



# FEM43-04

## FEMISE RESEARCH PAPERS

---

***Les stratégies de développement des  
énergies renouvelables dans la région MENA :  
Etude comparative et couloirs de développement***

***Directed by: Dr. Myriam BEN SAAD  
(LEAD, University of Toulon, France)***

*With Contributions by:*

*Amandine GNONLONFIN (LEAD, University of Toulon, France)*

*Naceur KHRAIEF (Université de Sousse, Tunisia)*

*Michel DIMOU (LEAD, University of Toulon, France)*

***September 2019***

---



Ce rapport a été réalisé avec le soutien financier de l'Union Européenne dans le contexte du projet UE-FEMISE sur: "Support to economic research, studies and dialogue of the Euro-Mediterranean Partnership". Le contenu du rapport relève de la seule responsabilité des auteurs et ne peut en aucun cas être considéré comme reflétant l'opinion de l'Union Européenne.

This document has been produced with the financial assistance of the European Union within the context of the EU-FEMISE project "Support to economic research, studies and dialogue of the Euro-Mediterranean Partnership". The contents of this document are the sole responsibility of the authors and can under no circumstances be regarded as reflecting the position of the European Union.

---

*FEMISE Round 3*

---

---

*Les stratégies de développement des énergies  
renouvelables dans la région MENA :*

*Etude comparative et couloirs de  
développement*

---

Equipe projet :

**Myriam BEN SAAD**

**Amandine GNONLONFIN**

**Naceur KHRAIEF**

**Michel DIMOU**

## 1. Introduction

Ces dernières années, les pays de la région MENA (Middle East and North Africa) ont été frappés par des chocs d'instabilité politique aussi bien internes qu'externes. Dans un contexte d'équilibre économique et social fragile, ces chocs apportent un lot de nouveaux défis, notamment la crise des réfugiés et de déplacement de la population. Cependant, ces nouveaux défis ne doivent pas détourner les pays MENA de leurs efforts sur les plans économique et environnemental pour s'adapter au changement climatique et pour un développement durable et inclusif.

Pour les prochaines années, la région doit répondre à plusieurs enjeux dans le domaine de l'énergie. Le premier est la satisfaction de ses besoins en énergie. Avec l'urbanisation et la croissance de la population, la croissance économique et le réchauffement climatique qui se traduit par l'augmentation des moyennes de température et la diminution des précipitations, la demande en énergie devrait doubler d'ici 2040 (MEDENER/OME, 2016). La région risque alors de ne pas pouvoir répondre aux futurs besoins de sa population en électricité (Camos et al., 2018). Le deuxième enjeu est la réduction de la dépendance au pétrole des pays net-exportateurs (Atalay et al., 2016). Le troisième enjeu concerne les pays net-importateurs qui doivent réduire leur dépendance aux fluctuations du prix du pétrole qui peuvent, à long termes, affecter négativement leur compétitivité économique. La dotation de la région en sources primaires pour la production des énergies renouvelables un atout qui permettra de répondre à ces enjeux mais aussi à la réduction des émissions de gaz à effet de serres (Bhutto et al.,2014). Des auteurs ont montré un lien positif entre l'utilisation des énergies renouvelables et la croissance économique d'une part, et les effets sur la réduction des émissions de CO2 d'autre part (Chien & Hu, 2007 ; Farhani et al., 2014 ; 2014 ; Dogan, 2016 ; Amri, 2017 ; Brini et al., 2017 ; Bélaïd & Youssef, 2017 ; Kahia et al.,2017 ; Kahia et al, 2017-a). Ces études confirment, à l'échelle de la région, l'existence d'une relation positive de court et de long terme entre la production des énergies renouvelables et le PIB.

Depuis la fin des années 90, plusieurs pays MENA se sont engagés en faveur du développement des énergies renouvelables. Dans le but de relever le double défi économique et environnemental, le Plan Solaire Méditerranéen (Paris, 2008) encourage cet engagement avec l'ouverture au marché européen et l'augmentation de la production de l'électricité renouvelable. Dès lors,

plusieurs projets d'investissement ont été mise en œuvre pour augmenter la production des énergies renouvelables dans la région. Toutefois, les efforts d'investissement dans ces énergies varient à la l'échelle d'un pays à l'autre et il manque à ce jour des éléments de comparaison de la position des pays par rapport à leur engagement politique. La problématique est non seulement de savoir comment l'engagement politique des pays MENA affecte leur offre en énergies renouvelables, mais aussi de savoir les sources d'énergies renouvelables qui ont été privilégiées.

La littérature sur la consommation d'énergie a mis l'accent sur la relation de causalité entre consommation d'énergie et croissance économique avec quatre hypothèses testables : l'hypothèse de la croissance, l'hypothèse de conservation, l'hypothèse de la rétroaction et l'hypothèse de neutralité. Nous contribuons à cette littérature en testant la validité empirique de la fonction de production néo-classique. Notre apport principal est la prise en compte de la cointégration et les asymétries non linéaire et entre les variables avec le modèle Nonlinear ARDL (NARDL) (Banerjee et al., 1998 ; Pesaran et al., 2001 ; Shin et al., 2014). Notre objectif est de produire des éléments de comparaison entre les pays MENA et d'étudier les stratégies de production de l'électricité renouvelable qui permettent de créer une dynamique de développement durable à long terme.

Ce rapport est structuré comme suit. La section 2, nous examinons les critères de durabilité des sources primaires de production de l'électricité renouvelable. Les sections 3 et 4 reviennent sur les sources primaires de production des énergies renouvelables dans les pays MENA, les objectifs du Plan Solaire Méditerranéen et propose une analyse de la situation en 2015, de chaque pays au regard des sources d'énergies renouvelables mobilisées. La section 5, fait une revue de la littérature sur la relation entre les ER et la croissance/développement. La section 6 décrit les données, la méthodologie utilisée, les modèles empiriques et leurs résultats. Enfin, la section 7 conclue avec quelques recommandations de politiques économiques.

## **2. La multi-dimensionnalité des sources primaires de production d'électricité renouvelable**

Quelles sont les sources de production d'électricité les plus durables ? La réponse à cette question est une étape dans la définition d'une stratégie de développement de la production d'électricité renouvelable. Nous proposons dans cette session une approche de réponse à cette question en se basant sur la notion de la durabilité. Nous cherchons d'une part, à identifier les critères

d'évaluation du caractère « durable » des sources primaires de production d'électricité et d'autre part, à identifier les sources primaires les plus « durables » au regard de ces critères.

L'Agence Internationale d'Énergie Renouvelable (IRENA) distingue six sources primaires d'énergie renouvelable (ER) que sont la biomasse, la géothermie, l'hydraulique, l'océan, le soleil et le vent. La biomasse énergie réfère à la production d'énergie à partir du bois, des déchets d'animaux, du charbon de bois traditionnel, de la bagasse ou autres végétaux et du biogaz issu de la digestion anaérobie des résidus. L'énergie géothermique est produite à partir de la chaleur souterraine tandis que pour l'énergie océanique, ce sont des marées, des vagues et courants qui sont transformés en énergie. Quant à l'énergie hydraulique, elle est produite à partir des chutes d'eau. Enfin l'énergie solaire et l'énergie éolienne sont le fruit d'une transformation du rayonnement solaire et du souffle du vent. Contrairement aux énergies fossiles (pétrole, charbon, lignite, gaz naturel), ces sources sont des flux « inépuisables » ayant le caractère de se renouveler de façon perpétuelle dans le temps. Cependant, l'évaluation de la durabilité d'une source de production d'ER ne peut se limiter à son seul impact sur l'environnement en termes d'économie d'émission de CO<sub>2</sub> et d'économie des ressources primaires. La question de la durabilité des sources, est multidimensionnelle et touche les aspects aussi bien environnemental, économique, social et technique (Wang, Jing, Zhang, & Zhao, 2009). La définition d'une stratégie de développement de la production d'électricité renouvelable dans un objectif de durabilité doit donc se baser sur une évaluation de la performance multidimensionnelle de chaque source. Cet exercice d'évaluation permettra d'une part de tenir compte des avantages et désavantages de chaque source et de la complexité des interactions entre les systèmes socioéconomique et biophysique en jeux. D'autre part, il devra conduire à une priorisation des sources afin d'optimiser leur impact sur l'écosystème dans son ensemble.

Wang, Jing, Zhang, & Zhao (2009) proposent une revue des critères théoriques et empiriques d'évaluation de la performance multidimensionnelle des sources primaires de production d'ER. Sur le plan technique, les critères les plus utilisés dans la littérature englobent : (i) l'efficacité référant à la quantité d'énergie qu'on peut tirer de la source primaire, (ii) l'exergie mesurée la qualité thermodynamique de l'énergie produite, (iii) le ratio énergie primaire mesurée par la quantité d'énergie fossile économisée, (iv) la sécurité référant aux conditions de travail sur la centrale d'exploitation et de respect des normes environnementales garantissant la sécurité publique, (v) la fiabilité de la technologie définie par la capacité à assurer la fonction de

fourniture d'énergie (fréquence de panne technique) et à produire le maximum d'énergie sur une période donnée par rapport à la capacité installée et (vi) maturité mesurant le degré de diffusion de la technologie d'exploitation au niveau régional, national ou international.

Sur le plan économique, les évaluations prennent en compte des paramètres relatifs aux coûts d'investissement et de maintenance des centrales d'exploitation, aux coûts des énergies fossiles nécessaires à l'exploitation (input), aux coûts de l'énergie produite (l'output), à la durée de vie des investissements et le temps de retour sur investissement. Au-delà les économies d'émissions (CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, les particules, etc.) et d'économie des ressources fossiles, le critère environnemental considère les impacts sur l'écosystème dans son ensemble à savoir l'utilisation du sol, l'utilisation de l'eau, la production de bruit, les impacts sur l'aménité et la biodiversité, la contamination du sol et la production de déchets solides. Le critère social questionne les avantages sociaux en termes de création d'emploi, de bien-être social et de revenu. Il tient compte aussi de l'acceptation sociale et politique qui réfère respectivement à l'opinion de la société civile par rapport aux investissements et à sa cohérence avec la politique gouvernementale sur les plans législatif et administratif et en matière de développement technologique. Ce critère est très important pour les régions moins développées car il permet de mesurer le progrès social induit par le projet énergétique. Dombi et al. (2014) estiment que les retombés sur l'économie locale (création de nouveaux emplois et augmentation des revenus des entreprises, des ménages et des collectivités) ont plus de poids que les conséquences de réduction d'émissions polluantes et d'utilisation de terre agricole, de forêts ou des réserves naturelles. Dans sa revue des indicateurs de mesure de la durabilité, Liu (2014) montre que l'ensemble des critères permet de prendre en compte la dimension temporelle inhérente à la notion de durabilité, c'est-à-dire la prise en compte des besoins des générations futures.

Avec des analyses multi-critères, la littérature propose des classements des sources de production d'ER. Haddad, Liqid, & Ferreira, 2017 analysent la durabilité des sources de l'électricité renouvelable en Algérie et soulignent l'importance des critères sociaux et environnementaux. Les auteurs ont évalué cinq sources à partir de treize indicateurs environnementaux, économiques, sociaux et techniques. Les pondérations attribuées aux indicateurs liés à la sécurité, aux avantages sociaux et à l'acceptabilité sociale montrent la primauté de ces critères sur le critère économique qui n'arrive qu'en troisième position. Leurs résultats donnent une priorité à la production d'électricité solaire qui enregistre le meilleur score. L'éolienne, la géothémale et la biomasse sont

respectivement classées en deuxième, troisième et quatrième position. La dernière position revient à la source hydraulique. Barros et al., (2015) aboutissent à un classement comparable des sources de production d'électricité en considérant seize indicateurs environnementaux, économiques et sociaux. Leurs résultats placent au deux premiers rangs les sources de production d'électricité solaire et éolienne. Pour Malkawi et al.,(2017), l'éolienne et la biomasse sont les sources d'électricité renouvelable qui ont obtenu les meilleures scores.

### **3. Les sources primaires de production d'électricité renouvelable dans la région MENA**

Cette section présente les sources primaires de production d'énergie et les enjeux de développement de la production d'électricité renouvelable dans la région MENA. Cette dernière désigne la grande région qui va de la Mauritanie en passant par les pays le nord de l'Afrique, le moyen orient jusqu'au sud-ouest de l'Asie. La liste des pays de la région varie selon les organisations. Dans le cadre de cette étude, nous retenons la composition des Nations Unies, plus la Turquie et à l'exception de la Mauritanie. Elle est composée des pays au Sud et à l'Est de la Méditerranée (PSEM) qui comprend le Maroc, l'Algérie, la Tunisie, la Libye, l'Egypte, la Jordanie, l'Israël, le Liban, la Syrie et la Turquie, et les pays du Golf (Bahreïn, Koweït, Oman, Arabie Saoudite, Qatar, Emirats Arabes, Iran et Irak).

