

Évaluation des filières énergétiques marocaines : Impacts environnementaux et implications pour une transition vers une économie verte

Meryam Bouayad, Doctorante
Lahcen Elyoussoufi, Enseignant-Chercheur
Hamdaoui Mohamed, Enseignant-Chercheur

Laboratoire de Recherche en Economie de l'Energie, Environnement et Ressources (GREER), Faculté des Sciences Juridiques, Economiques et Sociales de Marrakech, Université Cadi Ayyad, Maroc

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n1p226](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n1p226)

Submitted: 26 September 2024

Accepted: 26 December 2024

Published: 31 January 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Bouayad M., Elyoussoufi L. & Mohamed H. (2025). *Évaluation des filières énergétiques marocaines : Impacts environnementaux et implications pour une transition vers une économie verte*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (1), 226.

<https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n1p226>

Résumé

L'objet de notre article est de déterminer la relation qui existe entre le modèle de développement basé sur l'option de l'économie verte, son défi énergétique ainsi que ses impacts environnementaux attribuables aux diverses filières énergétiques marocaines. En utilisant la méthodologie des scénarios et les données collectées auprès des organismes nationaux et internationaux, nous avons comparé les impacts environnementaux de ces filières sur l'ensemble de l'économie marocaine en les classant les unes par rapport aux autres, en mettant l'accent sur des critères tels que les émissions de CO₂ et de CH₄, la modification de l'écosystème, le changement de paysage et les risques pour la santé et la sécurité. Ensuite, et sur la base de ce classement, nous avons déterminé les répercussions environnementales de ces filières sur la transition énergétique du modèle de développement basé sur l'option de l'économie verte. Nos résultats montrent qu'en plus de présenter le moins d'impacts environnementaux, les filières hydraulique, solaire et éolienne sont plus durables et produisent un flux d'énergie continue et pratiquement inépuisable. Ils suggèrent qu'un mix énergétique équilibré, intégrant ces trois ressources,

est essentiel pour maximiser les avantages socio-économiques et environnementaux.

Mots-clés: Économie verte, Impacts environnementaux, Transition énergétique, Énergies renouvelables, Filières énergétiques marocaines

Assessing Morocco's Energy Branches: Environmental Impacts and Green Economy Implications

Meryam Bouayad, Doctorante

Lahcen Elyoussoufi, Enseignant-Chercheur

Hamdaoui Mohamed, Enseignant-Chercheur

Laboratoire de Recherche en Economie de l'Énergie, Environnement et Ressources (GREER), Faculté des Sciences Juridiques, Economiques et Sociales de Marrakech, Université Cadi Ayyad, Maroc

Abstract

The purpose of our paper is to determine the relationship between the development model based on the green economy option, its energy challenge, and the environmental impacts attributable to the different Moroccan energy branches. Using the scenario methodology and data collected from national and international organizations, we compared the environmental impacts of these sectors on the Moroccan economy as a whole by ranking them against each other, focusing on criteria such as CO₂ and CH₄ emissions, ecosystem modification, landscape change, and health and safety risks. Based on this ranking, we then determined the environmental impact of these sectors on the energy transition of the development model based on the green economy option. Our results show that hydro, solar, and wind power not only have the lowest environmental impact but are also more sustainable and produce a continuous and virtually inexhaustible flow of energy. The results suggest that a balanced energy mix integrating these three resources is essential to maximise socio-economic and environmental benefits.

Keywords: Green economy, Environmental impacts, Energy transition, Renewable energy, Moroccan energy branches

Introduction

Le concept d'économie verte est né en réponse aux problèmes mondiaux urgents tels que la détérioration de l'environnement et les inégalités socio-économiques (PNUE 2011). Les modèles économiques classiques qui dépendent largement des combustibles fossiles et des pratiques à forte

intensité de ressources se sont avérés non viables car ils aggravent les crises environnementales sans parvenir à garantir une croissance juste. En outre les partisans de l'écologie alertent la communauté internationale et les entreprises sur le fait que les ressources naturelles diminuent plus rapidement que prévu (Yuyang, 2024). De plus, à l'horizon 2030, la consommation d'énergie devrait augmenter de 40 % en Europe et de 50 % aux États-Unis tandis qu'elle devrait doubler en Inde et tripler en Chine (Abu Al-Haija, 2021).

Pour répondre à ces défis particuliers, le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE) a lancé l'initiative pour une économie verte "Towards a Green Economy" en 2008. Cette démarche est devenue un cadre clé pour trouver un équilibre entre la croissance économique et la préservation de l'environnement tout en favorisant l'inclusion sociale. En outre, en 2015, près de 200 nations et régions se sont engagés à promouvoir un environnement plus durable à énergie écologique et à émissions de carbone réduites conformément aux directives de l'Accord de Paris (Murshed et al., 2022). La priorité accordée à l'économie verte, dans son essence la plus simple, s'explique par sa capacité à résoudre des problèmes interdépendants, notamment l'amélioration du bien-être des individus, l'équité sociale et la croissance économique tout en réduisant les effets néfastes sur l'environnement (PNUE, 2011). D'ailleurs, elle porte promesses en ce qui a trait à réduire les émissions de gaz à effet de serre, la création d'emplois verts et la promotion de la résilience face aux risques climatiques (Mikhno et al., 2021). Par conséquent, la transition vers une économie verte est incontournable.

Au cœur de cette transition, le secteur énergétique joue un rôle essentiel en raison de sa contribution significative aux émissions de carbone à l'échelle mondiale et de son rôle crucial dans l'économie. Actuellement, la transition énergétique d'un mix aux combustibles fossiles à un mix à énergies propres s'avère crucial. Toutefois, elle ne se limite pas à l'arrêt progressive des centrales à combustibles fossiles et au développement des énergies renouvelables ; elle représente un véritable changement de paradigme qui impacte l'écosystème dans son ensemble dans l'espoir de réduire les impacts environnementaux tout en favorisant l'innovation, en renforçant la stabilité énergétique et en créant des possibilités de croissance économique durable. (Liu et al., 2022 ; Hao et al., 2021 ; Mohsin et al., 2022).

Situé en Afrique du Nord, le Maroc fait face à une demande croissante d'énergie (Boulakhbar et al., 2020). Cette augmentation de la demande énergétique a également engendré une dépendance croissante envers les sources d'énergie fossiles importées, notamment les produits pétroliers. Le pays importe environ 90% de ses besoins énergétiques (Farhani et al., 2021) et sa production locale d'énergie primaire ne répond qu'à environ 10 % des besoins du pays (IEA, 2019). Selon Nafil & Bouzi (2020), le pays a mis en

place une stratégie d'investissement de plus de 20 milliards de dollars pour augmenter sa capacité installée de plus de 6 750 MW au cours de cette décennie.

Situé dans l'une des régions arides du monde, le Maroc est particulièrement vulnérable au changement climatique, avec des précipitations très variables et des sécheresses récurrentes ayant des conséquences environnementales, sociales et économiques (Achbah et al., 2024). Afin de réduire sa dépendance aux énergies fossiles et de tirer parti de ses importantes ressources, le Maroc a commencé à investir dans les énergies renouvelables en 2000 et a accéléré, depuis 2009, le déploiement des énergies renouvelables afin d'atteindre 52% du mix énergétique en 2030 (20% d'énergie solaire, 20% d'énergie éolienne et 12% d'énergie hydraulique). Ces objectifs ont été annoncés lors de la réunion COP21 à Paris.

Compte tenu de cette situation fragile, notre travail vise à examiner le paysage énergétique actuel du Maroc et analyser le potentiel d'intégration des ressources renouvelables dans l'économie. Nous évaluerons les différentes filières énergétiques au Maroc, en nous concentrant sur leur impact environnemental et en les classant de la plus durable à la moins durable. Cela nous permettra également d'explorer le potentiel des énergies renouvelables à jouer un rôle significatif dans la transition vers une économie verte et à évaluer les politiques mises en œuvre par le gouvernement marocain à ce jour et comment elles peuvent être améliorées.

Pour ce faire, dans un premier point, nous présenterons une évaluation approfondie des filières énergétiques marocaines au niveau environnemental et de durabilité, mettant en lumière les possibilités d'une intégration accrue des sources d'énergie renouvelable. Ensuite, nous analyserons les politiques mises en place par le gouvernement marocain et nous explorerons les voies d'amélioration possibles. En mettant l'accent sur ces éléments spécifiques de notre étude, nous tenterons de fournir des éléments favorisant la transition du Maroc vers une économie respectueuse de l'environnement tout en participant au débat plus global sur les changements des plans énergétiques durables.

