., Amroune, S., & Wehinger, F.** (2020). A phase model for the low-carbon transformation of energy systems in the MENA region. *Energy Transitions*, 4, 127-139. <https://doi.org/10.1007/s41825-020-00027-w>
- Fischedick, M., Samadi, S., Hoffmann, C., Henning, H.-M., Pregger, T., Leprich, U., & Schmidt, M.** (2014). *Phasen der Energiesystemtransformation (FVEE – Themen)*. FVEE. https://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th2014/th2014_03_01.pdf
- Geels, F. W.** (2012). A socio-technical analysis of low-carbon transitions: Introducing the multi-level perspective into transport studies. *Journal of Transport Geography*, 24, 471-482. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.01.021>
- Geels, F. W., & Schot, J.** (2007). Typology of sociotechnical transition pathways. *Research Policy*, 36(3), 399–417. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.01.003>
- GTAI – Germany Trade and Invest.** (2020, January 16). *SWOT-Analyse – Algerien*. <https://www.gtai.de/gtai-de/trade/wirtschaftsumfeld/swot-analyse/algerien/swot-analyse-algerien-209470>
- Haouari, F.** (2017, September 15). *Un groupement de 12 entreprises créent le cluster énergie solaire*. *Algerie Eco*. <https://www.algerie-eco.com/2017/09/15/groupement-de-12-entreprises-creent-cluster-energie-solaire/>
- Harrouz, A., Abbes, M., Colak, I., & Kayisli, K.** (2017). *Smart grid and renewable Energy in Algeria*. 6th International Conference on Renewable Energy Research and Applications.
- Hasni, T., Malek, R., & Zouiouche, N.** (2021). L'Algérie 100% énergies renouvelables : Recommandations pour une stratégie nationale de transition énergétique. Friedrich-Ebert-Stiftung. <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/algerien/17412.pdf>
- Henle, F., & Schmitz, P.** (2020, June 25). *Algerische Unternehmen hoffen auf eine Erholung 2021*. Germany Trade and Invest. <https://www.gtai.de/gtai-de/trade/branchen/branchencheck/algerien/algerische-unternehmen-hoffen-auf-eine-erholung-2021-260366>
- Henning, H.-M., Palzer, A., Pape, C., Borggreffe, F., Jachmann, H., & Fischedick, M.** (2015). Phasen der Transformation des Energiesystems. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 65 (Heft 1/2), 10-13.
- Hochberg, M.** (2020, October 20). *Algeria charts a path for renewable energy sector development*. Middle East Institute. <https://www.mei.edu/publications/algeria-charts-path-renewable-energy-sector-development>
- Holtz, G., Fink, T., Amroune, S., & Fischedick, M.** (2018). *Development of a phase model for categorizing and supporting the sustainable transformation of energy systems in the MENA region*. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie.

