

**Les énergies renouvelables au Maroc, Un rendement compétitif
pendant les crises financières
-cas des provinces du sud-**

**Renewable energy in Morocco, A Competitive
return during financial crises
-Case of the southern provinces-**

TLATY MAMDOUH

Enseignant chercheur

École Nationale de Commerce Et de Gestion (ENCG K)

Université Ibn Tofaïl

MAROC

Laboratoire de recherche en science de gestion des organisations (RSGO)

mamdouh.tlaty@uit.ac.ma

EL IDRISSE EL MAHDI

Doctorant

École Nationale de Commerce Et de Gestion (ENCG K)

Université Ibn Tofaïl

MAROC

Laboratoire de recherche en science de gestion des organisations (RSGO)

elmahdi.elidrissi@uit.ac.ma

Date de soumission : 12/11/2022

Date d'acceptation : 30/04/2023

Pour citer cet article :

TLATY M & EL IDRISSE E. (2023) « Les énergies renouvelables au Maroc, Un rendement compétitif pendant les crises financières -cas des provinces du sud- », Revue Internationale des Sciences de Gestion « Volume 6 : Numéro 2 » pp : 603 - 620

Résumé

Plusieurs articles ont été publiés qui remettent en question l'efficacité et la performance des investissements en énergies renouvelables. Aussi que, plusieurs auteurs ont fait la comparaison entre le rendement de ces investissements avec celui des énergies fossiles par le biais du taux de rendement énergétique. Cette méthode souffre de plusieurs insuffisances parce qu'elle ne prend en considération l'énergie utilisée durant l'extraction et le démantèlement de l'énergie fossile, ni une récompense de l'exécution de la transition énergétique. Dans cet article nous allons analyser le rendement des investissements en énergies renouvelables situés aux provinces du sud, il s'agit de NOOR LAAYOUNE, NOUR BOUJDOUR, CIMAR, FTISAT et AKHFNIR selon un taux de rendement rectifier qui mette l'accent sur les avantages environnementaux, cet article est pour l'objectif de faire une étude comparative entre le rendement des ER et des EF d'une manière objective. Tout en essayant de montrer la viabilité de ces investissements et analyser leur rendement. Puis nous referons la même étude pendant une période de crise pour tester la résistance de ces investissements.

Mots clés : l'investissement aux énergies renouvelables ; Le rendement énergétique ; crises financières ; Le taux de retour énergétique ; performance énergétique.

Abstract

Many economists have tried to make the comparison between investments in renewable energy and fossil fuels by analyzing their performance and their return. these analyses which have been made, have shown for a long time that the performance of investments in renewable energies is not so profitable, on the contrary they call into question the viability of these investments. but the used method does not take into consideration the energy used during the extraction and dismantling of fossil fuels, neither the environmental benefit. In this article we will analyze the energy return on investment EROI located in the southern provinces with a sample of five production units; NOOR LAAYOUNE, NOUR BOUJDOUR, CIMAR, FTISAT and AKHFNIR. By the use of a rectified rate of return which takes into consideration the period of energy transition, while explaining the viability of these investments and their resistance period in financial crisis (case of COVID19 crisis).

Keywords: investment in renewable energies; Energy return; financial crises; energy return on investment; energetic performance.

Abréviation :

EROI : energy return on investment ; ER : énergies renouvelables ; EF: énergies fossiles ; EPBT : Energy Pay-Back Time; TRE: taux de retour énergétique,

Introduction

En se basant sur l'accord de Paris 2015 pour baisser le réchauffement climatique et limiter l'augmentation de la température de 1,5 C° à l'horizon de 2100 ; et aussi sur le nouveau modèle des provinces du SUD en 2013, les investisseurs se retrouvent dans l'obligation de transformer leurs activités vers une production énergétique verte. Dans cet article nous allons faire une étude comparative entre le rendement des ER et des EF dans un échantillon de cinq unités situées aux provinces du sud. Le choix de la zone étudiée, vient après plusieurs raisons, tel que la zone est fertile des investissements en énergie solaire et les éoliennes ainsi que ces trois régions sont les seules qui ont marqué un taux de croissance positif pendant la crise de Covid 19. Il s'agit de Laâyoune-Saguia al Hamra 21,5%, Guelmim-Oued Noun 3,6% et Dakhla-Oued Ed-Dahab 1,9%. Or que toutes les régions du royaume qui restent avaient un taux de croissance négatif selon le Haut-Commissariat au Plan dans sa note d'information relative au lot régionaux de l'année 2020. Et finalement, plusieurs études scientifiques comme celle de Novethic ¹ qu'a montré que les investissements socialement responsables -dont les investissements en énergies renouvelables- ont une performance de 1,5 % par rapport aux investissements classiques.