Méthodes et matériels

Bien que le Maroc est dépendant des énergies fossiles importées, il présente un énorme potentiel en termes des énergies renouvelables (principalement l'énergie solaire et éolienne) qui fait de lui l'un des pays les plus ambitieux en termes de promotion du développement durable (Saidi, 2022).

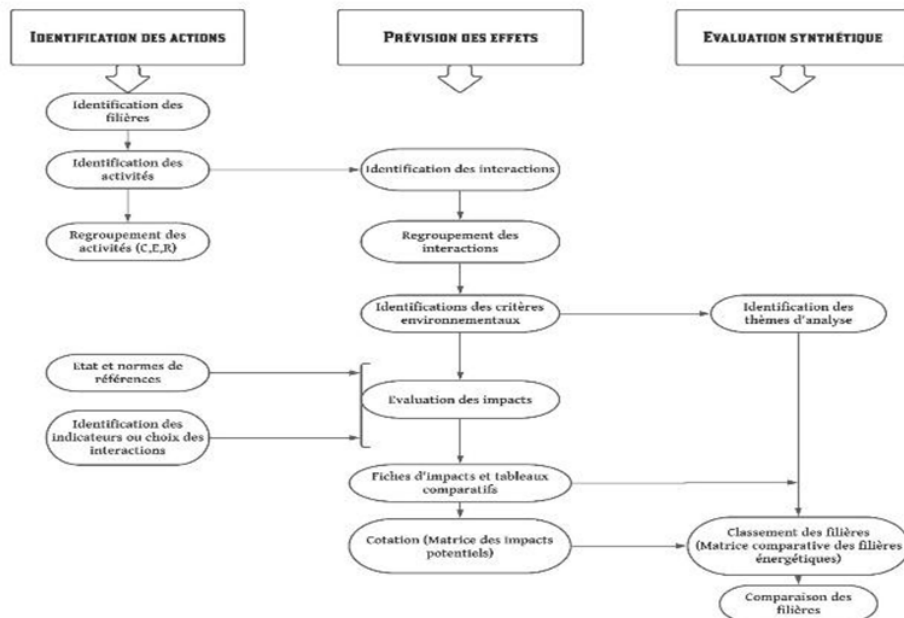
L'approche méthodologique que nous avons choisie dans le cadre de notre travail pour anticiper la transition du modèle de développement actuel du Maroc vers un modèle de développement basé sur l'option de l'économie verte, à travers les défis énergétiques futurs, est celle des scénarios.

Un scénario est une description riche d'un futur plausible qui permet l'étude par la suite des implications de ce futur plausible. Il ne repose pas sur l'extrapolation, mais sur l'assignation des valeurs extrêmes choisies avec précaution pour leur impact important sur ce que l'on souhaite étudier, il permet, d'une part, d'élargir l'horizon de pensée, et d'autre part de se préparer à agir dans le cas où le scénario deviendrait réalité. Il n'est pas conceptuellement différent d'une prédiction. La seule différence c'est qu'au lieu d'avoir un futur prédit, il y en a plusieurs. Cependant, et contrairement à la prédiction, le concepteur du scénario ne prend pas de position sur ce futur et sa capacité à advenir, il se contente de l'estimer plausible. Un scénario peut également modifier la manière de prendre des décisions par les agents en les éclairant sur l'impact réel à long terme de leurs actions.

L'approche méthodologique adoptée permet de fournir un aperçu global d'évaluation des filières énergétiques les unes par rapport aux autres de même que la détermination des orientations possibles de la gestion de l'énergie dans une perspective de développement durable et donc de l'économie verte (Whitney et al., 1985). Elle permettra également d'évaluer et de comparer les impacts environnementaux des diverses filières en fonction de certain principes qui se dégagent du concept de l'option de l'économie verte (Dalal-Clayton et al., 1991).

La démarche suivie dans le cadre de notre papier se résume en trois phases. Il s'agit de : L'identification des actions faisables et possibles, la prévision des effets de chaque action et l'évaluation synthétique de ces effets.

Figure 1 : Étude d'impacts : les étapes de l'approche d'évaluation environnementale



Source: Raymond et al. (1994).

L'identification des actions¹ permet de recenser les activités issues de chacune des filières tout au long du processus d'exploitation des ressources impliquées. En procédant ainsi, nous pouvons identifier les interactions entre les filières et évaluer leur impact environnemental.

La synthèse de ces évaluations nous permettra de regrouper les critères environnementaux, sous forme de thèmes, qui vont nous permettre de procéder à une comparaison finale entre les filières énergétiques et d'attribuer à chacune d'elles un rang² pour chacun de ces critères.

Avant de présenter ces points, nous tenons à signaler que nos sources de données proviennent dans leurs majorité du :

- Ministère de l'Énergie des Mines et de L'environnement du Maroc;
- L'Agence Internationale de l'Énergie (IEA) ;
- Haut-Commissariat au Plan Marocain (HCP) ;
- Les Données de la Banque Mondiale (World DataBank) ;
- Différents rapports traitant du cas du Maroc.

Identification des filières énergétiques

Les filières énergétiques qui seront considérées sont celles dont les incidences environnementales sont connues ou du moins identifiables et prévisibles. Leurs identifications se feront selon les utilisations possibles d'une même ressource ainsi que des technologies disponibles pour la production d'énergie à partir d'une même ressource. Leur analyse se fera sur la base de leurs caractéristiques techniques. Elles seront regroupées en fonction de leur utilisation de la ressource en respectant les étapes suivantes :

- L'étape de construction. Celle-ci tient compte de toutes les activités nécessaires à la mise en place des installations nécessaires pour l'exploitation d'une filière ;
- L'étape d'exploitation active. Elle prend en compte les activités en lien direct avec la phase de fonctionnement et à l'utilisation de la ressource nécessaire à ce fonctionnement ;
- L'étape du rejet final. Elle est liée aux dispositions qui doivent être prises à la fin du processus, après l'utilisation.

Prévision des effets

Pour identifier les filières énergétiques qui peuvent avoir une interaction avec les éléments environnementaux, nous allons utiliser la matrice de

¹ La détermination de diverses filières énergétiques qui peuvent être considérées comme les choix possibles pour l'établissement d'une politique de gestion des ressources énergétiques.

² Le rang obtenu est indiqué à la matrice comparative des diverses filières énergétiques. Les rangs obtenus par les différentes filières pour chacun des critères à l'intérieur d'un thème d'analyse sont ensuite utilisés pour déterminer l'impact relatif de la filière à l'intérieur du thème d'analyse.

Léopold³ (Leopold et al. 1971). Celle-ci permettra la comparaison des différentes filières tenant compte des impacts négatifs en fonction des critères retenus⁴.

L'évaluation des impacts repose sur un certain arbitraire car elle constitue une transposition subjective d'un effet sur une échelle de valeurs prédéterminée (Simos, 1990 ; Wathern, 1988). Il est donc nécessaire, pour une meilleure compréhension de l'évaluation, de procéder à la définition des normes référentielles et à l'identification du choix d'indicateurs qui pourront quantifier et qualifier les impacts environnementaux avant de procéder à une quelconque cotation sur l'échelle de valeurs.

Tableau 1 : Critères environnementaux et leurs indicateurs d'évaluation

Critères environnementaux	Indicateurs d'évaluation
Qualité de la ressource	Durabilité à long terme du flux d'énergie fourni par une ressource déterminée (épuisable (E), renouvelable (R))
Changement climatique global	Émissions de CO ₂ et CH ₄
Risque de catastrophe	Probabilités du risque telles que définies par les assureurs
Modification de l'écosystème	Effets produits sur l'environnement par les différentes filières énergétiques
Modification de l'aménagement	Possibilités d'utilisations alternatives du territoire
Modification du paysage	Taille des installations (volume et surface du sol)
Modification du mode de vie	Flexibilité d'implantation des infrastructures (exploitation et extraction de la ressource)
Pollution thermique	Quantités d'eau prélevées pour assurer le fonctionnement des systèmes de refroidissement et les changements de la température locale
Santé et sécurité	Degré de sécurité nécessaire au fonctionnement des installations, fiabilité technique des installations, risques d'accidents liés à chaque filière

Source : Leduc (1992), Boulanger et al. (2015), ADEME (2012), RTE (2020), Banque Mondiale (2013), Raymond et al. (1994) ...