- Hoogma, R., Weber, M., & Elzen, B. (2005). Integrated long-term strategies to induce regime shifts towards sustainability: The approach of strategic niche management. In Weber M., Hemmelskamp J. (Eds.), *Towards Environmental Innovation Systems* (pp. 209–236). Berlin: Springer.
- IEA – International Energy Agency. (2017). *World energy outlook 2017*. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2017>
- IEA – International Energy Agency. (2020a). *Data and statistics*. <https://www.iea.org/countries>
- IEA – International Energy Agency. (2020b, June 2). *Value of fossil-fuel subsidies by fuel in the top 25 countries, 2019*. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/value-of-fossil-fuel-subsidies-by-fuel-in-the-top-25-countries-2019>
- IEA – International Energy Agency. (2020c). *Covid-19 and the resilience of renewables – Renewables 2020 – Analysis*. <https://www.iea.org/reports/renewables-2020/covid-19-and-the-resilience-of-renewables>
- IEA-ETSAP, & IRENA – International Energy Agency, Energy Technology Systems Analysis, & International Renewable Energy Agency. (2012). *Water desalination using renewable energy* [Technology brief]. http://iea-etsap.org/E-TechDS/PDF/I12IR_Desalin_MI_Jan2013_final_GSOK.pdf
- INDC-Algeria. (2015). *The People's democratic republic of Algeria*. [https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Algeria%20First/Algeria%20-%20INDC%20\(English%20unofficial%20translation\)%20September%2003,2015.pdf](https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Algeria%20First/Algeria%20-%20INDC%20(English%20unofficial%20translation)%20September%2003,2015.pdf)
- IRENA – International Renewable Energy Agency. (2014). *Pan-Arab renewable energy strategy 2030: Roadmaps of actions for implementation*. (S. 108). International Renewable Energy Agency (IRENA); League of Arab States. https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2014/IRENA_Pan-Arab_Strategy_June-2014.pdf
- IRENA – International Renewable Energy Agency. (2018). *Global energy transformation: A roadmap to 2050*. https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_Report_GET_2018.pdf
- IRENA – International Renewable Energy Agency. (2019). *Renewable power generation costs in 2018*. <https://www.irena.org/publications/2019/May/Renewable-power-generation-costs-in-2018>
- IRENA – International Renewable Energy Agency. (2020). *Renewable capacity statistics 2020*.
- Kefaifi, A. (2020, February 12). *Pour paver la route de la transition énergétique – L'hydrogène comme source alternative*. Liberté. <https://www.liberte-algerie.com/contribution/lhydrogene-comme-source-alternative-333723>
- Loorbach, D. (2007). *Transition management: New mode of governance for sustainable development*. Utrecht: International Books.
- Mansour, T. (2020a, September 29). *Le grossiste de l'électricité*. El-Djazair.com. <https://www.eldjazaircom.dz/2020/09/29/le-grossiste-de-lelectricite/>
- Mansour, T. (2020b, September 29). *La vitrine du groupe Sonelgaz*. El-Djazair.com. <https://www.eldjazaircom.dz/2020/09/29/la-vitrine-du-groupe-sonelgaz/>
- Matar, J. (2020). *The Pan-Arab electricity market – From vision to execution and results*.
- Ministère De L'Énergie. (2020, December 16). *Electricité et gaz*. <https://www.energy.gov.dz/?rubrique=electricite-et-gaz>
- Mirkin, B. (2010). *Arab Human Development Report – Population levels, trends and policies in the Arab region: Challenges and opportunities*. Research Paper Series. UNDP.
- Oxford Business Group (2016): *Modernisation of Algeria's railway network contributing to performance improvements*. <https://oxfordbusinessgroup.com/analysis/all-aboard-expansion-railway-network-will-enable-it-play-larger-role-overland-transport>
- Platzer, W., Boie, I., Ragwitz, M., Kost, C., Thoma, J., Vogel, A., Fluri, T., Pfeiffer, W., Burmeister, F., Tham, N., Pudlik, M., Bohn, S., Agsten, M., Bretschneider, P., Westermann, D., Kranzer, D., & Schlegl, T. (2016). *Supergrid – Approach for the integration of renewable energy in Europe and North Africa*. Fraunhofer. https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/Study_Supergrid_final_160412_.pdf
- RCREEE – Regional Center for Renewable Energy and Energy Efficiency (2012). *Renewable energy country profile: Algeria*. https://www.rcreee.org/sites/default/files/algeria_fact_sheet_print.pdf
- RCREEE- Regional Center for Renewable Energy and Energy Efficiency (2019). *Arab future energy index (AFEX) – Renewable energy 2019*. <https://www.rcreee.org/content/arab-future-energy-index-renewable-energy-2019-reportREN21>. (2019). *Renewables 2019 global status report*. REN21 Secretariat. <https://www.ren21.net/gsr-2019/>
- Sahnoune, F., & Imessad, K. (2017). Analysis and impact of the measures to mitigate climate change in Algeria. *Energy Procedia*, 136, 495–500. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.263>
- Shen, H., Dai, Q., Wu, Q., Wu, J., Zhou, Q., Wang, J., Yang, W., Pestana, R., & Pastor, R. (2018). The state-of-the-arts of the study on grid interconnection between Iberian Peninsula and West Maghreb region. *Global Energy Interconnection*, 1(1), 20–28. <https://doi.org/10.14171/j.2096-5117.gei.2018.01.003>
- Stahl, T. (2020, June 8). *USA bremst Ölförderung: Algerien plant riesige Solaranlagen mit 4-Gigawatt-Power*. EFahrer.com. https://efahrer.chip.de/news/usa-bremst-oelfoerderung-algerien-plant-riesige-solaranlagen-mit-4-gigawatt-power_102451
- Statista. (2020). *OPEC global crude oil exports by country 2019*. <https://www.statista.com/statistics/264199/global-oil-exports-of-opec-countries/>
- Tuerk, A., Frieden, D., Steiner, D., Pasicko, R., Kordic, Z., & Karakosta, C. (2015). *Bringing Europe and Third countries closer together through renewable energies*. Better.
- Voß, J.-P., Smith, A., & Grin, J. (2009). Designing long-term policy: Rethinking transition management. *Policy Sciences*, 42(4), 275–302.
- Weber, K. M., & Rohrer, H. (2012). Legitimizing research, technology and innovation policies for transformative change: Combining insights from innovation systems and multi-level perspective in a comprehensive »failures« framework. *Research Policy*, 41(6), 1037–1047.
- Xinhua. (2019, July 16). *Uranium-rich Algeria plans to build nuke power plant: minister*. Xinhuanet.com. http://www.xinhuanet.com/english/2019-07/16/c_138229485.htm