La région est dotée de 52% des réserves prouvées en pétrole et de 42% des réserves prouvées en gaz naturel. Ces réserves sont concentrées dans les pays du Golf en plus de l'Algérie, la Libye et la Syrie qui sont les pays net exportateurs de pétrole et du gaz. La région est aussi dotée des ressources naturelles qui offrent des opportunités pour la production d'énergies propres en émission de carbone, en particulier l'énergie solaire et éolienne (Tableau 1). Sa position géographique lui confère l'avantage de posséder le meilleur rayonnement solaire au monde. Elle bénéficie d'un rayonnement solaire supérieur à 2000 Kwh/m<sup>2</sup>/an, ce qui est particulièrement favorable au développement des technologies de production d'énergie solaire. Bordée par l'océan Atlantique, la Mer rouge et la Méditerranée, le potentiel pour le développement d'énergie à partir du vent est aussi très significatif. La vitesse du vent est en moyenne de 7m/s dans les pays concernés. Au-delà du potentiel en production d'énergie solaire et éolienne, la région possède aussi des ressources géothermales, en biomasse (y compris les déchets) et en hydraulique qui peuvent être sources de production d'énergie à bas carbone. L'Algérie, le Maroc, l'Arabie Saoudite et le Yémen ont sites géothermiques avec des températures supérieures à 200 ° C à 5000 m, ce qui constitue un gisement potentiellement exploitable. La biomasse présente aussi des

potentiels pour le développement de la production d'algue destinée à la production du biocarburant (Abdmouleh et al., 2015). Cependant, l'électricité solaire offre plus d'opportunités et représente plus de 60% du potentiel d'électricité renouvelable économiquement et techniquement exploitables dans la région. Certains PSEM dispose encore d'un potentiel de production d'électricité hydraulique. Cependant, ce potentiel est relativement limité comparativement au potentiel solaire et éolien car les ressources hydrauliques disponibles sont déjà exploitées à leur capacité maximum.

*Tableau 1 : Potentiel des sources primaires de production d'électricité renouvelable*

Pays	Vent (onshore et offshore)	Vague et marée	Géothermal	Hydraulique	Solaire
Algérie	1,3%	0%	0%	0,2%	98,5%
Egypte	20%	0,2%	0%	1,3%	78,5%
Libye	31%	1%	0%	0%	68%
Maroc	28%	0,6%	0%	2,7%	68,7%
Tunisie	27%	0,6%	0%	0,2%	72,2%
Bahreïn	9%	0,2%	0%	0%	90,8%
Koweït	12%	0,2%	0%	0%	87,8%
Oman	22%	0,5%	0%	0%	77,5%
Qatar	11%	0,2%	0%	0%	88,8%
Arabie Saoudite	11%	0,2%	0%	0%	88,8%
Emirats Arabes	8%	0,1%	0%	0%	91,9%
Israël	7%	0,1%	0%	0%	92,9%
Jordanie	30%	0%	0%	0,1%	69,9%
Liban	18%	0,3%	0%	2,1%	79,6%
Syrie	36,5%	0%	0%	5,9%	57,6%
Iran	13,5%	0,1%	0%	2,2%	82,5%
Irak	25%	0%	0%	4,5%	70,5%
Yémen	9%	2%	1,3%	0%	87,7%

Source : Griffiths (2017)

Malgré ces dotations en sources de production d'ER<sup>1</sup>, leur part dans la consommation totale d'énergie n'est que 11% en 2013 (MEDENER/OME, 2016). Une explication de ce constant est la distorsion du prix du pétrole et du gaz naturel due aux subventions publiques (FEMIP, 2010). Dans les pays net-importateurs de pétrole, le prix du mégawattheure de l'électricité produite à partir du pétrole est au moins le triple du prix dans les pays net-exportateurs. Le prix des énergies fossiles est subventionné à plus de 65% au Koweït, au Qatar, aux Emirats Arabes et en Arabie

<sup>1</sup> Les énergies renouvelables comprennent la production d'électricité, de la chaleur et de biocarburants.



Saoudite. Cette situation rend le prix de l'électricité produite à partir du pétrole plus compétitif (Abdmouleh et al., 2015).

Pourtant, la production d'électricité renouvelable représente de grands enjeux pour la région, autre que l'enjeu de réduction de la production des gaz à effets de serre. D'abord, un enjeu de gestion de la demande d'électricité. Le dernier rapport de la Banque Mondiale souligne la difficulté des pays de la région à satisfaire leur demande future en électricité. Alors qu'elle détient les plus grandes réserves pétrolières et gazières du monde et réussit à maintenir des taux d'accès à l'électricité proches de 100 % dans la majorité de ses économies, la région risque de ne pas pouvoir répondre aux futurs besoins de sa population de plus en plus nombreuse et de ses activités industrielles et commerciales (Camos et al., 2018). Avec l'accroissement de la population, l'urbanisation et la croissance économique, les pays de la région devraient connaître un doublement de leur demande énergétique d'ici 2040 (MEDENER/OME, 2016). Avec les effets du changement climatique qui se traduit par une augmentation des moyennes des températures et une diminution des précipitations, la demande d'électricité pour les besoins de climatisation et de demande en eau potable devraient connaître une augmentation significative dans les prochaines années. Les ressources en pétrole et en gaz étant limitées, le développement de l'électricité renouvelable pourrait permettre de satisfaire une partie de la demande d'électricité. En particulier, l'électricité solaire, en plus d'être la source la plus disponible et la plus « durable » au regard des critères présentés dans la section précédente, présente l'avantage de la coïncidence entre les pics de production et de demande pour la climatisation. Elle peut aussi satisfaire la demande d'électricité pour la production d'eau potable dont la production mobilise jusqu'à 12% de la consommation actuelle d'électricité dans certains pays. Par ailleurs, la faible concurrence sur l'usage des 90% de la superficie de la région, située en zone désertique, offre des possibilités de développement des fermes solaires (Bhutto et al., 2014 ; Abdmouleh et al., 2015).

Ensuite, le développement de la production d'électricité renouvelable a un enjeu économique. Pour les pays net-exportateurs de pétrole dont les revenus du pétrole représentent au moins 40% des exportations et 80% des recettes de l'Etat, l'enjeu principal est la réduction de la dépendance de leur économie du pétrole (Atalay et al., 2016). Les ER constituent un secteur potentiel de diversification ne nécessitant pas un changement structurel majeur avec le double avantage de réduire les émissions de gaz à effet de serre et d'être source de revenu (Bhutto et al., 2014). Par

exemple une stratégie de développement de d'électricité renouvelable pour satisfaire le marché intérieur pourrait permettre de libérer des ressources pétrolières pour le marché international. L'enjeu pour les pays net-importateurs de la région est de réduire leur dépendance des fluctuations du prix du pétrole qui, à long-terme, peut réduire la compétitivité et la croissance de leur économie. En effet, sur la période 2011-2016, le prix du pétrole a connu une variation de 50% passant de \$100 à \$50. Même si l'évolution future du prix du pétrole est incertaine, il est fort probable qu'à long-terme, la demande conduit à une tendance croissante du prix du pétrole et du gaz naturel (Griffiths, 2017). Selon Kung et al. (2017) le développement des ER dans la région MENA peut être un complément à la production d'énergie globale.

#### **4. Plan Solaire Méditerranéen : objectifs, opportunités et stratégies de développement de l'électricité renouvelable.**

Le Plan Solaire Méditerranéen, lancé en 2008 dans le cadre de l'Union pour la Méditerranée, est un des six projets prioritaires<sup>2</sup> de la coopération entre les pays de l'Union Européenne (pays UE) et les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée (PSEM)<sup>3</sup>. L'objectif principal de ce plan est de créer les conditions favorables à l'augmentation de la production des ER des pays MENA. Il affiche trois objectifs principaux relatifs à la production d'électricité renouvelable et à l'efficacité énergétique. Le premier objectif vise à produire, d'ici 2020, 20 gigawatts d'électricité renouvelable de différente source (solaire, éolienne, hydroélectricité, biomasse, etc.). Cette production supplémentaire d'électricité peut aider à satisfaire une partie de la demande croissante d'énergie dans les PSEM. Le deuxième objectif est l'accès des PSEM au marché européen d'électricité. La mutualisation des sources d'énergie renouvelable, par le développement de lignes d'interconnexion entre les pays UE et les PSEM, permettra d'augmenter l'attractivité des investissements. Cette possibilité d'exporter une partie de l'énergie produite augmente la taille du marché, mutualise les risques et les coûts et améliore ainsi la rentabilité des investissements dans la production d'électricité renouvelable dans les PSEM. Enfin le plan solaire méditerranéen vise

---

<sup>2</sup> Les autres projets prioritaires concernent le développement des entreprises, le transport et le développement urbain, l'eau et l'environnement, et l'enseignement supérieur et la recherche.

<sup>3</sup> Les pays MENA signataire du Plan Solaire Méditerranéen sont Le Maroc, La Tunisie, Le Liban, l'Egypte, l'Israël, La Jordanie, la Syrie et la Turquie.

le renforcement de l'efficacité énergétique dans la zone dont les gains potentiels sont estimés à 23% de la demande en 2040 (MEDENER/OME, 2016).

En créant des conditions favorables aux investissements, le PSM joue un rôle canalisateur en incitant les PSEM à mettre en place leurs propres plans nationaux et à mobiliser des financements privés et publics. Le PSM ne précise ni la répartition des investissements dans les PSEM, ni les sources de financement. Chaque pays est en conséquence libre de définir sa stratégie de développement de la production d'électricité renouvelable qui peut varier au niveau de l'objectif à atteindre et au niveau des technologies et des sources d'énergie. Ces objectifs vont de 3% de la consommation d'électricité en Syrie à 25% de la consommation en Turquie à l'horizon 2020 (tableau 2).

*Tableau 2 : Stratégie de développement des énergies provenant de sources renouvelables*

Pays	Stratégie de développement	
	Objectif	Sources
Algérie	6% de la production d'électricité en 2015 et 11% en 2020-2025	Solaire
Égypte	20% de la production d'électricité en 2020	gaz, solaire éolienne
Israël	5% de la production électricité en 2015 et 10% en 2020	solaire
Jordanie	10% de la consommation électricité en 2020	solaire, éolienne
Liban	Pas de stratégie nationale	-
Maroc	20% de la production électricité en 2012	solaire, éolienne
Syrie	3% de la consommation d'énergie en 2011 et 18% en 2020	solaire, éolienne
Territoires palestiniens	20% de la consommation d'énergie en 2012	Solaire
Tunisie	4% de la consommation énergétique ou 10% de la consommation d'électricité en 2011	Solaire, éolienne
Turquie	25% de la consommation d'électricité en 2020	Solaire, éolienne

Source : (Laffite, Trink, Massou, & Palat, 2009)

Afin d'analyser les choix de stratégie de développement de la production d'électricité renouvelable dans les pays de la région MENA, nous avons retenu comme indicateur la quantité d'électricité renouvelable produite de l'Agence International de l'Energie (IEA). Cet indicateur a principalement l'avantage de permettre la prise en compte des critères de fiabilité et de maturité des technologies d'exploitation. En effet, la quantité d'électricité effectivement produite peut être différente de la capacité installée. Les pannes et la maintenance des équipements peuvent conduire à l'arrêt de la production conduisant à une différence significative entre la capacité des installations et la production réelle d'électricité. De plus, dans plusieurs pays, les installations sont des projets pilotes ou des projets de recherche et développement. C'est le cas de certains pays du golfe qui investissent dans la recherche et le développement afin d'améliorer la maturité des technologies d'exploitation des sources primaires (Abdmouleh et al., 2015). Par ailleurs, certains investissements peuvent concerner la production de chaleur qui ne fait pas l'objet de cette étude. Notons toutefois que seule la Turquie a reporté une production de chaleur à partir de sources renouvelables sur la période 1990-2015. Pour plus de clarté dans notre analyse, nous avons choisi de nous concentrer sur la production d'électricité renouvelable.

Nous calculons dans un premier temps un indicateur de mesure du poids de la production d'électricité renouvelable qui est le rapport entre la production d'électricité renouvelable et la production totale d'électricité. Dans un second temps, nous calculons un indicateur de composition qui mesure le poids de chaque source dans la production d'électricité renouvelable. Pour cela, nous retenons les cinq sources de production de l'électricité renouvelable dans les pays MENA, à savoir la biomasse (déchets, biocarburant, biogaz), l'hydraulique, le solaire (photovoltaïque et thermodynamique), la géothermique et l'éolienne. Pour chacune des sources, nous avons calculons sa part dans la production totale d'électricité renouvelable qui est le rapport entre la quantité d'électricité de source « x » et la production totale d'électricité renouvelable.