L'évaluation des impacts des différents scénarios sur l'environnement doit se faire sur la base d'un référentiel de base. Dans le cadre de notre travail, il s'agit de l'état observé de l'environnement avant l'action entreprise, c'est-à-dire que l'évaluation des différents scénarios doit se faire en fonction de l'importance du changement opéré par chaque activité énergétique. Il est donc

³ La matrice de Léopold est une méthode d'évaluation qualitative de l'impact environnemental mise au point en 1971. Elle est utilisée pour identifier l'impact potentiel d'un projet sur l'environnement.

⁴ Il faut tenir compte des éléments biophysiques et humains dans une perspective d'économie verte et donc de développement durable.

primordial de choisir des indicateurs qui feront l'objet de l'évaluation, vu la diversité des interactions qui existent entre eux.

Ces critères (tableau 1) ne sont pas tous identiques (même signification ni même importance) au niveau environnemental, de ce fait, leurs conséquences sont également différentes. Ainsi, l'évaluation globale de chacune des filières posera certainement un problème de pondération des critères les uns par rapport aux autres.

Pour notre part, nous avons regroupé les thèmes en quatre catégories et nous avons tenu à ce qu'ils représentent les fondements de l'économie verte et par là du développement durable. Il s'agit :

- Des impacts énergétiques : ils sont liés à la nature de la ressource (critère de durabilité) ;
- Des impacts globaux : ils tiennent compte de l'incidence globale sur la biosphère (changement climatique, couche d'ozone, ...) ;
- Des critères affectant le patrimoine mondial (modifications des écosystèmes, l'aménagement, le paysage et le mode de vie de la population) ;
- Des critères ayant un effet précis et qui est limité dans le temps et l'espace (tenir compte des connaissances actuelles sur le sujet).

Cette hiérarchisation des thèmes, et par là des incidences environnementales allant du général vers le particulier, nous permettra de juger les impacts de chacune des filières dès le départ.

Classement et comparaison des filières

Un premier classement est effectué au niveau de chacun des critères environnementaux. À partir des cotes accordées à chacune des filières sur la base des trois stades d'exploitation des ressources, un rang comparatif sera attribué aux différentes filières.

Cette première comparaison permet d'abord d'obtenir un rang qui tient compte de l'ensemble des trois phases d'exploitation de la ressource ainsi que de la différenciation des filières qui, dans la matrice des potentiels, présentaient des cotes de même valeur. Nous nous sommes basés dans une première phase sur les rangs obtenus par filière à partir de la matrice comparative des différentes filières et ensuite sur les côtes obtenues pour différents impacts à partir de le tableau de l'évaluation globale des impacts environnementaux des différentes filières énergétiques et finalement sur les synthèses des différents rapports établis dans ce sens pour le Maroc.

Résultats

Après avoir présenter la méthodologie de notre travail, nous passons à la presentation des résultats de l'analyse comparative des différentes filières

énergétiques marocaines. Les résultats mettent en évidence le classement des différentes filières et leurs implications pour la transition énergétique du Maroc vers une économie verte.

Pour ce faire, Nous commençons, premièrement, par analyser les impacts globaux, pour ensuite se concentrer sur les impacts particuliers de chaque filière (tableau 2).

Tableau 2 : Viabilité de chaque filière énergétique

Viabilité de la ressource	Ressource	Utilisation ou forme d'exploitation
Ressources non renouvelables (épuisable)	Charbon	Électricité (Centrale thermique)
		Chauffage et métallurgie
	Pétrole	Électricité (Centrale thermique)
		Chauffage et transport
	Gaz naturel	Électricité (Centrale thermique)
		Chauffage et transport
Ressources renouvelables	Biomasse	Électricité (Centrale thermique)
		Chauffage
		Déchets
		Combustible de substitution
	Hydraulique	Centrale avec réservoir
	Solaire	Thermique
		Photovoltaïque
	Éolien	Centralisé
		Décentralisé

Source: Ministère de la transition énergétique et du développement durable du Maroc, (2019)

Les impacts globaux

Changement Climatique

Le système climatique est un système mondial très complexe composé de l'interaction d'un ensemble d'éléments qui lui assure sa stabilité relative dans le temps. Les gaz à effet de serre (GES) comme le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), l'ozone (O₃) et l'oxyde nitreux (N₂O) font partie de ces éléments. Ils sont transparents au rayonnement solaire entrant (ondes courtes) mais empêchent le rayonnement infrarouge (ondes longues) de quitter l'atmosphère terrestre (EPA, 2024). Ces gaz emprisonnent le rayonnement du soleil et contribuent ainsi à maintenir la température moyenne de la planète à 15°C; en leur absence cette température moyenne serait plutôt de -18°C (Levi, 1991).

L'évaluation de l'impact pour les filières énergétiques a été effectuée à partir des facteurs d'émissions de CH₄ et des facteurs d'émissions de CO₂ (*Bilan GES de l'ADEME, méthode dite « saisonnalisée par usage »*).

En 2023, de façon globale, la combustion des ressources énergétiques fossiles a contribué pour environ 90% des émissions de CO₂ dont le charbon est responsable d'environ 42,1% , le pétrole de 33,7% et le gaz naturel pour

20,4% (Friedlingstein et al., 2024). Les 4% autres restants d'émission de CO₂ sont attribuables à l'utilisation des terres ou de leurs changements d'affectation (UTCATF)⁵. Les émissions en provenance des réservoirs hydrauliques sont relativement faibles en comparaison.

Pour les émissions anthropiques mondiales de méthane (CH₄), en 2022, environ un tiers provient du secteur de l'énergie. Il est responsable de près de 40% des émissions totales de méthane attribuables à l'activité humaine, second à l'agriculture. Le pétrole est responsable d'environ 34% des émissions de CH₄ du secteur énergétique, le charbon de 31%, alors que 27% proviennent de fuites du secteur gazier, c'est-à-dire les émissions fugitives (production, transport et distribution). Les 7% qui restent sont attribuables aux bioénergies, principalement de l'utilisation traditionnelle de la biomasse (IEA, 2024).

Le CO₂ est la cause d'environ 65% des émissions totales de GES (IEA, 2024). Le méthane, provenant principalement de l'agriculture et de l'énergie, représente 18% des émissions de GES à cause de son potentiel de réchauffement global élevé, soit 25 à 30 fois de plus que celui du CO₂ durant cent ans, mais qui persiste moins de dix ans dans l'atmosphère (IEA, 2024).

L'impact des filières énergétiques utilisant les énergies fossiles et la biomasse est d'importance majeure à cause de la combustion source des quantités importantes de CO₂ et de CH₄. Les fuites de l'exploitation pétrolière et celles de l'exploitation gazière sont responsables d'environ 40% des émissions anthropiques des émissions de CH₄ dans le monde (IEA, 2024).

La production et l'emploi des combustibles fossiles comptent pour près de 99% de toutes les émissions des émissions de CO₂ d'origine anthropique au Maroc (IEA, 2024). Le 1 % restant est attribué à d'autres sources, y compris les processus industriels et les changements d'utilisation des terres (IEA, 2024). L'impact de la filière hydraulique avec réservoir est mineur car ses émissions de CO₂, comparativement aux filières à base d'énergie fossile, demeurent très faibles. Pour les autres filières, il n'y a pratiquement pas d'impact significatif en termes d'émission de CO₂.

Les filières de production d'électricité, quant à elles, contribuent aux émissions de CO₂ de façon variable. Les centrales au charbon occupent la première place suivie de celles à base de pétrole et de gaz naturel.

En comparant les filières les unes par rapport aux autres, nous constatons que, quatre filières n'émettent pas de CO₂ et occupent donc le premier rang. Les six derniers rangs sont occupés par les filières du charbon, du bois et du pétrole, étant donné leurs niveaux élevés d'émissions de CO₂ et de CH₄. Les filières du gaz naturel viennent aux sixième et septième rangs vu leurs

⁵ Le secteur UTCATF (Utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie) permet de rapporter les flux de CO₂ entre différents réservoirs terrestres (biomasse, sols, etc.) et l'atmosphère qui ont lieu sur les surfaces gérées d'un territoire. Il peut ainsi constituer une source nette ou un puits net de CO₂.

importances d'émissions de méthane et de CO₂, qui lui est, nettement inférieures à celles des filières précédentes.