L'objectif ultime de ce travail est d'étudier la résistance des investissements en énergies renouvelables face aux crises financière et de détecter les avantages et éventuellement les enjeux de ses investissements par rapport aux investissements en combustibles fossiles. L'idée donc sera d'étudier l'évolution du rendement pendant des périodes différentes afin de montrer la performance de ses investissements pendant une crise, tout en expliquant la résistance de ces investissements face aux chocs financiers et en détaillant les perspectives et les scénarios possibles des énergies renouvelables au future.

La question principale qu'on peut se poser est : quelle méthode est la plus fiables pour faire une comparaison objective et logique entre le rendement des ER et des EF ? cette question devient de plus en plus récurrente pendant les crises financières ce qui fait l'objet de cet article, c'est-à-dire d'examiner la résistance des investissements engagés dans les énergies renouvelables par rapport à ceux actifs dans l'approvisionnement en combustibles fossiles en période de crise financière.

Nous allons commencer dans une première partie par la revue de littérature en expliquant le modèle le plus utilisé pour calculer le rendement des investissements énergétiques (EROI) et

¹ Un média de référence de l'économie responsable et expert de la finance durable

de montrer les résultats obtenus par cette méthode auprès des articles précédents. Puis dans la deuxième partie qui consiste la méthodologie, nous montrerons le défaut et les insuffisances de la méthode EROI, tout en expliquant les méthodes de substitution comme l'EPBT qui peuvent rectifier les insuffisances des modèles standards, et finalement nous allons faire une étude de cas des provinces du sud pour montrer l'efficacité et la performance des investissements en énergies renouvelables face aux crises financière.

1. Revue de la littérature

Depuis l'innovation des énergies renouvelables, la compétitivité de ces énergies représentait l'axe de plusieurs recherches ; plus précisément en ce qui concerne leur rendement par rapport aux énergies fossiles. La méthode la plus utilisée pour déterminer le rendement des ER est l'EROI, qu'avait eu sa plus grande visibilité en 1984, dans l'article de Hall -Energy and the U.S. Economy A Biophysical Perspective-. bien que le concept EROI a été utilisé explicitement dans les articles scientifiques par 'énergie nette'. Au fil du temps les définitions d'EROI ont été évoluées, comme (Mulder & Hagens, 2008) qui définissent l'EROI en trois ordres selon les entrées énergétiques utilisées. L'EROI de premier ordre inclut uniquement les entrées et les sorties d'énergie directe, le second ordre comprend les intrants énergétiques indirects et les intrants non énergétiques. Enfin, le troisième ordre inclut les « externalités » du processus de production. Puis, (Hall, Balogh, Murphy., 2009) ont donné un certain nombre de sous-définitions supplémentaires de l'EROI, disant qu'il faut regrouper l'ensemble de l'énergie utiliser depuis son extraction, sa livraison et son raffinement jusque son utilisation. D'autres définitions considèrent que les émissions fugitives des EF ainsi que les pertes de pouvoir calorifique du charbon pendant le transport et le stockage devraient être exclues de l'EROI (Arvesen, A, & Hertwich, E. G, 2015). En outre, il nous semble que bon nombre des analyses d'EROI effectuées à ce jour sont générées dans la perspective de vaincre ou de défendre un type d'énergie particulier plutôt que d'évaluer objectivement des diverses alternatives potentielles. Cependant, le manque de cohérence méthodologique entre ces articles a conduit à une situation des comparaisons inappropriées, parce qu'il n'existe pas une seule méthode de calculer l'EROI, outre qu'il n'inclue pas un paramétrage qui consiste le respect de l'environnement ni l'épuisement des énergies fossiles. Pour ce fait (Marco Raugai, Pere Fullana-i-Palmer, Vasilis Fthenakis.,2012) ont évoqué la méthode du temps de retour énergétique -Energy Pay-Back Time (EPBT)- comme étant une substitution plus objective d'EROI, qui consiste à indiquer le temps qu'il faut à un investissement d'énergie propre pour

produire suffisamment d'énergie pour compenser l'énergie primaire. Ces deux méthodes ont été fréquemment comparées entre elles cette dernière décennie, et que certains résultats ont conclu que l'EROI et EPBT doivent être considérés avec une référence spécifique aux détails des contextes particuliers, (Palmer & Floyd, 2017).

Dans cet article nous allons mettre l'accent sur les deux méthodes afin de trouver une évaluation objective du rendement énergétique. Puis nous allons appliquer la méthode la plus fiable en période de crise pour tester la résistance des investissements énergétique en cette période.