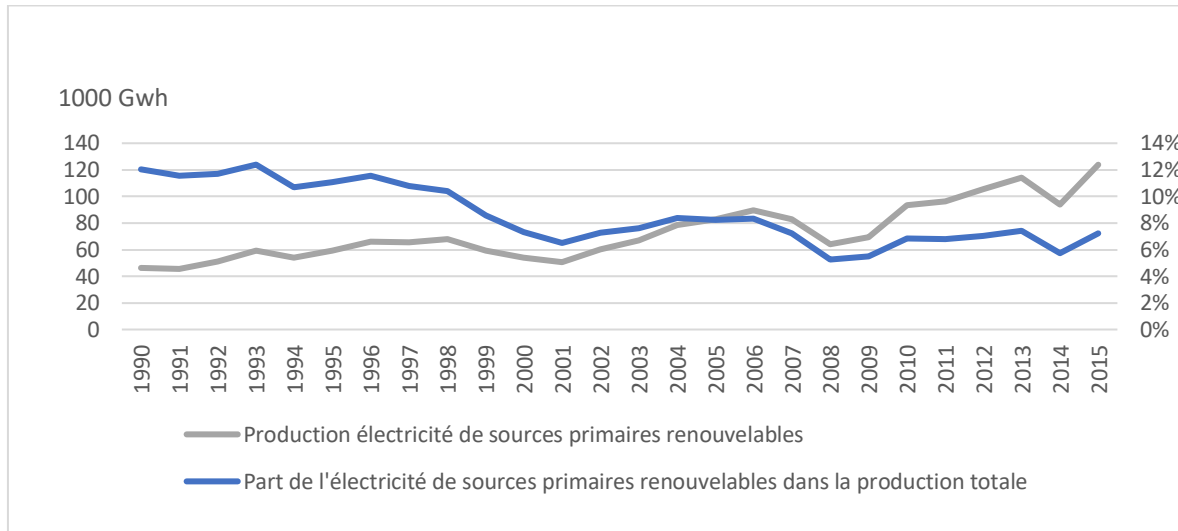
Sur la période 1990-2015, la production totale de l'électricité renouvelable a été portée par la Turquie, la Tunisie, le Maroc, la Jordanie, l'Israël, l'Irak, l'Iran, les Émirats Arabes, l'Egypte, l'Arabie Saoudite, l'Algérie, le Liban et la Syrie. Cette production a plus que doublée passant de 46 000 en 1990 à 124 000 Gwh en 2015. Mais la croissance de la production n'a pas été régulière sur la période (figure 1). En effet, le Plan Solaire Méditerranéen a été lancé dans un contexte où la production totale l'électricité renouvelable dans les pays MENA est en régression. La

production totale a connu une tendance croissante jusqu'en 2006 avant de connaître une baisse significative en 2007 et 2008.

Toutefois, la tendance haussière de la production totale est accompagnée d'une baisse régulière de la part de la production de l'électricité renouvelable dans la production totale. Ce qui suppose que l'augmentation de la production d'électricité à partir de sources primaires fossiles (pétrole, gaz naturel et charbon) a été supérieure à l'augmentation de la production d'électricité renouvelable (figure 1). De 12% en 1990, la part de l'électricité renouvelable dans la production totale n'était que de 5% en 2008 ; son plus bas niveau sur la période 1990-2015. Cette part était soit en baisse continue (Turquie, Syrie, Liban, Egypte,), soit volatile (Tunisie, Irak, Iran, Algérie) ou stagnante (Maroc, Israël, Jordanie). A partir de 2009, on observe une tendance positive du poids de l'électricité renouvelable dans la production totale qui a permis d'atteindre les 7% en 2015.

Remarquons que ce changement de tendance du poids de l'électricité renouvelable dans la production totale n'a pas été observé dans tous les pays. La Turquie, le Maroc, l'Iran, la Tunisie, l'Israël, la Jordanie ont connu une augmentation significative entre 2008-2015 alors que cette évolution est négative pour l'Algérie, le Liban, la Syrie, l'Irak et l'Egypte (figure 2). Pour les Emirats Arabe Unis et l'Arabie Saoudite, la production d'électricité renouvelable est très récente (à partir de 2013) et ne représente qu'une part marginale de leur production totale en 2015. On observe au Maroc et en Turquie que le poids de l'électricité renouvelable dépasse les 15% de la production totale. Ils sont suivis de l'Egypte et de l'Iran qui enregistrent un poids de 8% et 5%, respectivement. Pour le reste des pays, le poids de l'électricité renouvelable reste encore inférieur au poids moyen de 5% observé en 2008.

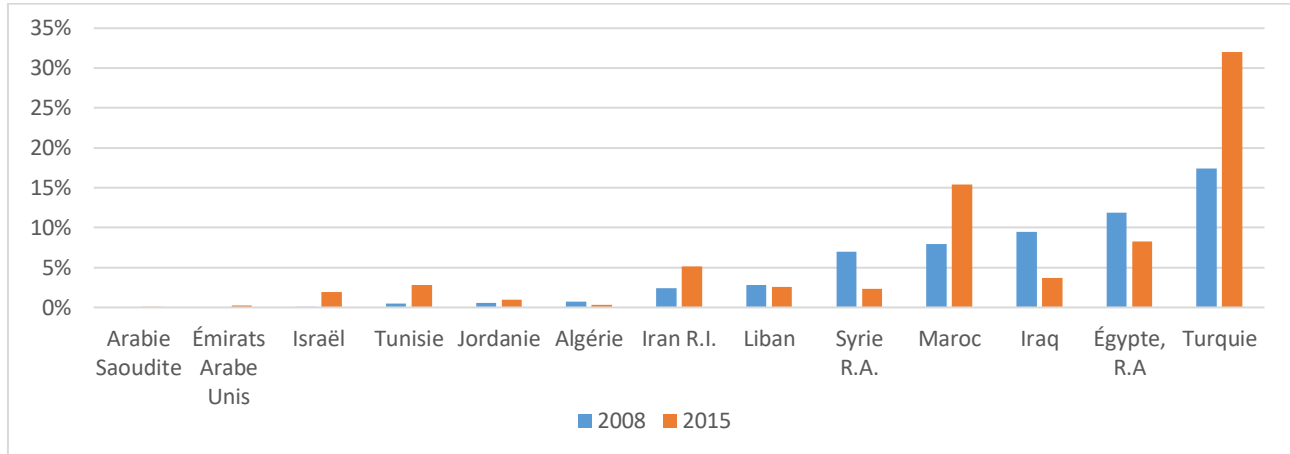
Figure 1 : Production d'électricité à partir des sources renouvelables dans les pays MENA sur la période 1990-2015



Source : International Energy Agency

Les neuf pays du Golf (Bahreïn, Koweït, Oman, Arabie Saoudite, Qatar, Emirats Arabes, Iran et Irak) ne sont pas signataires du Plan solaire méditerranéen. Toutefois, ce plan peut avoir des effets indirects sur leur stratégie de développement d'énergies renouvelables. En effet, Atalay et al, 2015 (2016) montrent que le développement des énergies renouvelables dans les pays du golf est soutenu par le transfert de politiques. Ce dernier se réfère au fait qu'un pays imite les politiques mises en œuvre au niveau international ou au niveau régional. Selon eux, le transfert de politiques en matière d'énergie renouvelables dans les pays du Golf passe par la collaboration de recherche et des partenariats commerciaux internationaux et interrégionaux. De plus, le réseau UE-GCC d'énergie propres ambitionne à terme d'intégrer le marché d'électricité renouvelable des pays du Golf, des pays Méditerranéens et des pays de l'Union Européenne (Doukas et al., 2016). Ce qui crée une interconnexion des politiques de développement de la production d'électricité renouvelable des pays UE, des pays du Golf et des PSEM.

Figure 2 : Evolution de la part de l'électricité renouvelable dans la production totale



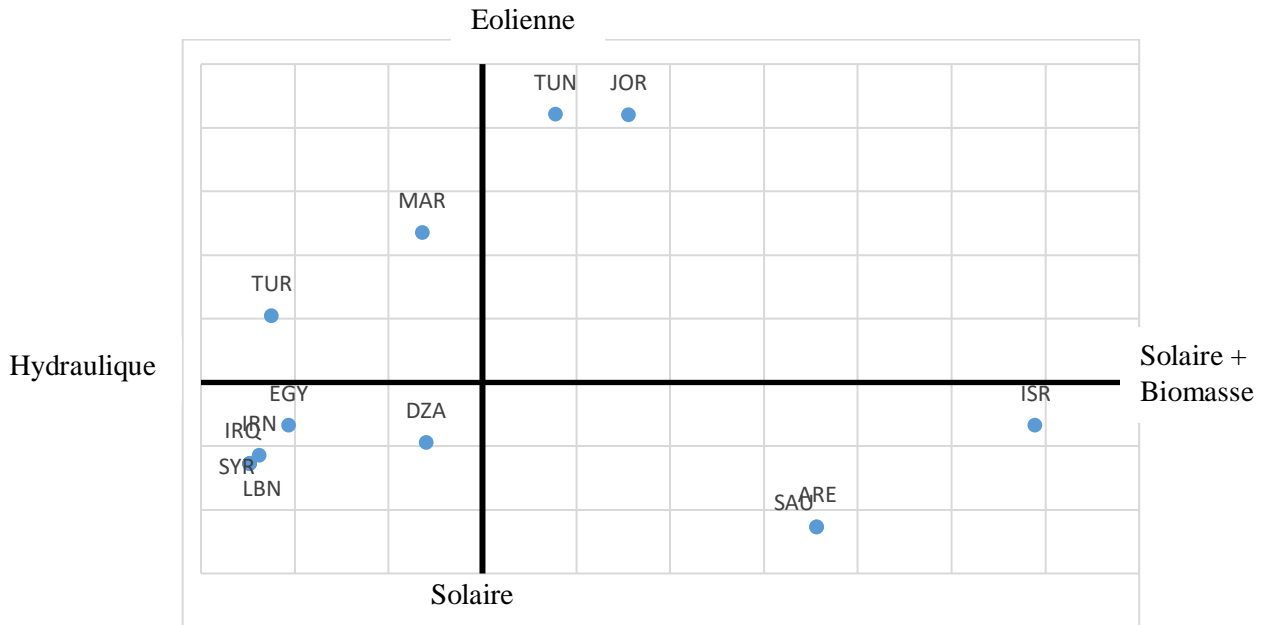
Source : International Energy Agency

Une analyse de la composition de la production de l'électricité renouvelable permet de mettre en lumière les stratégies de chaque pays. Dans tous les pays, l'électricité hydraulique a dominé la production d'électricité renouvelable en 2008 et on remarque que son importance des pays n'a pas beaucoup changée sur la période 2008-2015. En effet, on peut noter dans le tableau 2 que le solaire et l'éolienne sont les sources planifiées pour développer la production de l'électricité renouvelable. Le constat en 2015 est que l'hydroélectricité domine toujours la production d'électricité renouvelable dans plusieurs pays. Les pays dans lesquels la part de l'hydroélectricité est supérieure à 60% sont le Liban, la Syrie, l'Irak (100%), l'Iran (98%), l'Égypte (89%), la Turquie (80%) et l'Algérie (65%). Au Maroc, en Jordanie et en Tunisie, la production d'électricité renouvelable est dominée par l'éolienne (52%, 67% et 80% respectivement) alors que la production de l'électricité solaire est dominante en Israël, en Arabie Saoudite et aux Emirats Arabe Unis (92% et 100% respectivement). De plus, on observe d'une façon générale une faible diversification des sources de production d'électricité renouvelable. A l'exception de la Turquie, de l'Israël et la Jordanie qui ont enregistré une production de la géo-électricité, la biomasse-électricité et l'électricité solaire, la production enregistrée, dans autres pays, provienne des sources déjà exploitées avant 2008.

La figure 3 est une analyse par composante principale permettant de visualiser la proximité des pays en rapport à la composition de leur mix énergie renouvelable en 2015. On peut y noter le groupe des pays attachés à la production d'hydroélectricité et le groupe des pays misant sur la production d'électricité solaire et éolienne. La Tunisie et la Jordanie sont proches dans la

production d'électricité éolienne alors que l'Israël se distingue de l'Arabie Saoudite et Emirats Arabes dans la combinaison du solaire et de la biomasse comme source de production de l'électricité renouvelable. Dans le groupe des pays attachés à l'hydroélectricité, le Maroc et la Turquie se distinguent des autres pays dans la combinaison de l'hydroélectricité et de l'éolienne.