Risque de catastrophe

Les éléments composants ce critère, comme défini par l'IEA (2014) concernent les accidents de l'environnement : accidents nucléaires⁶, les ruptures de barrages et les déversements majeurs de pétrole, Bien que la structure même des systèmes énergétiques⁷ soit à la base de ces risques, la nature de la ressource même et le transport des ressources énergétiques doivent être également évalués.

Les indicateurs retenus sont la fréquence des accidents et l'intensité de leur impact, tels que définis par les compagnies d'assurances œuvrant dans ce domaine (Munich Reinsurance Company, 1990).

Nous remarquons que les centrales conventionnelles (thermique, transport⁸ et hydraulique) présentent des niveaux de risques majeurs à cause de la proximité de leurs installations des centres urbains (tableau 3). De ce fait, l'évaluation globale des filières hydrauliques avec réservoir et les centrales thermiques montre un indice d'impact majeur.

Les risques d'explosion, d'incendies ou de fuite pour les filières du gaz naturel, des centrales thermiques au bois et des incinérateurs ont un indice d'impact moyen. L'impact faible de la filière des combustibles de substitution est principalement attribuable aux risques d'incendie.

Tableau 3: Indices d'évaluation pour le risque de catastrophe

	Centrale thermique	Pétrole Transport	Gaz chauffage et transport	Biomasse déchets	Biomasse (combustible de substitution)	Hydraulique réservoir
Risque d'incendie, de fuite et d'explosion	3	3	3	3	3	1
Risques d'erreurs humaines reliées à la complexité technologique	3	1	1	2	1	2
Risque d'endommagement suite aux intempéries	1	3	1	1	1	3*
Risque de sabotage,	2	3	2	1	1	2

⁶ Nous avons écarté ce risque de notre étude car le Maroc ne dispose pas de centrales nucléaires.

⁷ Elles se présentent généralement sous forme de grosses installations industrielles ou de constructions de grandes dimensions,

⁸ Les déversements pétroliers représentent également des risques environnementaux élevés en raison de l'âge des superpétroliers, des multiples traversées et des itinéraires souvent difficiles

terrorisme et guerre						
Responsabilité civile : dommages corporels, matériels et immatériels	3	3	2	3	1	3
Évaluation globale	3	3	2	2	1	3

*Principalement les crues rapides, les inondations, le gel et les tremblements de terre.

Échelle de 1 à 3 (faible à fort)

Source: (Munich Reinsurance Company, 1990).

Le classement de la filière du pétrole (chauffage et transport) au 15^{ème} rang est dû au risque de catastrophe important lié au déversement du pétrole et son impact sur l'environnement et l'économie de façon générale. Le 13^{ème} rang des grands barrages hydrauliques avec réservoirs, quant à eux, occupent le 14^{ème} rang à cause d'éventuelles conséquences désastreuses sur les populations humaines et le milieu biophysique en cas de rupture de tels ouvrages.

Pour les autres filières, les risques de catastrophes sont peu probables, par conséquent, l'effet global des impacts peut être considéré comme faible comparativement à celui des deux premières, même si certains demeurent tout de même majeurs. C'est le cas, entre autres, des centrales thermiques qui se partagent le 11^{ème} rang. Les filières occupant les rangs 5 à 8 présentent des impacts qualifiés de moyen.

Le premier rang est obtenu par les filières solaires et éoliennes, car elles ne présentent presque pas d'impact significatif pour ce qui est du risque de catastrophe.

Impacts sur le patrimoine mondial

Modification des écosystèmes

Nous nous limiterons pour l'analyse des impacts de ce critère au milieu biophysique⁹. Il est à signaler que, généralement, les filières énergétiques étudiées affectent l'écosystème bien qu'à des niveaux différents.

Au Maroc, l'impact le plus connu concerne les modifications consécutives à la mise en eau des grands réservoirs pour la production de l'électricité (IEA, 2019). Les exploitations minières (surtout pour les mines de charbon) et les constructions de grande taille présentent également un impact majeur.

Les écosystèmes peuvent être également affectés lorsqu'on procède aux exploitations forestières, aux modifications de débit des écosystèmes

⁹ Il regroupe toutes les interventions qui peuvent affecter directement la structure et les composants des écosystèmes de sorte que la diversité, le flux d'énergie ou la circulation de la matière en seront modifiés et éventuellement détruits.

aquatiques et à la gestion des déchets énergétiques du cycle d'utilisation des ressources (Shah et al., 2022).

Le premier rang revient aux filières ayant des infrastructures relativement petites ou exploitant des ressources hors écosystème naturel (biomasse – déchets). Le dernier rang, quant à lui, revient à la filière hydraulique vue la destruction des écosystèmes terrestres et aquatiques environnants qu'elle entraîne.

Un barrage et un réservoir peuvent également modifier les températures naturelles de l'eau, la chimie de l'eau, les caractéristiques du débit de la rivière et les charges de sédiments. Tous ces changements peuvent affecter l'écologie et les caractéristiques physiques de la rivière (Botelho et al., 2017).

La filière du charbon est avant dernière car ses installations créent des perturbations majeures lors de l'exploitation de la ressource¹⁰ (EIA, 2024), alors que les positions des filières du bois, des combustibles de substitution, du pétrole et du gaz est intermédiaire avec des rangs allant de 10 à 13.

Modification de l'aménagement

Il s'agit, surtout de la structuration du territoire. Pour l'évaluer, nous avons retenu l'harmonie de ces structures avec des utilisations alternatives possibles du territoire et des ressources. Plusieurs éléments¹¹ sont pris en considération dans l'analyse de cet impact. Il s'agit, surtout, des territoires inondés, l'exploitation minière à ciel ouvert et l'exploitation des schistes bitumineux, et les grandes exploitations forestières.

L'impact des autres filières sur l'écosystème est mineur. C'est le cas par exemple des parcs éoliens et solaires qui permettent des utilisations alternatives possibles du territoire.

Le dernier rang revient à la filière du charbon à cause de l'absence de potentiel d'utilisations à d'autres fins. Le 12ième rang revient aux filières pétrolières pour les mêmes raisons, surtout, dans le cas de l'exploitation des schistes bitumineux où le territoire est dédié, exclusivement, à celle-ci. Bien que le milieu aquatique puisse être utilisé à d'autres fins, la filière hydraulique avec réservoir occupe le 11ième rang, puisque la mise en eau des réservoirs empêche toute utilisation alternative du milieu initial, avant inondation.

Les filières solaires, les filières des grandes exploitations forestières (centrales thermiques – bois) ou agricoles (combustible de substitution) et celles de l'exploitation des gisements souterrains de gaz naturel ont des rangs intermédiaires car elles permettent toutes quelques autres usages. La filière éolienne centralisée occupe le 8ième rang à cause de la diversité des

¹⁰ L'impact sur l'écosystème existe ne serait-ce que par la nécessité d'installer dans un milieu récepteur, les équipements nécessaires à l'exploitation de la ressource.

¹¹ Il s'agit des activités qui affectent grandement l'occupation du territoire puisque l'utilisation de ces espaces est exclusivement dédiée à ces activités précises.

utilisations alternatives du territoire. Le classement des autres filières aux 4 premiers rangs est dû au fait qu'elles offrent plus d'opportunités pour d'autres usages.

Modification du paysage

La modification du paysage se distingue de la modification de l'aménagement, d'abord par son contenu esthétique ensuite parce qu'il en est souvent la conséquence de celui-ci¹². Afin de l'évaluer, nous avons retenu trois indicateurs. Il s'agit de la taille des installations, leur aspect esthétique et le degré de leur intégration dans le milieu récepteur.

La filière hydraulique avec réservoir et du charbon occupent les derniers rangs en raison de l'octroi des cotes d'impact majeur à au moins deux des trois indicateurs (Botelho et al., 2017). Les filières de biomasse, du pétrole, du gaz naturel quant à elles, présentent soit un impact majeur accompagné d'impacts moyens soit plusieurs impacts moyens. Les filières éoliennes centralisées et solaires occupent les rangs 2 à 4 car au moins un des indicateurs de ces filières présente un impact mineur. L'éolien décentralisé se retrouve en tête de liste.