1.1 Le taux de retour énergétique (TRE)

L'exploitation du terme « produire de l'énergie » est un abus de langage. En réalité, les investisseurs peuvent uniquement extraire l'énergie depuis leurs sources, la transporter, la transformer et l'utiliser. Cependant, la construction et l'utilisation de tous les moyens qui permettent l'extraction, la transformation et le transport de l'énergie (mines, pipelines, raffineries, l'énergies solaires, centrales électriques, et les éoliennes etc.) consomment elles-mêmes de l'énergie. Donc la formule-clé du rendement des investissements en énergie est la proportion de l'énergie utilisée de l'énergie produite. C'est ce qu'on appelle le taux de retour énergétique.

Le taux de retour énergétique (TRE) ou le rendement des investissements énergétiques (energy return on investment EROI) est un ratio décrivant une mesure de l'énergie produite par rapport à l'énergie utilisée pour créer cette même énergie, soit de manière directe ou indirecte, depuis l'extraction des matières premières jusqu'au démantèlement du site. Ce qui est l'objet d'un certain nombre d'articles (Murphy, D.J, Hall, C.A.S., 2011). Par exemple, le ratio illustrerait la quantité d'énergie utilisable produite par rapport à la quantité d'énergie utilisée pour localiser, extraire, livrer et raffiner le pétrole brut. L'EROI se considère comme un déterminant considérable du prix de l'énergie, parce que les sources d'énergie qui peuvent être exploitées à moindre coût permettront au prix de rester relativement bas et vice versa.

L'EROI est un ratio important dans l'analyse financière des investissements énergétiques parce que si le coût d'une centrale énergétique est supérieur aux revenus tirés de la vente de l'énergie produite, cette centrale n'est pas économiquement viable. L'EROI peut également aider les organisations et les investisseurs à comparer les différentes sources d'énergie selon leurs rentabilités, il peut aussi concerner l'analyse d'un site bien spécifique, une filière, ou même être appliqué sur l'ensemble du secteur énergétique d'un pays.

L'EROI désigne généralement le rapport entre la quantité d'énergie utilisable fournie par une ressource énergétique particulière et la quantité utilisée pour obtenir cette énergie.

$$EROI = \frac{E_{out}}{E_{invest}} = \frac{\text{énergie fournie}}{\text{énergie investie}} \quad (1)$$

Nous trouvons aussi d'autres formules pour calculer l'EROI qui signifient toutes essentiellement la même chose, comme par exemple :

$$EROI = \frac{E_{out}}{E_{ED} + E_{pp}} \quad (2)$$

Avec :

E_{out} : Énergie nette produite

E_{ED} : énergie totale utilisée pour la chaîne d'approvisionnement (extraction et livraison)

E_{pp} : énergie pour la construction et la fin de vie de la centrale électrique, exprimée en termes d'énergie primaire

1.2 Interprétation d'EROI

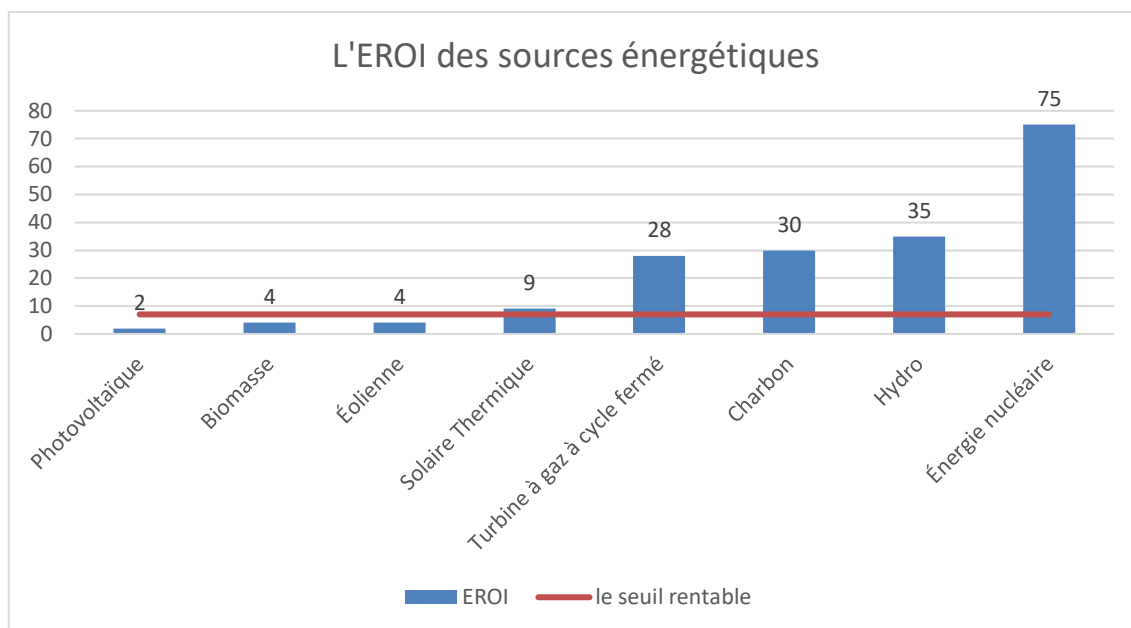
Lorsque l'EROI est important, cela signifie que produire de l'énergie à partir de cette source est relativement rentable et que l'investissement est viable. Cependant, lorsque le nombre est petit, cela veut dire qu'obtenir de l'énergie à partir de cette source est difficile et coûteux. Par exemple, lorsque le ratio est de 1, il n'y a pas de retour sur l'énergie investie, mais il peut être utilisable au stockage d'énergie (batteries). Pour que l'investissement soit viable, l'EROI doit être supérieur à 7 (Selon l'association nucléaire mondiale).