Figure 3 : Analyse par composante principale des sources de production de l'électricité renouvelable en 2015



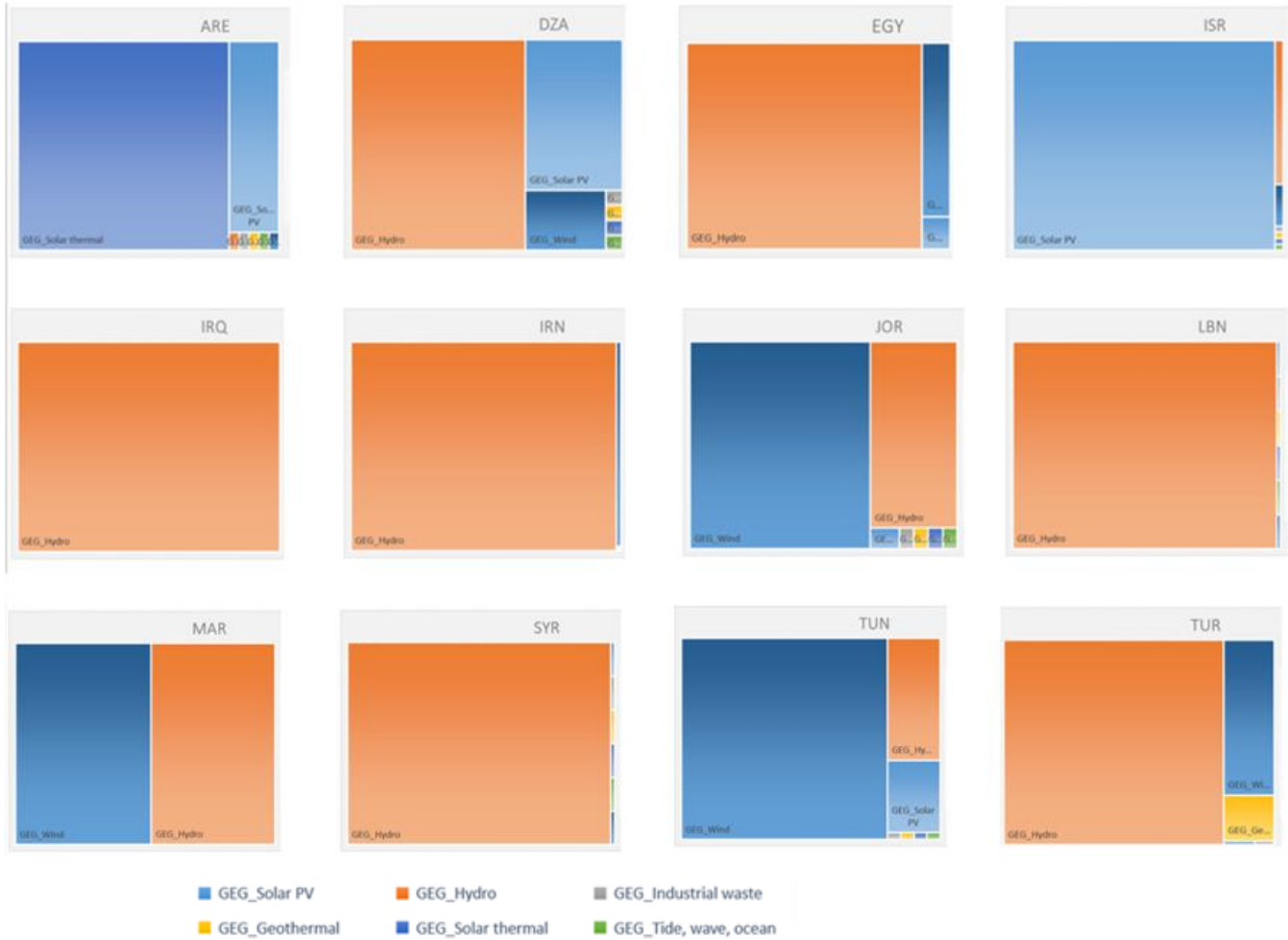
Source : IEA

Code ISO : TUN (Tunisie), TUR (Turquie), MAR (Maroc), EGY (Egypte), DZA (Algérie), IRN (Iran), IRQ (Irak), SYR (Syrie), LBN (Liban), SAU (Arabie Saoudite), ARE (Emirats Arabes), ISR (Israël).

Pour mieux comprendre la dynamique de ces pays, nous avons procédé à la présentation des « diagrammes de répartition » de la composition du marché de l'énergie renouvelable en électricité pour les 12 pays MENA qui ont produit de l'énergie renouvelable au cours de la période étudiée. La figure 4 montre que certains pays semblent présenter une diversification du marché de l'énergie renouvelable plus ou moins importante à savoir l'Algérie, l'Egypte, la Jordanie, le Maroc, la Tunisie et la Turquie. Alors que d'autres semblent s'enfermer dans une spécialisation forcée depuis 1990, il s'agit essentiellement de l'Irak, l'Iran, le Liban et la Syrie. Le tableau 3 présente les stratégies identifiées en rapport à l'évolution de la production d'électricité renouvelable sur la période 1990-2015 et aux sources primaires privilégiées.



Figure 4 : Composition par pays des sources de production de l'électricité renouvelable en 2015



Source : IEA

Une explication plausible à ce constat est le fait que le Plan Solaire Méditerranéen n'est pas financé. Le recours au financement privé peut conduire à accorder une importance relativement plus importante au critère économique dans la sélection des projets. En effet, les financements publics n'ont servi à couvrir que les investissements en moyens de production, en réseau et en interconnexion que sur les deux premières années du plan, c'est-à-dire jusqu'en 2010. Laffite, et al. (2009) soulignent que cela implique qu'à partir de 2011, les projets doivent pouvoir démontrer une rentabilité sans ambiguïté pour être financés.

Tableau 3 : stratégies de développement de l'électricité renouvelable dans les pays MENA sur la période 1990-2015

	Stratégies	Définition	Pays
La production d'électricité renouvelable	Stratégie « zéro production »	Pas de production d'électricité renouvelable	Yémen, Qatar, Oman, Libye, Koweït, Bahreïn
	Stratégie « production décroissante »	Part de la production d'électricité renouvelable dans la production totale décroissante	Egypte, Liban, Syrie, Irak, Algérie.
	Stratégie « production croissante »	Part de la production d'électricité renouvelable dans la production totale croissante	Turquie, Maroc, Iran, Tunisie, Israël, Jordanie
Les sources de production	Stratégie de spécialisation en hydraulique	Part de l'hydroélectricité supérieure à 80% de l'électricité renouvelable	Egypte, Liban, Syrie, Irak, Iran
	Stratégie de spécialisation en solaire	Part de l'électricité solaire supérieure à 80% de l'électricité renouvelable	Israël, Arabie Saoudite et Emirats Arabes
	Stratégie de diversification à dominante éolienne	Part de l'électricité éolienne supérieure à 50% et la part de la seconde source supérieure à 10%	Maroc, Tunisie, Jordanie, Algérie

Source : auteurs

Ce constat peut aussi être expliqué par le niveau de maturité des technologies d'exploitation dans la région, car malgré le potentiel de production d'énergie solaire (Tableau 1), le poids de l'électricité solaire dans le mix d'électricité renouvelable est encore très faible dans la plupart des pays. Plusieurs investissements sont encore à l'étape « projet » ou des investissements en recherche et développement. De plus, Abdmouleh et al. (2015) font remarquer que la fiabilité des technologies de production de l'électricité solaire peut être limitée par le dépôt de la poussière sur les panneaux. Ceci peut donc avoir des conséquences sur la rentabilité des projets. Les pays ayant déjà une expertise dans les technologies de production de l'hydroélectricité, ont préféré investir

en priorité dans le développement de cette dernière. Or Griffiths (2017) soulignent que les marges de développement sont très limitées pour l'hydroélectricité.

Le coût de production de l'électricité renouvelable apparaît aussi comme une explication plausible. Malgré la baisse significative des coûts de production de l'électricité solaire et éolienne ces dernières années, l'hydroélectricité reste toujours le moins chère des électricités renouvelables (Tableau 4). Par ailleurs, le coût de production de l'électricité renouvelable est encore très sensible car l'écart entre les coûts moyen, minimum et maximum est important et le coût moyen de l'électricité produite à partir des énergies fossiles est inférieur au coût moyen de production des électricités renouvelables. En 2016, le coût moyen de l'électricité à partir d'énergie fossile était de 0,045 \$ US/kWh (International Renewable Energy Agency).

*Tableau 4 : Coût moyen mondial de l'électricité renouvelable (2016)*

Sources d'électricité renouvelable	Biomasse	Géothermale	Hydroélectricité	Eolienne	Solaire
Coût min-max (\$ US/kWh)	0,061-0,17	0,043-0,113	0,018-0,246	0,024-0,208	0,053-0,312
Coût moyen (\$ US/kWh)	0,081	0,064	0,051	0,089	0,186

Source : International Renewable Energy Agency

En résumé, on peut retenir que le PSM a permis de renverser la tendance à la baisse de la part de l'électricité renouvelable dans l'électricité totale et à contribuer à créer une dynamique positive de la production d'électricité renouvelable dans les pays MENA. Cependant, nous avons relevé trois principaux facteurs auxquels il faut apporter une réponse afin de permettre à la production d'électricité renouvelable d'être à la hauteur des enjeux environnemental, économique et social dans les pays MENA.

Quels sont les facteurs influençant la politique des ER ?

Griffiths (2017) identifie plusieurs facteurs qui influencent la politique énergétique de ces pays. Dans un contexte mondial caractérisé par de fortes fluctuations des prix sur le marché du pétrole

et du gaz, l'augmentation des préoccupations en rapport avec le changement climatique et de développement durable et la baisse générale des coûts de production des énergies renouvelables, la politique énergétique dans la région MENA est influencée par leur dotation en ressources naturelles primaires de production d'énergie.

Par exemple, une électricité abondante et bon marché avec des niveaux plus bas de volatilité des prix et moins de dépendance à l'égard de l'insécurité des flux commerciaux, de nouvelles activités de la chaîne de valeur, l'amélioration de la sécurité énergétique ainsi que des possibilités de développement économique et une meilleure empreinte écologique.

## **5. Relation énergie renouvelable-développement : une revue de littérature**

La relation entre la consommation d'énergie et la croissance économique a fait l'objet d'une littérature empirique abondante basée sur le cadre théorique de la fonction de production de Cobb-Douglas. Elle propose d'une part l'étude de l'effet de la consommation d'énergie sur la production et d'autre part le sens de causalité entre la production et la consommation d'énergie. A cet égard, quatre hypothèses sont testées et chacune d'elle a des implications recommandations politiques différentes.

La première hypothèse est celle de la croissance qui suppose une relation unidirectionnelle entre la croissance économique et la consommation d'énergie. L'énergie est considérée comme un facteur de production au même titre que le capital et le travail. La production est en conséquence formalisée comme une fonction croissante de la consommation d'énergie. Cette hypothèse implique une relation de cause à effet partant de la consommation d'énergie vers la croissance économique. Une augmentation (réduction) de la consommation d'énergie entraîne une augmentation (réduction) de la production. La deuxième hypothèse est celle dite de conservation et est le contraire de l'hypothèse de croissance. Elle stipule une relation de cause à effet partant de la croissance économique vers la consommation d'énergie. L'augmentation de l'activité économique entraîne une augmentation de la consommation d'énergie. En ce sens un changement dans la consommation d'énergie n'aura pas de répercussion sur la croissance économique. Cette hypothèse est propice aux politiques visant à réduire la consommation d'énergie dans la mesure où la réduction de la consommation d'énergie n'aura pas de conséquence sur la croissance économique. La troisième hypothèse stipule une relation bidirectionnelle de causalité impliquant une relation pro-cyclique entre la croissance économique et la consommation d'énergie. La quatrième hypothèse est celle d'absence de relation. Une variation de la consommation d'énergie n'affecte pas la croissance économique. Destek & Aslan (2017) proposent une revue la littérature consacrée à la relation entre la consommation d'énergie totale, c'est-à-dire de sources renouvelables et fossiles, et la croissance économique et on peut y remarquer la divergence des résultats.

Kahia et al. (2017) notent l'importance de la distinction entre les sources (renouvelable vs non renouvelable) et types (électricité, combustible, gaz, nucléaire, etc.) d'énergie. Cette distinction peut contribuer à la réduction du biais d'omission lié à l'agrégation des différents types et sources

d'énergie. En effet, cela permet de montrer si les élasticités et le sens de causalité dépendent des sources ou des types d'énergies et de proposer des recommandations de politiques et de stratégies différenciées. Pour ces raisons, nous nous intéressons dans cette section aux études consacrées à la relation ER - croissance.

Les enjeux que représentent les ER, ont amenés plusieurs auteurs à investiguer sa relation, à court et à long terme, avec la croissance économique. La significativité de l'élasticité ou la confirmation de lien de causalité de long terme permet de valider l'hypothèse d'une croissance durable avec la consommation d'énergie renouvelable (Bhattacharya et al., 2016). Notons que le sens de la durabilité ici est différent du sens de la durabilité développée dans la section 1. La durabilité ici repose sur la notion de continuité et l'entretien du processus de croissance dans le temps. De plus, l'estimation des modèles multi variables, permet de mettre en lumière la relation de la consommation des énergies renouvelables avec d'autres indicateurs de développement, en l'occurrence des indicateurs d'emploi et de qualité de l'environnement. Cependant, il n'y a pas consensus sur les conclusions de ces études malgré la distinction entre sources ou types d'énergie. Les résultats diffèrent en fonction du pays ou de l'échantillon analysé, de la méthodologie utilisée, de la période étudiée et du niveau d'agrégation de la variable de mesure de la consommation d'énergie. Ceci fait peser un biais d'omission de variables qui manquent à prendre en compte les spécificités endogènes relatives à la nature des politiques économiques et de la dotation des ressources primaires en énergie (Bélaïd & Abderrahmani, 2013). Le tableau 5 propose un résumé des résultats des études récentes.