Modification du mode de vie

L'évaluation de l'impact d'une filière énergétique sur le mode de vie et par là sur le bien-être de la société est relativement difficile à déterminer à cause de l'adaptation graduelle de la population aux différents changements occasionnés par le développement des filières énergétiques (Seddighi et al., 2023). Dans le cadre de notre travail, nous nous limiterons à l'évaluation des impacts des filières énergétiques sur les groupes isolés et vivant en dehors des centres urbains.

Le dernier rang accordé à la filière hydraulique avec réservoir est justifié par sa rigidité car la ressource doit être exploitée là où elle se trouve. Les importations de technologie sont importantes et la durée de réalisation des projets est relativement longue de même qu'une faiblesse de la compatibilité de la filière avec le mode de vie de la population (Botelho et al., 2017).

Tout comme pour la filière hydraulique, les filières du charbon, des centrales thermiques au pétrole et au gaz occupent l'avant dernier rang car, pour ces filières, le lieu d'extraction est spécifique à certains endroits¹³. Toutes ces filières présentent plusieurs impacts majeurs.

¹² Le critère est principalement fondé sur la perception visuelle des installations (cheminées, lignes à haute tension, plaques photovoltaïques, ...) ou de ses manifestations (panache de fumée...).

¹³ A noter également que le traitement des matières première nécessite une main-d'œuvre abondante et de grosses infrastructures, généralement, peu compatibles avec le mode de vie des populations autochtones.

Les premiers rangs reviennent aux filières du chauffage domestique au bois, éoliennes et solaires qui pourraient être considérés comme ne présentant pas d'impact significatif à cause de la flexibilité d'implantation.

Impacts particuliers

Pollution thermique

Bien que l'impact de la pollution thermiques¹⁴ se pose avec acuité durant la décennie 70, nous constatons aujourd'hui qu'elle est reléguée au second rang. Il est à noter, cependant, que les rejets thermiques affectent tous les milieux : eau, air et sol.

Les indicateurs retenus pour la mesure de la pollution thermique concernent les quantités d'eaux prélevées pour assurer le fonctionnement des systèmes de refroidissement et les changements dans les régimes de température locale.

L'utilisation d'énormes quantités d'eau pour le système de refroidissement des installations fait des centrales thermiques des opérateurs qui exercent un impact majeur sur l'environnement (Pan et al., 2018).

Les grands réservoirs hydrauliques entraînent la diminution des écarts de température du milieu environnant (Botelho et al., 2017). A noter que la filière solaire thermique peut capter de l'énergie solaire incidente et ainsi soustraire une portion importante de la chaleur au milieu ambiant (Physics World, 2022).

Les derniers rangs reviennent aux filières solaires thermiques à cause des quantités de chaleurs dégagées par unité de puissance produite. A noter que les filières chauffage et transport du gaz naturel, chauffage et métallurgie du charbon et combustibles de substitution exercent un impact moyen en raison de la pollution thermique en provenance des procédés industriels, des systèmes de chauffage ou des véhicules, selon les cas (Munawer, 2018). La filière chauffage et transport du pétrole présente un impact majeur en raison du dégagement de chaleur beaucoup plus important, occasionnée par les véhicules et la formation consécutive « d'îlots de chaleur » en milieu urbain (Pour et al., 2023), elle occupe le 14^{ième} rang. Le 9^{ème} rang est occupé par toutes les filières avec centrales thermiques pour la quantité de chaleur dégagée et celles de l'eau nécessaires à leur exploitation. La filière charbon et métallurgie occupe le 8^{ème} rang.

Les 3^{ième} et 4^{ième} rangs reviennent aux filières solaires photovoltaïques et hydrauliques avec réservoir à cause de leurs modifications mineures qu'elles exercent sur le climat local.

¹⁴ Selon Environnement Canada (Anderson, 1999), la pollution thermique, c'est-à-dire l'apport de chaleur au milieu résultant d'une activité humaine, est totalement imputable à l'utilisation de l'énergie.

Santé et sécurité

Il s'agit des dangers et risques d'accident découlant des activités énergétiques. Nous avons retenu trois indicateurs pour apprécier ce critère. Il s'agit des risques d'accidents et de décès des travailleurs et le public, la maturité technique des installations et le degré de sécurité nécessaire au bon fonctionnement des installations.

L'évaluation globale obtenue pour chacune des filières (tableau 5) montre que les risques d'accidents dans les mines de charbon et lors des forages de puits de pétrole¹⁵ sont très élevés et présentent à un impact majeur.

Tableau 4 : Indices d'évaluation de la santé et sécurité

	Charbon	Pétrole (électricité)	Gaz naturel	Biomasse-déchets	Biomasse-comb. De substitution	Hydraulique (avec réservoir)	Solaire et éolien	Géothermique
Degré de sécurité nécessaire au bon fonctionnement des installations	3	3	2	3	2	2	1	3
Maturité technique des installations	2	2	2	2	2	1	2	2
Risques d'accidents et de décès	3	3	2	2	2	2	3	2
Évaluation finale	3	3	2	2	2	2	2	2

Échelle de 1 à 3 (faible à fort)

Source : Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft (Munich Reinsurance Company), 1990

La maturité technique des filières éoliennes et solaires reste à démontrer car pour ces filières nous observons un grand nombre d'accidents et de décès dus, probablement, au manque de normes et de procédures de sécurité, et du nombre d'éléments à mettre en place et à entretenir (Huber et al., 2022).

Les filières du charbon et du pétrole occupent le dernier rang à cause de leurs impacts majeurs pour au moins deux des trois indicateurs retenus, suivies des filières du gaz naturel. La filière hydraulique avec réservoir occupe le 6ième rang. Son impact, tout comme pour le gaz naturel et le bois, est moyen.

¹⁵ A signaler que la production pétrolière est très marginale au Maroc.

Les filières éoliennes et solaires et les autres filières de la biomasse occupent les rangs 4 et 3.

De façon générale, la totalité des filières énergétiques présente des impacts majeurs ou moyens sur la santé et la sécurité.

Des résultats présentés ci-dessus, nous pouvons présenter un récapitulatif dans la matrice des impacts potentiels (tableau 5) et le tableau de l'évaluation globale des impacts environnementaux des différentes filières énergétiques (tableau 6).

En résumé, le critère retenu pour les impacts énergétiques, à savoir la durabilité de la ressource¹⁶, montre que, dans le but de sauvegarder l'environnement et basculer vers un modèle de développement basé sur l'option de l'économie verte, les filières solaires, éoliennes et hydrauliques doivent être privilégiées car le flux qu'elles génèrent est inépuisable.

Les filières de biomasse peuvent être également préférées puisqu'elles regroupent les ressources renouvelables dont le flux énergétique peut être quasi inépuisable à condition que les usages respectent le cycle de renouvellement de la ressource.

¹⁶ Exprimée en fonction du flux d'énergie que procurent les différentes ressources

Tableau 5: Matrice Comparative des Diverses filières énergétiques		Impacts éner.	Impacts Globaux		Impacts sur le patrimoine mondial				Impacts particul.	
		Qualité de la ressource	Changement climatique global	Risque de catastrophe	Modification d' écosystème	Modification de l' aménagement	Modification du paysage	Modification du Mode de vie	Pollution thermique	Santé et sécurité
Charbon	Électricité (centrale thermique)	E ¹	15	11	13	15	13	13	9	15
	Chauffage et métallurgie	E	14	10	13	15	13	13	8	14
Pétrole	Électricité (centrale thermique)	E	11	11	8	12	11	11	9	10
	Chauffage et transport	E	10	15	12	12	12	8	14	10
Gaz Naturel	Électricité (centrale thermique)	E	6	11	7	4	6	11	9	9
	Chauffage et transport	E	7	9	7	4	5	8	6	9
Biomasse	Électricité (centrale thermi., bois et tourbe)	R ²	13	8	11	6	9	7	9	7
	Chauffage domestique	R	12	1	12	3	8	1	5	2
	Déchet (Incinérateur)	R	9	7	2	2	10	5	9	4
	Combustibles de substitution	R	8	5	10	6	7	6	6	4
Hydraulique	Centrale avec réservoir	R	5	14	15	11	15	15	4	6
Solaire	Thermique	R	1	1	5	8	2	4	15	4
	Photovoltaïque	R	1	1	4	8	2	4	3	4
Eolien	Centralisé	R	1	1	3	8	4	4	1	3
	Décentralisé	R	1	1	1	1	1	1	1	1

Source: Basé sur l'analyse des auteurs dans les sections précédentes

En se focalisant sur deux critères¹⁷ pour les impacts globaux, les processus de combustion des ressources fossiles et de la biomasse entraînent la libération des GES affectant le climat global. Les filières des ressources renouvelables (hydraulique, solaire, éolien) sont de nature différente et ne

¹⁷ Il s'agit du changement climatique global, qui constitue le problème majeur auquel l'humanité et la planète font face, et le risque de catastrophe.

contribuent pratiquement pas au changement climatique mais certaines filières présentent des risques de catastrophes importants.