LISTE DES ABRÉVIATIONS

APRUE	Agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie	PtX	Power-to-X
CCU	Carbon capture and use	PV	Photovoltaïque
CDER	Centre de développement des énergies renouvelables	R&D	Research & Development
CEREF	Commissariat aux énergies renouvelables et à l'efficacité énergétique	RE	Renewable Energy
CNG	Compressed natural gas	SADEG	Société algérienne de distribution de l'électricité et du gaz
COVID-19	Coronavirus disease 2019	SDA	Société de distribution algérienne – Alger
CREG	Commission de régulation de l'électricité et du gaz	SDC	Société de distribution de l'électricité et du gaz du Centre
CSP	Concentrated solar power	SDE	Société de distribution de l'électricité et du gaz de l'Est
DA	Dinar algérien	SDO	Société de distribution de l'électricité et du gaz de l'Ouest
UE	Union européenne	SKTM	SharikatKahrabawaTakatMoutadjadida
VE	Véhicule électrique	SPE	Société algérienne de production de l'électricité -Sonelgaz
FiT	Feed-in tariff	USD	US-Dollar
FNER	Fond national pour les énergies renouvelables		
FNME	Fond national pour la maîtrise de l'énergie		
GDP	Gross Domestic Product		
GHG	Greenhouse gas		
GRTE	Société algérienne de gestion du réseau de transport de l'électricité		
GRTG	Société algérienne de gestion du réseau de transport de gaz		
IAER	Institut algérien des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique		
ICT	Information and communication technologies		
IPP	Independent Power Producer		
LNG	Liquefied natural gas		
LPG	Liquefied petroleum gas		
MENA	Middle East and North Africa		
MLP	Multi-level perspective		
MoU	Memorandum of Understanding		
NDC	Nationally Determined Contributions		
OPEC	Organisation of the Petroleum Exporting Countries		
PNREE	Programme national des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique		
PPA	Power Purchase Agreement		
PtF	Power-to-fuel		
PtG	Power-to-gas		

LISTE DES UNITÉS DE MESURES

CO ₂	Dioxyde de carbone
GWh	Gigawatt heure
ktoe	Kilo tonnes équivalent pétrole
kV	Kilo volts
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt heure
m/s	Mètre par seconde
Mt	Mégatonne
Mtep	Millions de tonnes équivalent pétrole
MW	mégawatt
MWp	Mégawatt crête
TWh	Téravatt heure
W / m ²	Watts par mètre carré