En ce qui concerne la relation énergie renouvelable croissance économique, la littérature est relativement abondante et se concorde sur l'inélasticité de la production par rapport à la consommation d'énergie renouvelable (Tableau 5). L'élasticité de la production par rapport à la consommation d'énergie renouvelable est inférieure à l'unité. Toutefois, certains auteurs montrent que la consommation d'énergies renouvelables a un effet négatif sur la production alors que d'autres montrent un effet positif. Parmi les études qui ont confirmé une relation positive entre la consommation d'énergie renouvelable et la croissance économique, nous pouvons citer Dogan (2016) dont l'analyse porte sur la Turquie. L'auteur distingue l'effet de la consommation d'énergie renouvelable de celui de la consommation d'énergie non renouvelable avec une prise en compte du biais de rupture structurelle. Il montre que l'essentielle de relation entre énergie et croissance économique est portée par la consommation d'énergie non-renouvelable. Une

augmentation de 1% de la consommation d'énergie non-renouvelable entraîne une augmentation de 0,54% et 0,75% de la production respectivement à court-terme et à long terme. La consommation d'énergies renouvelables n'a ni d'effet significatif à long terme, ni à court terme sur la croissance économique. De plus, les auteurs analysent du sens de causalité entre les variables du modèle et confirment l'hypothèse d'une relation de conservation à court terme et l'hypothèse d'une relation bidirectionnelle à long terme pour la consommation d'énergie renouvelable. En d'autres termes, la croissance économique influence l'augmentation de la consommation d'énergie renouvelable à court terme, mais à long terme, la croissance économique influence la consommation d'énergie renouvelable et vice versa. Les résultats de Bélaïd & Youssef (2017) confirment l'hypothèse d'une relation neutre pour l'Algérie pour la période 1980-2012. Le test de causalité de Granger révèle que la consommation d'énergie renouvelable n'a ni d'effet significatif sur la croissance économique en Algérie à court, ni à long terme.

Kahia et al.,(2017) se sont intéressés à onze pays de la région MENA dans leur analyse. Ils ont utilisé un modèle en panel dynamique pour les pays net importateur de pétrole de la région (Liban, Israël, Jordanie, Malte, Maroc, Tunisie, Turquie, Arménie, Chypre, Géorgie et Mauritanie) et ont adopté une méthodologie basée sur l'approche FMOLS (Fully Modified Ordinary Least Square) couplée avec le test de causalité de Granger. Ils montrent que la production réelle est influencée à la fois par la consommation d'énergie renouvelable et la consommation d'énergie non-renouvelable. Cependant, l'élasticité de la production réelle par rapport la consommation d'énergie renouvelable est supérieure à la consommation d'énergie non-renouvelable. Alors qu'une variation de 1% de la consommation d'énergie renouvelable fait varier la production réelle de 0,57%, une variation de 1% de la consommation d'énergie non-renouvelable fait varier la production réelle de 0,38%. Les auteurs valident l'hypothèse d'une relation bidirectionnelle à court et à long terme.

Le modèle de Destek & Aslan (2017), incluant la consommation d'électricité renouvelable (solaire, éolienne, biomasse, déchets, vagues et marée), la consommation d'électricité non-renouvelable (pétrole, gaz naturel et charbon) et la production réelle évalue la performance relative de 17 pays émergents (Brésil, Chili, Chine, Colombie, Egypte, Grèce, Inde, Indonésie, Corée du Sud, Malaisie, Mexique, Pérou, Philippines, Portugal, Sud Afrique, Thaïlande, Turquie). Les auteurs montrent que les résultats dépendent des sources de production

d'électricité. Pour la consommation d'électricité renouvelable, les auteurs confirment l'hypothèse de croissance pour le Pérou, l'hypothèse de conservation pour la Colombie et la Thaïlande, l'hypothèse de relation bidirectionnelle pour la Grèce et la Corée du Sud et l'hypothèse neutre pour les douze autres pays. Quant à la consommation d'électricité non-renouvelable, l'hypothèse de croissance est confirmée pour la Chine, la Colombie, le Mexique et les Philippines ; l'hypothèse de conservation pour l'Égypte, le Pérou et le Portugal, l'hypothèse de relation bidirectionnelle pour la Turquie et l'hypothèse d'une relation neutre pour les neuf autres pays.

Ito (2017) s'est intéressé à un échantillon de pays en développement dans un modèle panel avec une approche méthodologique basée sur l'estimateur GMM et PGM. L'échantillon comprend sept pays MENA dont l'Égypte, l'Iran, l'Iraq, la Jordanie, le Liban, la Tunisie, la Turquie. Les variables composant le modèle sont la production réelle, les émissions de CO<sub>2</sub>, la consommation d'énergie fossile et la consommation d'énergie renouvelable. Les résultats montrent que la consommation d'énergie non-renouvelable n'a pas d'effet significatif sur la croissance alors que la consommation d'énergie renouvelable a un effet positif.

Alper & Oguz (2016) étudient la relation énergie-croissance pour 15 pays de l'UE sur la période 1990-2009. Le modèle multi-variable inclut la production réelle, le capital, le travail et la consommation d'énergie renouvelable. Selon leurs résultats, la consommation d'énergie renouvelable a un effet positif et significatif sur la croissance économique que pour la Bulgarie, l'Estonie, la Pologne et la Slovaquie. En outre l'hypothèse de neutralité est confirmée pour le Chypre, l'Estonie, la Hongrie, la Pologne et la Slovaquie ; l'hypothèse de conservation pour la République tchèque et l'hypothèse d'une relation de croissance pour la Bulgarie.

Les résultats de Lin & Moubarak (2014) pour la Chine confirment aussi l'hypothèse d'une relation bidirectionnelle à long terme. Leur modèle analyse la relation entre la production réelle, la consommation d'énergie renouvelable, le travail et les émissions de CO<sub>2</sub>. Les auteurs mesurent la consommation d'énergie renouvelable par la consommation d'électricité renouvelable qui comprend l'hydroélectricité, l'électricité solaire, l'électricité éolienne, la géothermie et la biomasse. Ils montrent qu'à long terme, la croissance économique, les émissions de CO<sub>2</sub> et le travail influencent de façon significative la consommation d'énergie renouvelable. Une augmentation de 1% de la croissance économique en Chine fait augmenter de 0,61% la consommation d'énergie renouvelable à long-terme. Pour le Brésil, (Pao & Fu, 2013)



considèrent, en plus de la décomposition en consommation d'énergie renouvelable et d'énergie non-renouvelable, la consommation d'énergie renouvelable de source non hydraulique à savoir l'énergie éolienne et la biomasse. Les auteurs incorporent successivement les trois types d'énergie renouvelable dans un modèle comprenant la production réelle, le capital et le travail. Ils montrent que la production réelle est influencée uniquement par la consommation d'énergie renouvelable. Une variation de 1% de la consommation totale d'énergie renouvelable correspond à une variation de 0,20% la production réelle contre une variation de 0,06% pour la consommation d'énergie renouvelable de source non hydraulique. Toutefois, l'hypothèse de croissance est confirmée pour la consommation d'énergie renouvelable éolienne. En d'autres termes, la consommation d'énergie éolienne (y compris la biomasse) et la production réelle est déterminante pour la croissance économique. Le modèle incorporant la consommation totale d'énergie renouvelable valide l'hypothèse de relation bidirectionnelle à long-terme alors que l'hypothèse d'une relation de conservation est validée pour la consommation d'énergie non renouvelable. Amri (2017) utilise l'approche en deux étapes de l'estimateur GMM. Il confirme pour un échantillon de pays développés et en voie de développement l'hypothèse de croissance. La croissance économique est influencée par la consommation d'énergie renouvelable avec une élasticité de 0,10% pour les pays en voie de développement et de 0,14% pour les pays développés.

Au nombre des études récentes dont les résultats montrent un effet négatif de la consommation d'énergie renouvelable sur la croissance économique, nous mentionnons Brini, Amara, & Jemmali (2017) et Ocal & Aslan (2013). Brini, Amara, & Jemmali (2017) examinent la relation énergie-croissance économique avec un modèle multi-variable comprenant la production réelle, la consommation de combustibles renouvelables (déchets y compris), le prix du baril de pétrole et le commerce international. Avec l'approche ARDL et le test de causalité de Granger, les auteurs confirment l'hypothèse de croissance pour la Tunisie. Cependant, la croissance économique est négativement affectée par la consommation d'énergie renouvelable avec une élasticité de long terme de -0,39. Ocal & Aslan (2013) utilisent une approche méthodologique basé sur ARDL et le test de causalité de Toda–Yamamoto. Leur analyse porte sur la Turquie et sur la période de 1990-2010. Le modèle multi-variable comporte la production réelle, le capital, le travail et la consommation de combustibles renouvelables (déchets y compris). Ils estiment une élasticité de

la production réelle par rapport à la consommation de combustibles renouvelables à -0,30 et confirment l'hypothèse d'une relation de conservation.

Les tests de causalité dans les modèles multi-variable permettent par ailleurs de mettre en lumière la relation de cause à effet entre la consommation d'énergie renouvelable avec les autres variables du modèle. Ainsi, les études comprenant un indicateur de mesure de l'emploi, un indicateur de la qualité de l'environnement, un indicateur de mesure de l'ouverture au commerce international mettent en évidence la relation de court et long terme entre ces variables et la consommation d'énergie renouvelable. Certains auteurs proposent par ailleurs un test des hypothèses de croissance, de conservation, de relation bidirectionnelle et de neutralité pour l'emploi, l'environnement et l'ouverture au commerce. Par exemple, le test de causalité de Granger dans l'étude de Dogan (2016) confirme l'hypothèse de croissance pour l'emploi, c'est-à-dire une causalité unidirectionnelle partant de la consommation d'énergie renouvelable vers le travail à court terme. En d'autres termes, la consommation d'énergie renouvelable stimule la création d'emploi. Bhattacharya et al. (2016) explore les effets de la consommation d'énergie renouvelable pour les 38 pays les plus attractives en énergie renouvelable dont l'Israël, le Maroc et la Turquie. Les auteurs montrent que l'élasticité du travail par rapport à la consommation d'énergie renouvelable est supérieure à l'élasticité du capital pour l'Australie, le Canada, la Chine, la Finlande, la France, le Kenya, la Corée du Sud, les Pays-Bas, le Pérou, le Portugal, la Slovénie, l'Espagne et le Royaume Uni. Ils concluent que le développement des énergies renouvelables, est compatible avec la création d'emplois à long terme. Par contre, Lin & Moubarak (2014) et Kahia, Aïssa, & Lanouar (2017) confirment l'hypothèse de conservation, c'est-à-dire que l'emploi influence de façon unidirectionnelle la consommation d'énergie renouvelable. L'hypothèse de neutralité est confirmée par Apergis & Payne (2010). La consommation d'énergie renouvelable n'influence pas l'emploi.

Aussi, Yi (2013), Jaraité et al. (2015), Farooq et al. (2013) ont montré que la promotion et investissement dans les énergies renouvelables peut aider à créer de nouveaux emplois, à stimuler la croissance économique et à améliorer la qualité de l'environnement. En effet, Jaraité et al. (2015) examinent les effets à long terme des énergies renouvelables sur les politiques de croissance économique et d'emploi pour les 15 États membres de l'Union européenne (UE) sur la période de 1990 à 2012. Leur étude montre que ces politiques augmentent la production et l'emploi à court terme. Yi (2013) a également montré que les politiques de développement des

énergies propres ont un effet positif sur l'emploi à court terme dans le cas des métropoles américaines pour l'année 2006.

De plus, les études récentes qui prennent en compte à la fois les différentes sources de production d'énergie renouvelable proposent une analyse de la relation entre ces sources. Apergis & Payne, 2012 ; Ito, 2017 ; Kahia et al., 2017 confirment l'hypothèse de relation bidirectionnelle et négative entre la consommation d'énergie renouvelable et la consommation d'énergie non-renouvelable. Ceci dénote d'une relation de substitution entre les deux sources d'énergie. L'augmentation de la consommation d'énergie renouvelable aide à réduire celle d'énergie non-renouvelable et vice versa.

Quant à l'effet des énergies renouvelables sur les émissions, Ito (2017) et (Lin & Moubarak, 2014) confirment, pour les émissions de CO<sub>2</sub>, l'hypothèse bidirectionnelle et de neutralité, respectivement. En examinant la relation entre la consommation d'électricité renouvelable et les émissions de CO<sub>2</sub> pour l'Algérie, Bélaïd & Youssef (2017) montrent que la consommation d'électricité renouvelable n'a pas d'effet significatif, ni à court terme, ni à long terme, sur les émissions de CO<sub>2</sub>. Cependant, leurs résultats montrent que la consommation d'électricité renouvelable Granger-cause les émissions de CO<sub>2</sub> à long terme. Perez de Arce et al. (2016) ont utilisé un cadre linéaire de demande et l'offre des énergies renouvelables pour examiner le coût-efficacité des politiques d'énergie renouvelable à réduire les émissions de CO<sub>2</sub> et ont conclu que ces politiques sont efficaces. De même, l'étude de Prasad et Munch (2012) qui porte sur 19 états américains sur la période de 1997-2008, montre que les politiques de développement des énergies renouvelables ont permis de réduire significativement les émissions de CO<sub>2</sub>.