En ce qui concerne les impacts sur le patrimoine mondiale, toutes les filières, excepté la filière éolienne décentralisée, présentent des impacts majeurs, entraînant des conséquences sur les écosystèmes, l'aménagement, le paysage et le mode de vie sont causées par des facteurs tels que la taille des installations, les sites d'implémentation et leur influence sur les sociétés. Cependant, l'impact des ressources renouvelables (à l'exception de l'hydraulique) reste moyen comparé à l'impact majeur des combustibles fossiles qui doivent être érigés là où se trouvent les ressources et nécessitent la mise en place d'installations pour acheminer ces ressources.

Finalement, pour les impacts particuliers, Partant des deux critères choisis¹⁸, les filières du charbon et du pétrole présentent les impacts les plus importants. Les ressources renouvelables présentent globalement des impacts plutôt faibles avec une possibilité de quelques effets majeurs¹⁹. Si on les compare aux filières des ressources non renouvelables, ces filières ont peu d'impacts. Nous observons également la persistance d'un écart relativement important avec les filières à base de ressources fossiles et de la biomasse.

Tableau 6: Évaluation globale des impacts environnementaux des différentes filières énergétiques

Ressources	Filières énergétiques	Thèmes d'analyse			
		Impacts énergétiques	Impacts Globaux	Impacts sur patrimoine mondial	Impacts particuliers
Charbon	Électricité (Centrale thermique)	Majeur	Majeur	Majeur	Majeur
	Chauffage et métallurgie	Majeur	Majeur	Majeur	Majeur
Pétrole	Électricité (Centrale thermique)	Majeur	Majeur	Majeur	Majeur
	Chauffage et transport	Majeur	Majeur	Majeur	Majeur
Gaz Naturel	Électricité (Centrale thermique)	Majeur	Majeur	Moyen	Moyen
	Chauffage et transport	Majeur	Majeur	Moyen	Moyen
Biomasse	Électricité (Centrale thermique)	Moyen	Majeur	Moyen	Moyen
	Chauffage	Moyen	Majeur	Moyen	Moyen
	Déchets	Mineur	Moyen	Mineur	Moyen
	Combustible de substitution	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Hydraulique	Centrale avec réservoir	Nul	Moyen	Majeur	Moyen
Solaire	Thermique	Nul	Nul	Moyen	Moyen
	Photovoltaïque	Nul	Nul	Moyen	Mineur

¹⁸ Il s'agit de la santé et sécurité ainsi que de la pollution thermique.

¹⁹ Il s'agit surtout de la pollution thermique de l'énergie solaire thermique

Éolien	Centralisé	Nul	Nul	Mineur	Mineur
	Décentralisé	Nul	Nul	Mineur	Mineur

Source: Basé sur l'analyse des auteurs dans les sections précédentes.

Discussions

Vu les ambitions du Maroc à transiter vers un modèle de développement basé sur l'option de l'économie verte et tenant compte des ressources actuellement utilisées, la filière hydraulique avec réservoir est la plus avantageuse. La ressource est renouvelable et sa contribution aux impacts globaux est plutôt faible. Ses impacts sur le patrimoine mondial sont cependant très importants bien que, dans un contexte plus particulier, certains de ces impacts pourraient être réévalués à la baisse au point de devenir négligeables. À noter généralement que la plupart des filières ont d'importants effets sur le patrimoine mondial.

À titre de rappel, l'énergie hydraulique s'est développée au Maroc depuis la fin des années vingt du siècle dernier, bien avant l'énergie solaire et éolienne. Elle demeure la première source d'énergie renouvelable avec une capacité installée de 1771 MW. Pour le solaire et l'éolien, la puissance installée à fin 2022 est respectivement de 1430 MW et 830 MW (Ministère de la transition énergétique et du développement durable, 2023). L'importance de l'énergie hydraulique n'est plus à démontrer. Il faut cependant tenir compte de la variabilité de la pluviométrie de même que du problème de la variabilité du solaire et de l'éolien qui ne produisent pas de l'énergie de manière constante et stable. « *L'énergie hydroélectrique permet de réguler cette variabilité innée. Mobiliser les eaux stockées dans les barrages ne prend que cinq minutes pour produire de l'énergie électrique et stabiliser le réseau* » (Houachmi²⁰).

Les filières de biomasse, pourraient être considérées comme une alternative, sachant qu'elles ont des impacts relativement importants lorsque les ressources sont exploitées sur une grande échelle. Le potentiel en biomasse, selon les conclusions de l'étude réalisée par le Ministère de la transition énergétique et du développement durable²¹, montre que « *le Maroc présente un total en énergie primaire estimé à 11,5 millions MWh/a, répartis sur trois secteurs clés à savoir les déchets verts, l'agriculture, la foresterie et les eaux usées. Concrètement, 6,6 millions de MWh/a du potentiel technique national est issu du secteur agricole, 1,7 M MWh/ proviennent du secteur forestier, 3 M MWh/a du secteur des déchets tandis que 0,2 M MWh/a peuvent être générés à partir du secteur des eaux usées* ». La biomasse offre, en plus de délimiter la déforestation, la particularité de préserver un environnement

²⁰ Consultant Marocain en énergies renouvelables.

²¹ Réalisée en prélude de l'élaboration de la Stratégie Nationale pour la Valorisation Énergétique de la Biomasse.

propre et favoriser la réduction de 6,2 à 8,5 millions de tonnes de CO₂ d'émissions de GES.

Tenant compte du potentiel disponible au Maroc²², les filières hydrauliques, solaires et éoliennes devraient être le pivot des stratégies de gestion de l'énergie du pays. Ces ressources sont durables et leurs impacts sont peu dommageables pour l'environnement, surtout lorsqu'elles sont comparées aux filières à base de ressources fossiles et à celles de la biomasse.

Analyse comparative des ressources énergétiques renouvelables

En examinant le potentiel de substitution entre différentes filières notamment éolienne, solaire et hydraulique. Alors que l'hydraulique permet de réaliser d'importantes économies, le solaire et l'éolien offrent un meilleur progrès et des possibilités de création d'emplois (García et al., 2016). Par conséquent, un mix énergétique équilibré qui intègre ces trois sources d'énergie est une meilleure solution pour maximiser les avantages socio-économiques et écologiques. Une stratégie sera d'opter pour l'énergie solaire dans les régions où elle constitue un potentiel énorme et peut être utilisé de manière exponentielle (notamment Laayoun, Tarfaya, Marrakech ...), et opter pour l'énergie éolienne à Tanger et les réserves environnementales de Dakhla, Taroudant... Pour l'hydraulique, Khénifra, Inezgane et Beni Mellal offrent de bonnes conditions.

Cependant, il faut prendre en considération les limites industrielles du Maroc. Le développement des industries locales produisant les technologies nécessaires des énergies renouvelable est insuffisant. D'un point de vue juridique, il est nécessaire de combler les lacunes législatives qui découragent les projets renouvelables à petite échelle (García et al., 2016). Ceci aidera à créer un environnement industriel et réglementaire favorables pour assurer un transition énergétique fluide.