LISTE DES FIGURES

Figure 2-1	La perspective à plusieurs niveaux	6
Figure 2-2	Modèle de phases de transition pour la région MENA	7
Figure 4-1	Consommation d'énergie finale totale (en ktep), Algérie 1990-2018	16
Figure 4-2	Approvisionnement énergétique total (en ktep), Algérie 1990-2018	16
Figure 4-3	Consommation d'électricité (en TWh), Algérie 1990-2018	17
Figure 4-4	Production d'électricité par source (en TWh), Algérie 1990-2018	17
Figure 4-5	Importations nettes d'énergie (en Mtep), Algérie 1990-2018	19
Figure 4-6	Mix de production d'électricité (en GWh), Algérie 2018	19
Figure 4-7	Développement de la production d'électricité renouvelable par source (en GWh) et introduction de mesures de politique énergétique, Algérie 1990-2018	22
Figure 4-8	Réseau de transport d'électricité de l'Algérie montrant les principaux centres de charge	23
Figure 4-9	Structure du marché de l'électricité avec les autorités et entreprises compétentes	24
Figure 4-10	Émissions de CO ₂ par secteur (en Mt CO ₂), Algérie 2005-2018	27
Figure 4-11	Émissions de CO ₂ liées à la production d'électricité et de chaleur par source d'énergie (en Mt CO ₂), Algérie 2018	27
Figure 4-12	Vue d'ensemble du statut de l'Algérie dans le modèle de transition du système énergétique	34

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3-1	Développements au cours des phases de transition	12
Tableau 4-1	Projets opérationnels d'énergies renouvelables en Algérie	20
Tableau 4-2	Programme Énergies Renouvelables 2030 en Algérie (en MWc)	21
Tableau 4-3	Tendances et objectifs actuels de la transition énergétique	29

À PROPOS DES AUTEURS

Sibel Raquel Ersoy (M.Sc) travaille depuis 2019 en tant que chercheuse junior dans l'unité de recherche «Transitions énergétiques internationales» de l'Institut Wuppertal. Ses principaux intérêts de recherche sont les voies de transition vers des systèmes énergétiques durables dans le Sud et la modélisation du lien entre l'eau et l'énergie. Elle est l'autrice d'une recherche régionale spécifique sur le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord.

Le Dr. Julia Terrapon-Pfaff est chercheuse principale à l'Institut Wuppertal (Allemagne). Son domaine de recherche principal est la transition des systèmes énergétiques durables dans les pays en développement et émergents, avec un accent particulier sur le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord.

Expert.es consulté.es en Algérie :

Zineb Mechieche est ingénieure de recherche et spécialiste de la communication environnementale. Elle prépare actuellement un master en climat et médias.

Tewfik Hasni est un consultant expert en transition énergétique et un ingénieur en raffinage et pétrochimie. Il a passé l'essentiel de sa carrière chez SONATRACH. En 2002, il a fondé New Energy Algeria (NEAL), une société de développement des énergies renouvelables.

Solar Energy Cluster est un groupement à but non lucratif d'acteurs des secteurs de l'économie, de la recherche, du développement et de l'enseignement supérieur. Le but du Cluster est de créer des synergies entre ses membres. C'est aussi une force de proposition.

À PROPOS DE CETTE ÉTUDE

Cette étude est menée dans le cadre d'un projet régional appliquant le modèle de phases de transition énergétique de l'Institut allemand Wuppertal à différents pays de la région MENA. Coordonné par le projet régional MENA sur le climat et l'énergie basé en Jordanie de la Fondation Friedrich Ebert, le projet contribue à une meilleure compréhension de la situation des processus de transition énergétique dans les pays respectifs. Il propose également des enseignements clés pour l'ensemble de la région sur la base des résultats des pays analysés. Cette démarche s'aligne sur les stratégies de la FES rassemblant des représentants du gouvernement, des organisations de la société civile et soutenant la recherche, tout en fournissant des recommandations politiques pour promouvoir et réaliser une transition énergétique socialement juste et une justice climatique pour tous.

IMPRESSION

Friedrich-Ebert-Stiftung | Bureau Algérie
175 blvd Krim Belkacem | Telemly | 16000 Alger
<https://algeria.fes.de>

Commande de publications :
info@fes-algeria.org

Traduction de l'anglais : Nouredine Bessadi.
Relecture : Sarah Haidar

L'utilisation commerciale des médias publiés par la Friedrich-Ebert-Stiftung (FES) est interdite sans autorisation écrite de la FES.