En résumé, cette littérature montre la sensibilité des résultats à l'approche méthodologie et au niveau d'agrégation de l'indicateur de mesure d'énergie renouvelable. La diversité d'approches méthodologiques (technique d'estimation, indicateur de mesure de la consommation d'énergie, le nombre de variables inclus dans le modèle) ne favorise pas la comparaison des résultats. Adewuyi & Awodumi (2017) proposent une revue de littérature des études sur la relation énergie-croissance-émission sur les deux dernières décennies et notent que très peu d'études ont combinés dans un même modèle l'analyse des énergies renouvelables, des énergies non-renouvelables et les émissions de CO<sub>2</sub>. Au-delà du contrôle du biais d'omission de variables, les modèles multi-variable permettent d'évaluer la relation entre de la consommation des énergies

renouvelables et le développement durable d'une part. D'autre part, le niveau d'agrégation des sources d'énergie renouvelable influence les résultats. Un faible niveau d'agrégation des sources d'énergie, permet de tester les hypothèses sur la relation entre les sources d'énergie renouvelable et les sources d'énergie non renouvelable. Cette approche pourrait permettre de prendre en compte les spécificités de chaque pays en termes de stratégies de développement des énergies renouvelables (dotation en sources de production, politiques économiques et incitative...). A notre connaissance, seul Pao & Fu (2013) ont opté pour un niveau d'agrégation permettant d'analyser de façon successive la consommation d'énergie éolienne (y compris la biomasse), la consommation totale d'énergie renouvelable et la consommation totale d'énergie non-renouvelable. De plus, des biais d'omission peuvent subsister dans la mesure où les variables considérées dans les études peuvent manquer de prendre en compte le contexte politique et institutionnel. En effet, dans les pays du Nord de l'Afrique, Komendantova et al. (2012) identifient trois types de risques qui affectent les investissements directs étrangers dans le domaine des énergies renouvelables. Ces risques sont d'ordre réglementaire, politique et terroriste. La complexité des procédures administratives, la corruption, instabilité de la réglementation nationale, absence de garantie du gouvernement national, le manque d'implication des autorités locales et l'instabilité politique sont des barrières aux investissements privés dans les projets de production d'électricité solaire. Ces barrières augmentent non seulement le coût de nouveaux investissements mais aussi diminuent la qualité et l'efficacité des investissements déjà réalisés.

Tableau 5 : synthèse des études empiriques de la relation énergie renouvelable-croissance économique

Auteurs	Période	Pays	Méthodologie	Variables	$\varepsilon_{P/ER}$	Résultats			
						Crois éco	Emploi	Environ	Autres
Amri (2017)	1990-2012	72 pays	GMM en deux étapes	PIB, CI, K, pop, ER	0,10 - 0,14	PIB ↔ ER	-		CI ↔ ER
Lin & Moubarak (2014)	1977-2011	Chine	Technique de co-intégration de Johansen, ARDL, Test de causalité de Granger	PIB, CO2, T, ER	-	PIB ↔ ER	T → ER	CO2 // ER	-
Dogan (2016)	1988-2012	Turquie	Technique de co-intégration de Johansen et de Gregory-Hansen, ARDL, Test de causalité de Granger	PIB, ER, ENR, K, T	ns	PIB ↔ ER (lt) PIB → ER (ct) PIB ↔ ENR	ER → T		K → ER
Kahia et al., (2017)	1980-2012	Pays MENA net importateurs de	FMOLS, Test de causalité de Granger	PIB, ER, ENR, K, T	0,57	PIB ↔ ER PIB ↔ ENR	T → ER	ER ↔ (-) ENR	K → ER

FEM43-04 « Les stratégies de développement des énergies renouvelables dans la région MENA »

		pétrole							
Bélaïd & Youssef (2017)		Algérie	ARDL, Test de causalité de Granger	PIB, ER, ENR, CO2	-	PIB→ENR (ct)		ENR→CO2 (lt) ER→CO2 (lt)	
Brini et al. (2017)	1980-2011	Tunisie	ARDL, Test de causalité de Granger	PIB, ER, CI, Pbp	-0,39	PIB→ER			CI→ER
Pao & Fu (2013)	1980-2010	Brésil	Technique de co-intégration de Johansen e ARDL, Test de causalité de Granger	PIB, ER (éolienne), ER, ENR, K, T	0,05 – 0,20	PIB // ER PIB// ENR (ct) PIB ↔ ER (éolienne)	T →ER (éolienne) T →ER T ↔ ENR		K→ER (éolienn e) K →ER K →ENR
Destek & Aslan (2017)	1980-2012	17 pays émergents	Méthode de causalité bootstrap de Konya	PIB, ER, ENR	-	ER → PIB ENR → PIB PIB → ER			

FEM43-04 « Les stratégies de développement des énergies renouvelables dans la région MENA »

						<p>PIB → ENR</p> <p>PIB ↔ ER</p> <p>PIB ↔ ENR</p> <p>PIB // ENR</p> <p>PIB // ENR</p> <p>PIB // ER</p>			
Apergis & Payne (2010)	1992–2007	13 pays EURASI A	FMOLS, test de causalité de Granger	PIB, ER, K, T	0,07 - 0,19	PIB ↔ ER	T // ER		K ↔ ER
Ito (2017)	2002–2011	42 pays en développement	ARDL	PIB, CO2, ER, ENR	0,48	<p>PIB ↔ ER</p> <p>PIB ↔ ENR</p>		<p>ENR ↔ ER</p> <p>CO2 ↔ ER</p>	
Alper & Oguz, (2016)	1990–2009	15 pays EU	ARDL, test de causalité de Hatemi	PIB, ER, K, T		<p>ER → PIB</p> <p>PIB → ER ER // PIB</p>	-	-	-

Ocal & Aslan (2013)	1990-2010	Turquie	ARDL, test de causalité de Toda-Yamamoto	PIB, ER, K, T	-0,30	PIB → ER	-	-	-
Bhattacharya et al. (2016)	1991-2012	38 pays	DOLS, FMOLS, ARDL	PIB, K, T, ER, ENR	0,1	PIB // ER PIB → ENR			
Ozturk & Bilgili (2015)	1980-2009	51 pays africains	Panel dynamique	PIB, ER, CI, Pop	-	ER→PIB	-	-	
Apergis & Payne (2012)	1990-2007	80 pays	Test de causalité de Granger	PIB, ER, ENR, K, T	-	ER↔PIB ENR ↔ PIB	ER//T ENR//T	ENR↔ (-) ER	-
Apergis & Payne (2011)	1990-2007	16 pays émergents	Panel, modèle de correction d'erreur	PIB, ER, ENR, PIB, K, T	-	PIB→RE (ct) PIB↔ER; PIB↔ENR	ENR →T		

$\varepsilon_{P/ER}$  : élasticité de la production par rapport à la la consommation d'énergie renouvelable ; ER : consommation d'énergie renouvelable ; ENR : consommation d'énergie non-renouvelable ; K : capital ; T : travail ; CI : commerce international ; PIB : PIB réel ; pop : population ; Pbp : prix du baril du pétrole ; - : sans objet, ns : non significatif ; → : causalité unidirectionnelle ; ↔ : causalité bidirectionnelle ; // : absence de causalité ; ct : court terme ; lt : long terme.



## **6. Relation entre la production d'électricité renouvelable-développement dans les pays MENA**

La revue de la section présente montre que la relation, de court et de long terme, entre production d'énergie et développement a été largement étudiée avec des techniques économétriques standards des séries temporelles et en panel, de co-intégration et de causalité. Un des avantages de cette littérature tient aux modèles multi-variables qui permettent de mettre en évidence la relation de long terme entre énergie et d'autres indicateurs de développement, en l'occurrence des indicateurs de mesure du niveau de la qualité de l'environnement et de l'emploi. Ce qui permet d'approximer la relation énergie-développement durable et bien-être. Un autre avantage de ces modèles est la possibilité de valider l'hypothèse de substitution vs de complémentarité entre l'énergie renouvelable et l'énergie non-renouvelable.

Cependant, notre revue révèle aussi plusieurs points faibles notamment la divergence et la sensibilité des résultats à la démarche méthodologie, l'impossibilité de comparer les résultats en d'en tirer une conclusion générale et surtout, le manque relatif d'études consacrées aux sources d'énergie renouvelable. A notre connaissance, seuls Pao & Fu, 2013 ont considéré la consommation d'énergie éolienne. En outre, la littérature existante manque de prendre en compte le contexte institutionnel et politique ; ce qui peut être une des explications possibles à la sensibilité des résultats. Par ailleurs, les techniques d'estimations utilisées supposent une relation de court et de long terme symétrique. En conséquence, les résultats ne permettent pas de saisir les asymétries potentielles dans la dynamique des indicateurs de mesure d'énergie et la production. Ces asymétries peuvent être le reflet de spécificités endogènes relatives à la nature des politiques économiques et à la dotation des ressources primaires en énergie (Bélaïd & Abderrahmani, 2013). Nous proposons dans cette étude une méthodologie qui permet de prendre en compte ces faiblesses et d'offrir un cadre de comparaison de la relation énergie-renouvelable et production en fonction des principales sources à l'échelle des pays MENA.

### **6.1. Méthodologie**

Notre objectif est de mettre en évidence de la relation entre les sources de production d'électricité renouvelable et le développement durable sur la période 1990-2015 dans les pays MENA et ce, dans un contexte d'ouverture au commerce international. Les pays MENA ont adopté différente stratégie de développement des énergies renouvelables que nous avons mises en exergue dans la section 4. La diversité des stratégies basées principalement sur la

spécialisation dans une source de production de l'électricité renouvelable offre un cadre de comparaison de la relation source-développement.

Pour ce faire, nous utilisons le PIB<sup>4</sup> comme un indicateur du bien-être et nous partons de la relation suivante :

$$\ln GDP_t = \alpha + \beta \ln Ren_t + \theta \ln X_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

où  $\ln GDP_t$  et  $\ln Ren_t$  désignent respectivement la production d'électricité renouvelable et PIB constant (2005) exprimées en logarithme naturel.  $X_t$  est un vecteur de variables de contrôle comprenant les IDE, la force de travail, le commerce international et les indicateurs de gouvernance (tableau) ;  $\varepsilon_t$  dénote le terme d'erreur et  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\theta$  les vecteurs de paramètre de co-intégration à estimer.

Tableau 6 : Variables du modèle empirique

Variabes	Description	Sources
Electricité renouvelable (Ren)	La somme de la production d'électricité renouvelable de source hydraulique, éolienne, solaire et biomasse en Gwh	International Energy Agency
Le Produit intérieur brut (GDP)	Le PIB constant (2005)	WDI
Le commerce international (Tr)	La somme des Exportations et importations en % du Pib	WDI
Les investissements directs étrangers (IDE)	Les entrées nettes d'investissements directs étrangers en % du PIB	WDI
La force de travail (L)	Population de plus de 15 ans qui fournit un travail pour une production donnée.	WDI
La qualité bureaucratique	quantifie sur une échelle de 4 points, la force institutionnelle et la qualité de la bureaucratie.	PRS-ICRG (2013)
La responsabilité démocratique	Quantifie sur une échelle de 6 points la réaction du gouvernement envers ses citoyens, les libertés civiles fondamentales et les droits politiques.	PRS-ICRG (2013)
La stabilité du gouvernement	Quantifie sur une échelle de 12 points la capacité du gouvernement à mener à bien ses politiques et à rester au pouvoir	PRS-ICRG (2013)
Loi et Ordre public	Quantifie sur une échelle de 6 points la force et l'impartialité du système juridique.	PRS-ICRG (2013)

<sup>4</sup> Nous avons identifié la part de la population (rurale et urbaine) comme un autre indicateur pertinent de mesure du bien-être. Cependant, sa disponibilité et sa variabilité sur la période de l'étude ne permettent pas de l'intégrer dans les estimations.

Afin de prendre en compte la relation asymétrique à la fois à long- et court-termes entre les deux variables, nous appliquons la nouvelle approche de co-intégration de Shin et al. (2014)<sup>5</sup> à savoir le modèle de co-intégration non linéaire à retards échelonnés (NARDL). La relation de co-intégration asymétrique peut être exprimée comme suit sachant les variables de contrôle :

$$\ln GDP_t = \alpha + \beta \ln Ren_t + \beta^+ \ln Ren_t^+ + \beta^- \ln Ren_t^- + \mu_t \quad (2)$$

où  $\ln GDP_t$  désigne le logarithme naturel du PIB et  $\ln Ren_t$  indique le logarithme de la production de l'électricité renouvelabl.  $\ln Ren_t^+$  ainsi que  $\ln Ren_t^-$  sont les processus des sommes partielles associés aux chocs négatifs et positifs en  $\ln Ren_t$  définis par :

$$\ln Ren_t^+ = \sum_{j=1}^t \Delta \ln Ren_j^+ = \sum_{j=1}^t \max(\Delta \ln Ren_j, 0)$$

$$\ln Ren_t^- = \sum_{j=1}^t \Delta \ln Ren_j^- = \sum_{j=1}^t \min(\Delta \ln Ren_j, 0)$$

$\beta^+$  and  $\beta^-$  sont les paramètres asymétriques associés à long-terme. L'extension du modèle à retards échelonnés, proposé par Shin et al. (2014) fournit le modèle à correction d'erreur asymétrique suivant et sachant les variables de contrôle :

$$\Delta \ln GDP_t = \vartheta + \rho \ln GDP_{t-1} + \beta^+ \ln Ren_{t-1}^+ + \beta^- \ln Ren_{t-1}^- + \sum_{i=1}^{p-1} \gamma_i \Delta \ln GDP_{t-i} + \sum_{i=0}^{q-1} (\varphi_i^+ \Delta Ren_{t-i}^+ + \varphi_i^- \Delta Ren_{t-i}^-) + \epsilon_t \quad (3)$$