Défis et limites

La transition énergétique et l'efficacité énergétique créent une valeur ajoutée significative surtout pour l'industrie et pour les secteurs à forte intensité de carbone, (la pétrochimie, les engrais, le ciment, le fer...) (Nurdiawati et al., 2021). Néanmoins, les énergies renouvelables soulèvent un

²² La centrale solaire, connue sous le nom de complexe Noor, a la capacité d'alimenter un million de foyers et de réduire considérablement l'utilisation de combustibles fossiles. En ce qui concerne l'éolien, et avec une capacité installée d'environ 1430 MW en 2022, le Maroc représente le troisième plus grand marché africain pour l'énergie. Dans le cadre de l'ambition du Maroc d'atteindre 52% de ses besoins en électricité à partir de sources d'énergie renouvelables d'ici 2030, les autorités ont accéléré ces dernières années le développement de parcs éoliens à grande échelle à travers le royaume en mettant davantage l'accent sur les investissements privés.

certaines questions dans de nombreux pays, y compris le Maroc, en raison de l'absence de solutions de stockage permettant de stabiliser leur intermittence intrinsèque (Lin et al., 2022). En fait, l'électricité produite à partir d'une énergie renouvelable est utilisable sur place (Lin et al., 2022).

Certainement, les batteries de stockage associées aux centrale solaire ou aux barrages complémentaires ou encore les batteries de stockage électrochimiques de l'énergie éolienne servent de solutions pour stabiliser les fluctuations de la production des énergies renouvelables (Lin et al., 2022). De cette manière, l'énergie produite en temps réel peut être transformée en une ressource stable capable d'alimenter les réseaux en cas de pics de demande journaliers et hebdomadaires, ou de fournir de l'énergie à la production industrielle, qu'elle soit hors-réseau renouvelable (Akinsooto et al., 2024). Toutefois, les problèmes de coût des solutions existantes ou la faible densité intrinsèque nécessitent un développement technologique important et innovant pour faire de l'énergie renouvelable et du stockage un couple parfait.

Au sujet de la production électrique à partir des énergies renouvelables, le défi principale est qu'il manque une industrie locale spécialisée en développement des équipements nécessaires pour toute phase d'exploitation du processus de production initial au système final (Ghazi et al., 2021). De plus, la qualité de la configuration existante ne répond pas aux contraintes environnementales limitant ainsi la capacité de développer un approvisionnement durable pour produire localement des composants solaires résistants aux des conditions climatiques extrêmes, vécues au Maroc (Ghazi et al., 2021). Il est donc nécessaire de développer une chaîne d'approvisionnement locale complète et durable pour les technologies d'énergies renouvelables, en particulier l'énergie solaire. Néanmoins, la conception d'un tel système est multidimensionnelle combinant une approche géographique, technique, industrielle et sociale (Ghazi et al., 2021). En outre, un plan d'arbitrage crédible doit être mis en place pour ne pas privilégier une énergie propre par rapport à une autre, mais plutôt envisager la synergie des trois énergies dans le cadre d'une production et d'une consommation nationales optimales.

D'autres d'obstacles majeurs sont fréquemment évoqués notamment la disponibilité ou la rentabilité des technologies et des pratiques d'économie d'énergie (Hrovatin et al., 2021). C'est une question de motivation où les contraintes financières ou l'insuffisance des capitaux est souvent citée comme obstacle à l'application de l'efficacité énergétiques par les ménages et les entreprises (Hrovatin et al., 2021).

En conséquence, Les conditions préalables pour réussir une transition fluide sont l'établissement d'une véritable feuille de route qui tient compte de tous ces obstacles et qui associe les départements concernés et le

gouvernement et augmente la flexibilité des banques et des représentants financiers.

Recommendations

Dans le but d'améliorer la politique énergétique à long terme et réussir la transition vers un système économique durable dont le secteur énergétique est le catalyseur, les recommandations suivantes peuvent être proposées:

- La cohérence et l'engagement lors de la mise en place du cadre politique, en s'éloignant des politiques expérimentales. La clarté et la cohérence peuvent attirer davantage d'investissements à long terme;
- Mise en place d'une bonne gouvernance réactive, capable de s'adapter facilement aux changements dans les institutions et de l'énergie, et délibérative. Veiller à ce qu'elle implique des parties prenantes, y compris la communauté, la société civile, le gouvernement et le secteur privé;
- Intégration des réponses politiques à l'aide d'outils de modélisation reflétant la réalité des contraintes politiques et institutionnelles afin de fournir de meilleures solutions. Ceci permettr d'élaborer des stratégies à long terme plus réalisables et des plans d'action à court terme adéquats;
- Conception de politiques participatives ciblant une grande partie de l'économie notamment le système de transport, l'industrie, la sylviculture ...;

A cet égard, la participation directe et ascendante des communauté pourrait améliorer la mise en oeuvre de ces politiques, y compris le grand public, favorisant ainsi une appropriation effective. En outre, les mesures ne tenant pas compte de l'accélération réelle au niveau local et s'appuyant uniquement sur une hiérarchie politique sont vulnérables aux changements dans le soutien du public et moins susceptibles d'encourager l'adhésion.

Conclusions

Le Royaume du Maroc s'est mobilisé pour transitionner vers un nouveau paradigme porteur de promesses environnementales, économiques et sociales. Présentant un énorme potentiel en matière des énergies renouvelables, il est l'un des pays les plus ambitieux en termes de promotion du développement durable.

Afin de répondre à la problématique de notre recherche, particulièrement l'évalutaion des filières énergétiques sur la base de leur impact environnemental et le potentiel du pays, nos résultats montrent que les filières les plus avantageuses sont les filières hydraulique, solaire et éolienne. Les ressources sont durables, produisant un flux d'énergie continu et

pratiquement inépuisable. Un mix énergétique regroupant les trois filières en synergie semble un bon point de départ.

Pour ceci, des réformes systémiques s'avèrent nécessaires, par exemple:

- La maximisation du bien-être et de la richesse tout en limitant l'empreinte carbone à travers l'utilisation efficace des ressources naturelles;
- La compensation des pertes d'emploi dans les secteurs traditionnels à travers la création de nouveaux emplois tout au long de la chaîne de valeur des énergies renouvelables;
- L'implication des communautés et des entreprises locales dans les projets d'énergie dans le but de favoriser une croissance inclusive;
- La prise en compte des incidences économiques à long terme, stipulant que les avantages politiques de transition énergétique peuvent ne pas se réaliser qu'après une longue période.

En guise de conclusion, la transition énergétique marocaine présente des avantages environnementaux indéniables mais qui s'accompagne de compromis. Citons comme exemple les effets sur la biodiversité et les écosystèmes utilisés dans les grands projets renouvelables. De plus, l'impact à long terme sur la sécurité énergétique doit faire l'objet d'une attention particulière. Également, les répercussions socio-économiques de cette transition doivent également être prises en compte.

Au-delà des solutions techniques, comprendre les facteurs comportementaux affectant la transition énergétique est crucial. Qu'est ce qui motive le public, consommateurs et entreprises, à adopter des technologies d'énergie renouvelable? De même, qu'est ce qui incitera les investisseurs à investir dans des projets énergétiques durables au Maroc? Il sera bénéfique d'explorer comment le pays peut attirer des investissements nationaux et internationaux, et comment ces investissements peuvent être alloués pour un impact maximal. La réponse à toutes ces questions fera l'objet de notre prochain travail.

Conflit d'intérêts : Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

Disponibilité des données : Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

Déclaration de financement : Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

References:

1. Abu Al-Haija, Q. (2021). A stochastic estimation framework for yearly evolution of worldwide electricity consumption. *Forecasting*, 3(2), 256-266.
2. Achbah, M., Khattabi, A., Pruneau, D., & Boumeaza, T. (2024). Évaluation de la vulnérabilité des communautés de montagne face au changement climatique. Région Beni-Mellal-Khénifra, Maroc. *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement*, 24(2).
3. ADEME (2012). Contribution de l'ADEME à l'élaboration de visions énergétiques 2030 – 2050. Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, Paris.
4. Akinsooto, O., Ogundipe, O. B., & Ikemba, S. (2024). Regulatory policies for enhancing grid stability through the integration of renewable energy and battery energy storage systems (BESS).
5. Anderson, D. (1999). Environnement Canada.
6. Banque Mondiale (2013). Analyse d'impacts socioéconomiques de la politique de croissance verte au Maroc – volet énergie : Une évaluation en équilibre général. Département du développement durable (MNSSD) Région Moyen-Orient et Afrique du Nord (Rapport sur Le Maroc N° 87558). <https://documents1.worldbank.org/curated/en/237751468279864840/pdf/875580WP0P11370ssance0Verte0Energie.pdf>
7. Boulakhbar, M., Lebrouhi, B., Kousksou, T., Smouh, S., Jamil, A., Maaroufi, M., & Zazi, M. (2020). Towards a large-scale integration of renewable energies in Morocco. *Journal of Energy Storage*, 32, 101806.
8. Botelho, A., Ferreira, P., Lima, F., Pinto, L. M. C., & Sousa, S. (2017). Assessment of the environmental impacts associated with hydropower. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 896-904.
9. Boulanger, P. M. et al. (2015). Etude de Prospective : Transition Energétique Rapport Final. Institut Wallon de l'évaluation, de la prospective et de la statistique. <https://www.iweps.be/wp-content/uploads/2017/01/2014 - transition energetique - rapport final 0.pdf>
10. Dalal-Clayton, D. B., & Sadler, B. (1999). Strategic environmental assessment: a rapidly evolving approach. London: International Institute for Environment and Development.
11. Energy Information Administration (EIA). (2024). Coal and the environment. U.S. Department of Energy. <https://www.eia.gov/energyexplained/coal/coal-and-the-environment.php>