Où les symboles  $p$  et  $q$  désignent respectivement les nombres de retards associés respectivement aux  $GDP_t$  et  $Ren_t$ . Le modèle NARDL ainsi exprimé, a plusieurs avantages. Premièrement, il permet d'estimer par la technique des moments et par la décomposition de la variable exogène en sommes partielles positives et négatives. Deuxièmement, on peut tester la relation à long-terme entre les niveaux des variables  $\ln GDP_t$ ,  $\ln Ren_t^+$  et  $\ln EG_t^-$  (i.e.  $\rho = \beta^+ = \beta^- = 0$ ) par l'utilisation de la statistique  $F_{PSS}$  suggérée par Pesaran et al. (2001) et Shin et al. (2014). La statistique  $t_{BDEG}$  proposée par Banerjee et al. (1998) peut tester l'hypothèse nulle  $\rho = 0$  contre l'hypothèse alternative  $\rho < 0$ . L'estimation peut fournir des inférences statistiques valides indépendamment que les variables exogènes soient stationnaires, non stationnaires ou un mélange entre les deux. On peut donc calculer les coefficients asymétriques à long-terme comme suit:  $L_{Ren^+} = \hat{\beta}^+ / \rho$  et  $L_{Ren^-} = \hat{\beta}^- / \rho$ . Troisièmement, On peut utiliser la statistique standard de Wald pour examiner la symétrie à

<sup>5</sup> Le modèle est une extension de l'approche linéaire ARDL proposée par Pesaran et al. (2001).

long terme  $\beta = \beta^+ = \beta^-$  ainsi que la symétrie à court-terme qui pourrait prendre l'une des deux formes suivantes:  $\varphi_i^+ = \varphi_i^-$  pour tout  $i = 1, \dots, q - 1$  ou  $\sum_{i=0}^{q-1} \varphi_i^+ = \sum_{i=0}^{q-1} \varphi_i^-$ . Finalement, l'effet d'un changement d'un pourcent des multiplicateurs asymétriques dynamiques respectivement  $Ren_{t-1}^+$  et  $Ren_{t-1}^-$  sur  $GDP_t$  peut être exprimés comme suit:

$$Ren_h^+ = \sum_{j=0}^h \frac{\partial GDP_{t+j}}{\partial Ren_{t-1}^+} \text{ et } Ren_h^- = \sum_{j=0}^h \frac{\partial GDP_{t+j}}{\partial Ren_{t-1}^-} \text{ pour } h = 0,1,2 \dots$$

Si  $h \rightarrow \infty$ , alors  $Ren_h^+ \rightarrow L_{Ren^+}$  et  $Ren_h^- \rightarrow L_{Ren^-}$ .

Afin de tester la symétrie à court-terme, nous utilisons la statistique de Wald, et si la symétrie n'a pas été rejetée, alors l'équation (3) de NARDL pourrait être simplifiée par la relation asymétrique à long-terme suivante:

$$\begin{aligned} \Delta \ln GDP_t = & \vartheta + \rho \ln GDP_{t-1} + \beta^+ \ln Ren_{t-1}^+ + \beta^- \ln Ren_{t-1}^- + \sum_{i=1}^{p-1} \gamma_i \Delta \ln GDP_{t-i} \\ & + \sum_{i=0}^{q-1} \varphi_i \Delta \ln Ren_{t-i} + \epsilon_t \end{aligned}$$

Par contre, si la symétrie à long-terme n'a pas été rejetée, alors l'équation (3) pourrait être simplifiée à un NARDL avec relation asymétrique à court-terme :

$$\begin{aligned} \Delta \ln GDP_t = & \vartheta + \rho \ln GDP_{t-1} + \beta \ln Ren_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \gamma_i \Delta \ln GDP_{t-i} \\ & + \sum_{i=0}^{q-1} (\varphi_i^+ \Delta \ln Ren_{t-i}^+ + \varphi_i^- \Delta \ln Ren_{t-i}^-) + \epsilon_t \end{aligned}$$

## 6.2. Les résultats

Les résultats des estimations, sont présentés dans les tableaux 7 & 8<sup>6</sup>. Les résultats des estimations sur la relation à court terme sont présentés dans la partie supérieure des tableaux

<sup>6</sup> Nous avons estimé le modèle en différenciant les différentes sources de production d'électricité renouvelable. Cependant, les valeurs désagrégées sont très faibles et les résultats ne sont pas significativement différents des résultats présentés dans les tableaux 7 & 8 pour la valeur agrégée de l'électricité des différentes sources. Pour l'Algérie, il existe une seule source à savoir l'énergie hydraulique jusqu'en 2014. C'est seulement en 2015 que l'Algérie a enregistré une production d'électricité éolienne et du solaire. Pour l'Egypte, l'Iran, le Maroc il existe deux sources d'énergie renouvelable à savoir l'électricité hydraulique et celle éolienne. Mais l'électricité éolienne représente en moyenne que 2% de l'électricité renouvelable pour l'Egypte, 1% de l'électricité renouvelable pour l'Iran et 13% de l'électricité renouvelable pour le Maroc sur la période. Pour l'Iraq, le Liban il existe une seule source d'énergie renouvelable à savoir l'énergie hydraulique. Pour la Turquie, il existe multiples

alors que les résultats sur la relation de long terme sont présentés dans la partie inférieure. Les tests non linéaires et d'asymétrie sont résumés par les statistiques BDM, PSS. BDM est la statistique proposée par Banerjee et al. (1998) pour tester la relation nulle de long terme et PSS est la statistique F proposée par Pesaran et al. (2001) pour tester l'hypothèse nulle de non-cointégration. Ces deux statistiques confirmées sont significatives pour l'Algérie, l'Égypte, le Maroc, la Turquie, l'Iran et le Liban. Ce qui confirme une relation non linéaire à long terme entre le PIB par tête et la production d'électricité renouvelable et valide l'hypothèse de cointégration des variables du modèle pour ces pays.  $W_{LR}$  ( $W_{SR}$ ) est la statistique de Wald qui teste l'hypothèse de la symétrie de la relation entre le PIB par tête et la production d'électricité à long terme (court terme).  $W_{LR}$  est significatif pour l'Algérie, l'Égypte, le Maroc, la Turquie et l'Iran pendant que  $W_{SR}$  est significatif pour le Liban. Ces tests permettent donc de rejeter l'hypothèse d'une relation symétrique à long terme pour les premiers pays et de rejeter l'hypothèse d'une relation symétrique à court terme pour le Liban. En d'autres termes, l'effet d'un choc positif de la production d'électricité renouvelable sur le PIB par tête est différent de l'effet d'un choc négatif à long terme pour l'Algérie, l'Égypte, le Maroc, la Turquie et l'Iran. Pour l'Iraq, l'Israël et la Tunisie les résultats ne confirment pas une relation de court, ni de long, terme entre le PIB par tête et la production d'électricité renouvelable. Ce résultat peut être expliqué par la faiblesse du niveau de production d'électricité renouvelable. Sur la période de l'étude, la part de l'électricité renouvelable dans la production d'électricité total ne dépasse pas les 3%. En 2015, cette part est de 2% pour l'Israël et de 2,5% pour la Tunisie. La relation de court terme et de long terme sont respectivement mesurées par le coefficient des variables  $Ren_{t-1}^+$  ou  $Ren_{t-1}^-$  et  $L_{Ren}^+$  ou  $L_{Ren}^-$ .

Nos résultats montrent qu'à court terme, la production d'électricité renouvelable a une relation positive et symétrique avec la production par tête en Algérie, en Égypte, au Maroc et en Turquie. L'élasticité à court terme du PIB par tête par rapport à la production d'électricité renouvelable est positive et comprise entre 0,13 et 0,76. Par exemple une augmentation de 1% de la production d'électricité renouvelable entraîne à court terme une augmentation moyenne de 0,17% du PIB par tête en Turquie, de 0,18% du PIB par tête en Égypte, de 0,13% du PIB par tête en Algérie, de 0,13% du PIB par tête au Maroc et de 0,76% du PIB par tête en Algérie. Symétriquement,

---

sources d'énergie renouvelable à savoir l'électricité de source de biomasse, de l'électricité géothermique, de l'électricité éolienne et l'électricité hydraulique. Mais cette dernière représente en moyenne 96% de l'énergie renouvelable sur la période. Ce qui explique une absence de co-intégration entre le PIB et les autres sources d'énergie à l'exception l'hydraulique.

une baisse de 1% de la production d'électricité renouvelable entraîne une baisse du PIB par tête. En ce qui concerne l'Iran et le Liban, les résultats montrent une relation négative avec des élasticités de court terme -0,34 et -0,60 respectivement.

A long terme, l'Algérie, l'Egypte, le Maroc et la Turquie ont expérimenté une relation positive d'un choc positif de la production d'électricité sur le PIB par tête. Par contre, l'effet d'un choc positif est différent de l'effet d'un choc négatif. En l'occurrence, l'élasticité de long terme est positive et significative pour un choc positif alors que cette élasticité est non significative pour l'Egypte et le Maroc, et négative pour la Turquie. En d'autres termes, l'effet d'un choc négatif de la production d'électricité renouvelable sur le PIB par tête est moindre à long terme. La variation à long terme du bien-être mesuré par le PIB est moins sensible à une baisse de la production d'électricité renouvelable.

Tableau 7 : Résultats des estimations pour les pays ayant validé l'hypothèse d'une relation asymétrique

	Algérie		Egypte		Maroc		Turquie	
	Coefficient.	Ecart-type	Coefficient.	Ecart-type	Coefficient.	Ecart-type	Coefficient.	Ecart-type
constant	0.962***	(0.757)	0.941*	(0.715)	0.861	(0.151)	0.981***	(0.178)
$GDP_{t-1}$	-0.946**	(0.443)	-0.621***	(0.187)	-0.619**	(0.183)	-0.571***	(0.047)
$Ren_{t-1}^+$	0.766**	(0.716)	0.184***	(0.043)	0.137**	(0.054)	0.179***	(0.082)
$Ren_{t-1}^-$	-0.342*	(0.632)	-0.065	(0.037)	-0.122	(0.074)	-0.049	(0.073)
Variables déterministes								
L	-0.156**	(0.046)	--	--	0.368*	(0.206)	0.461*	(0.094)
IDE	0.148	(0.157)	0.031**	(0.012)	0.141*	(0.111)	0.048**	(0.012)
Tr	-0.016	(0.040)	0.025	(0.015)	0.216*	(0.344)	0.173	(0.068)
La qualité bureaucratique	-0.531	(0.576)	0.228	(0.313)	--	--	na	
La responsabilité démocratique	0.017	(0.129)	0.044*	(0.018)	0.126*	(0.079)	na	
La stabilité du gouvernement	0.035	(0.046)	0.01*	(0.004)	0.002	(0.032)	na	
Ordre public	-0.685	(0.356)	0.144**	(0.049)	0.305*	(0.146)	na	
$L_{Ren}^+$	0.978***		0.140**		0.222**		0.462**	
$L_{Ren}^-$	0.743**		-0.051		-0.198		-0.068**	
Adj. R <sup>2</sup>	0.59		0.93		0.67		0.57	
$\chi_{SC}^2$	[0.351]		[0.133]		[0.312]		[0.553]	
$\chi_{NORM}^2$	[0.871]		[0.919]		[0.589]		[0.687]	
$\chi_{HET}^2$	[0.079]		[0.401]		[0.599]		[0.238]	
$t_{BDM}$	-4.076**		-8.7365***		-3.393**		-5.267***	
$F_{PSS}$	6.832***		31.5364***		6.117***		9.633***	
$W_{LR}$	26.14***		42.83***		10.83**		3.847***	
$W_{SR}$	0.573		1.46		3.228		1.583	

Les indices "+" et "-" indiquent respectivement les sommes cumulatives positives et négatives.  $L_{Ren}^+$  et  $L_{Ren}^-$  sont les coefficients à long-terme associés respectivement à un changement positif et négatif défini par  $\hat{\beta} = -\hat{\theta}/\hat{\rho}$ .  $\chi_{SC}^2$ ,  $\chi_{NORM}^2$  et  $\chi_{HET}^2$  dénotent respectivement les tests LM de corrélation sérielle, de normalité de la forme fonctionnelle et l'hétéroscédasticité.  $W_{LR}$  ( $W_{SR}$ ) représente le test de Wald qui vérifie la symétrie de la variable correspondante à long-terme (court-terme). Les valeurs entre [.] sont les « p-value ». Les valeurs entre (.) sont les écarts-types. Les \*, \*\* et \*\*\* indiquent respectivement la significativité à 1%, 5% et 10%.

Tableau 8 : Résultats des pays ayant validé l'hypothèse d'une relation symétrique

	Iran		Iraq		Israël		Tunisie		Liban	
	Coefficient.	Ecart-type	Coefficient.	Ecart-type	Coefficient.	Ecart-type	Coefficient.	Ecart-type	Coefficient.	Ecart-type
constant	0.369***	(0.469)	0.468	(0.881)	0.94	(0.052)	-0.416	(0.067)	0.776***	(0.142)
$GDP_{t-1}$	-0.549***	(0.208)	-0.719**	(0.245)	-0.584**	(0.241)	-0.124	(0.117)	-0.029***	(0.163)
$Ren_{t-1}$	-0.349*	(0.169)	0.086	(0.188)	-0.0008	(0.057)	0.005	(0.033)	-0.606**	(0.371)
Variables déterministes										
L	0.511***	(0.804)	0.167	(0.419)	--	--	0.456	(0.491)	0.222***	(0.337)
IDE	-0.210	(0.167)	0.025	(0.043)	0.0086	(0.005)	0.041*	(0.020)	-0.159***	(0.023)
Tr	0.109	(0.098)	0.541***	(0.150)	-0.0003	(0.004)	0.004	(0.012)	0.057*	(0.025)
La qualité bureaucratique	-0.353	(0.273)	0.087	(0.133)	0.113	(0.132)	--	--	0.556***	(0.309)
La responsabilité démocratique	0.070	(0.060)	0.021	(0.149)	0.151	(0.128)	0.046**	(0.019)	0.206***	(0.115)
La stabilité du gouvernement	0.068***	(0.019)	0.019	(0.021)	-0.007	(0.012)	-0.013	(0.008)	-0.005	(0.017)
Ordre public	0.122	(0.170)	0.824***	(0.246)	--	--	0.337**	(0.121)	--	--
$L_{Ren}$	-0.225*		0.12		-0.001		0.043**		1.561***	
Adj. R <sup>2</sup>	0.83		0.73		0.61		0.806		0.79	
$\chi_{SC}^2$	[0.192]		[0.253]		[0.271]		[0.669]		[0.775]	
$\chi_{NORM}^2$	[0.717]		[0.844]		[0.003]		[0.746]		[0.13]	
$\chi_{HET}^2$	[0.824]		[0.056]		[0.848]		[0.585]		[0.401]	
$t_{BDM}$	-4.727**		-2.937		-2.721		-0.694		-4.542**	
$F_{PSS}$	19.593***		4.932		3.325		0.162		14.125***	
$W_{LR}$	1.127		0.112		3.782		0.089		0.06	
$W_{SR}$	0.322		0.163		1.319		0.409		82.69***	

Les indices "+" et "-" indiquent respectivement les sommes cumulatives positives et négatives.  $L_{Ren}^+$  et  $L_{Ren}^-$  sont les coefficients à long-terme associés respectivement à un changement positif et négatif défini par  $\hat{\beta} = -\hat{\theta}/\hat{\rho}$ .  $\chi_{SC}^2$ ,  $\chi_{NORM}^2$  et  $\chi_{HET}^2$  dénotent respectivement les tests LM de corrélation sérielle, de normalité de la forme fonctionnelle et l'hétéroscédasticité.  $W_{LR}$  ( $W_{SR}$ ) représente le test de Wald qui vérifie la symétrie de la variable correspondante à long-terme (court-terme). Les valeurs entre [...] sont les « p-value ». Les valeurs entre (.) sont les écarts-types. Les \*, \*\* et \*\*\* indiquent respectivement la significativité à 1%, 5% et 10%.



## 7. Conclusion et recommandations

Ce travail explore la question du lien dynamique entre le développement des énergies renouvelables et de la croissance. Il s'inscrit, par ce biais, dans la lignée d'un ensemble de travaux engagés par Yi (2013), Farooq et al. (2013), Jaraité et al. (2015), Ito, (2017), Kahia et al. (2017) qui considèrent que le développement d'énergies renouvelables est une variable pertinente pour stimuler la croissance économique, créer de nouveaux emplois et à améliorer la qualité de l'environnement.

Ce rapport admet l'hypothèse que cette analyse ne peut être menée sans tenir compte de la relation symétrique et asymétrique de la production d'énergie renouvelable avec le développement. Il mobilise à cet effet un ensemble de techniques en économétrie, appliquées sur un plan régional, afin d'améliorer les estimations du modèle des énergies renouvelables utilisé. Les principaux résultats de ce travail peuvent être résumés de la façon suivante. Premièrement, les résultats montrent que les efforts de développement de la production d'électricité renouvelable doivent être soutenus à court terme car la relation entre la production d'électricité renouvelable et le PIB par tête est asymétrique. En l'occurrence l'Algérie, l'Egypte, le Maroc et la Turquie sont concernés par cette stratégie qui va leur permettre d'augmenter le bien-être dans le long terme. Deuxièmement, le niveau actuel de la production d'électricité renouvelable en Tunisie et en Israël est assez faible pour avoir un effet significatif sur le bien-être. Ces deux pays doivent donc continuer leurs efforts de production d'électricité renouvelable afin d'atteindre des niveaux qui leur permettent d'avoir un impact sur le bien-être. Troisièmement, l'Iran et le Liban sont dans une stratégie qui a un impact négatif sur le bien-être, à savoir la production d'électricité hydraulique. Ils doivent essayer de développer d'autres sources d'énergie en exploitant leur potentiel en éolien et en solaire.

Aujourd'hui, le capital humain représente le facteur essentiel qui permet au secteur énergétique de fournir des solutions efficaces, fiables et rentable afin de favoriser l'accès à l'énergie et assurer le développement économique durable. L'approche consiste à :

- Fournir un soutien technique et une connaissance du marché grâce à des formations adaptées.
- Mener le renforcement des capacités et l'innovation pour renforcer les compétences fondées sur l'expertise et le savoir-faire des voisins membres afin d'assurer le transfert

des compétences et des connaissances permettant la création à long terme des marchés des énergies renouvelables.

- Soutenir l'émergence du secteur entrepreneurial méditerranéen travaillant sur des solutions innovantes aux défis de développement locaux en mettant l'accent sur l'intégration de l'innovation, qui s'aligne avec les objectifs de la région.
- Diversifier le marché des énergies renouvelables (Iran, Liban) en s'orienter vers d'autres sources d'énergies renouvelables et inciter le commerce à faciliter la création d'un avantage concurrentiel (Iraq, Liban).

Ainsi, l'impact positif des énergies renouvelables sur la croissance économique ont de fortes implications politiques. Il est par conséquent essentiel pour les économies MENA de continuer à promouvoir ce secteur pour mieux tirer parti de son impact positif sur le développement à long terme. Nous avons montré que la production d'énergie solaire et éolienne sont les deux sources qui présentent le plus d'impact au niveau environnemental, économique, social et technique (section2), par conséquent, les MENA devraient orienter leurs investissements essentiellement sur ces deux sources d'ER. Toutefois, certains de ces pays seront confrontés à plusieurs contraintes et défis qui sont principalement dus au manque d'investissements. En effet, les investissements dans les énergies renouvelables sont considérés comme une solution clé pour introduire une énergie accessible, sûre et durable dans tous ces pays et jouera un rôle important en permettant un développement économique durable sur le long terme. Toutefois, ces pays restent fortement dépendants des ressources pétrolières et la réorientation du soutien aux producteurs d'énergie renouvelable pour accroître la part d'énergie renouvelable dans le mix énergétique total est loin d'être automatique. Les décideurs devraient ainsi permettre :

- Une substitution progressive de l'utilisation de combustibles fossiles traditionnels par des sources d'énergie renouvelables alternatives.
- Mettre en place des incitations en termes de simplification du processus administratifs pour attirer des investisseurs s'intéressant aux énergies renouvelables.

Ces incitations financières pour les producteurs devraient être bien planifiées, bien orientées et bien conçues en termes de temps et surtout être soigneusement étudié, afin ne pas affecter le bien être de la population à revenu faible.

## Références

- Abdmouleh, Z., Alammari, R. A., & Gastli, A. (2015). Recommendations on renewable energy policies for the GCC countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 1181–1191.
- Abdmouleh, Z., Alammari, R. A., & Gastli, A. (2015). Recommendations on renewable energy policies for the GCC countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 1181–1191.
- Adewuyi, A. O., & Awodumi, O. B. (2017). Renewable and non-renewable energy-growth-emissions linkages: Review of emerging trends with policy implications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 275-291.
- Alper, A., & Oguz, O. (2016). The role of renewable energy consumption in economic growth: Evidence from asymmetric causality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 953-959.
- Amri, F. (2017). Intercourse across economic growth, trade and renewable energy consumption in developing and developed countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 69, 527–534.
- Apergis, N., & Payne, E. J. (2010). Renewable energy consumption and growth in Eurasia. *Energy Economics*, 1392-1397.
- Apergis, N., & Payne, J. E. (2011). Renewable and non-renewable electricity consumption–growth nexus: evidence from emerging market economies. *Appl Energy*, 88, 5226-5230.
- Apergis, N., & Payne, J. E. (2012). Renewable and non-renewable energy consumption – growth nexus: evidence from a panel error correction model. *Energy Econ*, 34 , 733-738.
- Atalay, Y., Biermann, F., & Kalfagianni, A. (2016). Adoption of renewable energy technologies in oil-rich countries: Explaining policy variation in the Gulf Cooperation Council states. *Renewable Energy* 85, 206-214.
- Banerjee, A., Dolado, J., & Mestre, R. (1998). Error-correction Mechanism Tests for Cointegration in a Single-equation Framework. *Journal of time series analysis* 19, 267-283.
- Bélaïd, F., & Abderrahmani, F. (2013). Electricity consumption and economic growth in Algeria: A multivariate causality analysis in the presence of structural change. *Energy Policy*, 286-295.
- Bélaïd, F., & Youssef, M. (2017). Environmental degradation, renewable and non-renewable electricity consumption, and economic growth: Assessing the evidence from Algeria. *Energy Policy* 102 , 277–287.
- Bhattacharya, M., Paramati, S. R., Ozturk, I., & Bhattacharya, S. (2016). The effect of renewable energy consumption on economic growth: Evidence from top 38 countries. *Applied Energy*, 733-741.

- Bhutto, A. W., Bazmi, A. A., Zahedi, G., & Klemes, J. J. (2014). A review of progress in renewable energy implementation in the Gulf Cooperation Council countries. *Journal of Cleaner Production*, 71 , 16-180.
- Brini, R., Amara, M., & Jemmali, H. (2017). Renewable energy consumption, International trade, oil price and economic growth inter-linkages: The case of Tunisia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 76 , 620–627.
- Camos, D., Bacon, R., Estache, A., & Hamid, M. M. (2018). *Éclairages sur les services d'électricité du Moyen-Orient et de l'Afrique du Nord: Enseignements d'un diagnostic de performance*. World Bank, Washington, DC : La Banque mondiale. doi:10.1596/978-1-4648-1182-1 Licence: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO: Overview booklet.
- Chien, T., & Hu, J. (2007). Renewable energy and macroeconomic efficiency of OECD and non-OECD economies. *Energy Policy*, 35 , 3606–3615.
- Destek, M. A., & Aslan, A. (2017). Renewable and non-renewable energy consumption and economic growth in emerging economies: Evidence from bootstrap panel causality. *Renewable Energy*, 757-763.
- Dogan, E. (2016). Analyzing the linkage between renewable and non-renewable energy consumption and economic growth by considering structural break in time-series data. *Renewable Energy* 99 , 1126-1136.
- Farhani, S., Shahbaz, M., Sbia, R., & Chaibi, A. (2014). What does MENA region initially need: Grow output or mitigate CO2 emissions? *Economic Modelling* 38, 270–281.
- FEMIP. (2010). *Study on the Financing of Renewable Energy Investment in the Southern and Eastern Mediterranean Region*. European Investment Bank.
- Griffiths, S. (2017). A review and assessment of energy policy in the Middle East and North Africa region. *Energy Policy* 102, 249–269.
- Ito, K. (2017). CO2 emissions, renewable and non-renewable energy consumption, and economic growth: Evidence from panel data for developing countries. *International Economics*, 1-6.
- Kahia, M., Aïssa, M. S., & Lanouar, C. (2017). Renewable and non-renewable energy use - economic growth nexus the case of MENA Net Oil Importing Countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 71, 127–140.
- Kahia, M., Kadria, M., Aïssa, M. S., & Lanouar, C. (2017-a). Modelling the treatment effect of renewable energy policies on economic growth: Evaluation from MENA countries. *Journal of Cleaner Production* 149, 845-855.
- Komendantova, N., Patt, A., Barras, L., & Battaglini, A. (2012). Perception of risks in renewable energy projects: The case of concentrated solar power in North Africa. *Energy Policy* 40 , 103–109.
- Laffite, M., Trink, C., Massou, F., & Palat, P. (2009). *Le Plan Solaire Méditerranéen*.

- Lin, B., & Moubarak, M. (2014). Renewable energy consumption – Economic growth nexus for China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 40, 111–117.
- MEDENER/OME. (2016). *La transition énergétique en Méditerranée, scénario 2040*. ISBN : print 979-10-297-0487-1 / web 979-10-297-0488-8.
- Ocal, O., & Aslan, A. (2013). Renewable energy consumption–economic growth nexus in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 494-499.
- Ozturk, I., & Bilgili, F. (2015). Economic growth and biomass consumption nexus: dynamic panel analysis for Sub-Sahara African Countries. *Appl Energy*, 137, 110-116.
- Pao, H.-T., & Fu, H.-C. (2013). Renewable energy, non-renewable energy and economic growth. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 381–392.
- Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16, 289-326.
- Shin, Y., Byungchul, & Greenwood-Nimmo, M. (2014). Modelling asymmetric cointegration and dynamic multipliers in a nonlinear ARDL framework. In W. Horrace, & R. Sickles (Eds.), *The Festschrift in Honor of Peter Schmidt.: Econometric Methods and Applications*, 281-314. New York: Springer. DOI: 10.1007/978-1-4899-8008-3\_\_9.
- Wang, J.-J., Jing, Y.-Y., Zhang, C.-F., & Zhao, J.-H. (2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 13, Issue 9, 2263-2278.