12. Environmental Protection Agency (EPA). (2024). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2022. U.S. Environmental Protection Agency, EPA 430-R-24-004.
13. Farhani, S., & Bacha, F. (2021). High efficiency power electronic converter for fuel cell system application. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(3), 2655-2664.
14. Friedlingstein, P., O'Sullivan, M., Jones, M. W., Andrew, R. M., Hauck, J., Landschützer, P., ... & Zeng, J. (2024). Global Carbon Budget 2024. *Earth System Science Data Discussions*, 2024, 1-133.
15. García, I., & Leidreiter, A. (2016). A roadmap for 100% renewable energy in Morocco. Hamburg: World Future Council.
16. Ghazi, F. E., Sedra, M. B., & Akdi, M. (2021). Electricity development and opportunities to reduce carbon dioxide emissions in Morocco. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 11(4), 149-156.
17. Hao, L. N., Umar, M., Khan, Z., & Ali, W. (2021). Green growth and low carbon emission in G7 countries: how critical the network of environmental taxes, renewable energy and human capital is?. *Science of the Total Environment*, 752, 141853.
18. HCP (2011). Prospective Maroc 2030: prospective énergétique du Maroc, enjeux et défis, HCP, Royaume du Maroc.
19. Hrovatin, N., Cagno, E., Dolšak, J., & Zorić, J. (2021). How important are perceived barriers and drivers versus other contextual factors for the adoption of energy efficiency measures: An empirical investigation in manufacturing SMEs. *Journal of Cleaner Production*, 323, 129123.
20. Huber, S. T., & Steininger, K. W. (2022). Critical sustainability issues in the production of wind and solar electricity generation as well as storage facilities and possible solutions. *Journal of Cleaner Production*, 339, 130720.
21. International Energy Agency (IEA). (2014). *World Energy Outlook 2014*. IEA, Paris.
22. International Energy Agency (IEA). (2019). *Energy Policies beyond IEA Countries: Morocco 2019*. IEA, Paris.
23. International Energy Agency (IEA). (2023). *Emission factors 2023*. IEA, Paris.
24. International Energy Agency (IEA). (2023). *Global methane tracker documentation 2023 version*. IEA, Paris.
25. International Energy Agency (IEA). (2024). *Emission factors 2024*, IEA, Paris.
26. International Energy Agency (IEA). (2024). *Global methane tracker documentation 2024 version*. IEA, Paris.
27. Kousksou, T., Allouhi, A., Belattar, M., Jamil, A., El Rhafiki, T., Arid, A., & Zeraouli, Y. (2015). Renewable energy potential and national

- policy directions for sustainable development in Morocco. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 46-57.
28. Leduc G. (1992). *Glossaire de la terminologie relative à la maîtrise de l'énergie*, BBE. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, Montréal.
 29. Leopold, L. B. (1971). *A procedure for evaluating environmental impact*, Vol. 645. US Department of the Interior.
 30. Levi, M. D. (1991). Bretton woods: Blueprint for a greenhouse gas agreement. *Ecological Economics*, 4(3), 253-267.
 31. Liu, H., Khan, I., Zakari, A., & Alharthi, M. (2022). Roles of trilemma in the world energy sector and transition towards sustainable energy: A study of economic growth and the environment. *Energy Policy*, 170, 113238.
 32. Mikhno, I., Koval, V., Shvets, G., Garmatiuk, O., & Tamošiūnienė, R. (2021). Green economy in sustainable development and improvement of resource efficiency.
 33. Ministère De La Transition Énergétique et du Développement Durable (2019). *Note De Conjoncture Énergétique Décembre 2019*. MEM, Rabat.
 34. Ministère De La Transition Énergétique et du Développement Durable (2023). *Note De Conjoncture Énergétique Février 2023*. MEM, Rabat.
 35. Mohsin, M., Taghizadeh-Hesary, F., Iqbal, N., & Saydaliev, H. B. (2022). The role of technological progress and renewable energy deployment in green economic growth. *Renewable Energy*, 190, 777-787.
 36. Munawer, M. E. (2018). Human health and environmental impacts of coal combustion and post-combustion wastes. *Journal of Sustainable Mining*, 17(2), 87-96.
 37. Munich Reinsurance Company, (1990). *Energy Systems Today and Tomorrow*. Munich Reinsurance Company, Federal Republic of Germany.
 38. Murshed, M., Apergis, N., Alam, M. S., Khan, U., & Mahmud, S. (2022). The impacts of renewable energy, financial inclusivity, globalization, economic growth, and urbanization on carbon productivity: Evidence from net moderation and mediation effects of energy efficiency gains. *Renewable Energy*, 196, 824-838.
 39. Nurdiawati, A., & Urban, F. (2021). Towards deep decarbonisation of energy-intensive industries: A review of current status, technologies and policies. *Energies*, 14(9), 2408.
 40. Nafil, A., & Bouzi, M. (2020). The impact of the massive integration of renewable energies-Case of Morocco. *Int. J. Eng. Res. Technol.*, 13(8), 2081-2089.

41. Pan, S. Y., Snyder, S. W., Packman, A. I., Lin, Y. J., & Chiang, P. C. (2018). Cooling water use in thermoelectric power generation and its associated challenges for addressing water-energy nexus. *Water-Energy Nexus*, 1(1), 26-41.
42. Physics World. (2022). Solar panels can heat the local urban environment, systematic review reveals. Retrieved December 10, 2024, from <https://physicsworld.com/a/solar-panels-can-heat-the-local-urban-environment-systematic-review-reveals/>
43. Pour, M. N., Chau, H. W., & Jamei, E. (2023). Sustainable Solutions: Examining the Influence of Energy Subsidy Strategies on Urban Heat Islands in the Persian Gulf Region.
44. Raymond, M. et al. (1994). Les impacts environnementaux des filières énergétiques au Québec, L'Institut des sciences de l'environnement, Université du Québec.
45. RTE (2020). Futurs énergétiques 2050 : Bilan de la Phase I, Réseau de Transport de l'Electricité, Paris.
46. Saidi, H. (2022). Les énergies renouvelables au Maroc à l'ère du nouveau modèle de développement. *African Journal of Business and Finance*, 1(1), 155-171.
47. Seddighi, S., Anthony, E. J., Seddighi, H., & Johnsson, F. (2023). The interplay between energy technologies and human health: Implications for energy transition. *Energy Reports*, 9, 5592-5611.
48. Shah, N. W., Baillie, B. R., Bishop, K., Ferraz, S., Högbom, L., & Nettles, J. (2022). The effects of forest management on water quality. *Forest Ecology and Management*, 522, 120397.
49. Simos, J. (1990). Evaluer l'impact sur l'environnement : Une approche originale par l'analyse multicritère et la négociation, Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes, Vol. 1015.
50. UNEP (2011). Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication - A Synthesis for Policy Makers, UNEP.
51. Wathern, P., Young, S. N., Brown, I. W., et Roberts, D. A. (1988). Recent upland land use change and agricultural policy in Clwyd, North Wales. *Applied Geography*, 8(2), 147-163.
52. Whitney, J. B. R., & Maclaren, V. W. (1985). A Framework for the Assessment of EIA Methodologies. *Environmental impact assessment: the Canadian experience*, 1-32.
53. Yuyang, L. (2024). Natural resource efficiency and the road to a green economy: From scarcity to availability. *Resources Policy*, 89, 104574.