Tableau 1 : catégorie des risques selon EROI

EROI	Catégorie
>15	Sans risque
10-15	Risque faible
5-10	Risqué
4-5	Très risqué
2-3	Infaisable

La source : Wiraditma Prananta et Ida Kubiszewski 2021

Selon plusieurs études, on trouve que l'ensemble des énergies renouvelables ne dépasse le seuil de rentabilité (Dale 2012). Le graphique ci-dessous y fait également allusion. Donc selon la méthode standard du calcul d'EROI. On constate qu'il n'est généralement pas rentable d'investir dans les éoliennes, la biomasse et les panneaux solaires photovoltaïques comme principales sources d'énergie.



Source : les auteurs, sur la base de l'article de Dale (2012)

1.3 Le rendement des investissements en énergies renouvelables

Plusieurs articles récents soutiennent que le rendement énergétique (EROI) des investissements en ER peut être faible par rapport aux investissements à base combustibles fossiles. Dans cette étude, nous examinons d'une manière critique certaines hypothèses alléguées dans ces articles. En nous concentrant sur les régions du Sud du Maroc, qui sont connues par des vents forts et une température élevée dans lesquelles les éoliens et l'énergie solaire peuvent fournir des énergies maximales en termes de production.

Nous montrerons que l'affirmation d'investir en énergies fossiles est favorables qu'en énergies renouvelables est basée sur des données obsolètes de l'EROI, sur l'absence de prise en compte des avantages en termes d'efficacité énergétique et de l'épuisement de ressources fossiles et aussi sur des surestimations des besoins de stockage parce que l'impact du stockage sur l'EROI dépend des types du stockage adoptés et de leurs stratégies opérationnelles et éventuellement

de la quantité produite. Dans les régions considérées dans cet article, la quantité de stockage nécessaire pour maintenir la qualité de la production est relativement faible.

Réellement l'EROI de l'éolien et du solaire photovoltaïque, sont généralement élevés et en augmentation dans les zones stratégiques. Et même si on considère que l'EROI des investissements en énergies renouvelables n'est pas prodigieusement élevé, Mais, la logique de cette méthode analytique exige une vision plus dynamique, parce que l'exploitation d'une ressource énergétique fossile impose de débiter généralement par la zone la plus accessible et facilement à démanteler, Et au fur et à mesure de cette exploitation, la zone arrive nécessairement à des couches compliquées à démanteler et de moins bonne qualité. Aussi que l'énergie investie pour l'extraction, la livraison et le raffinage est incluse dans l'énergie investie. Or que pour les énergies renouvelables, ce sont des panneaux solaires qui reçoivent des rayons du soleil ou du vent qui passe dans une éolienne pour transformer les inputs en énergie propre, une chose ne peut pas être comptabilisé dans l'énergie investie.

D'autre part, l'EROI pour le solaire photovoltaïque et l'éolien depuis plusieurs décennies n'est pas valide, parce qu'ils ont connu d'énormes améliorations dans les technologies et les chaînes d'approvisionnement, démontrées par de très fortes réductions de leurs prix (Palmer and Floyd (2017). Aussi que l'agence internationale des énergies renouvelables documente d'énormes réductions des coûts globaux de l'énergie et des coûts d'investissement en solaire photovoltaïque et les éoliens entre 2010 et 2018 (IRENA, 2019). Les améliorations apportées à la conception des éoliennes et des panneaux photovoltaïques mènent à une l'augmentation des facteurs de capacité ce qui entraînent une diminution des apports de matériaux et d'énergie par kWh. L'augmentation des facteurs de capacité entraîne également une baisse des coûts d'exploitation et de maintenance par kWh (IRENA, 2019, p.42). Le tableau 2 montre les augmentations des facteurs de capacité pour les technologies éoliennes et solaires.

Tableau 1 : les augmentations des facteurs de capacité pour les technologies éoliennes et solaires

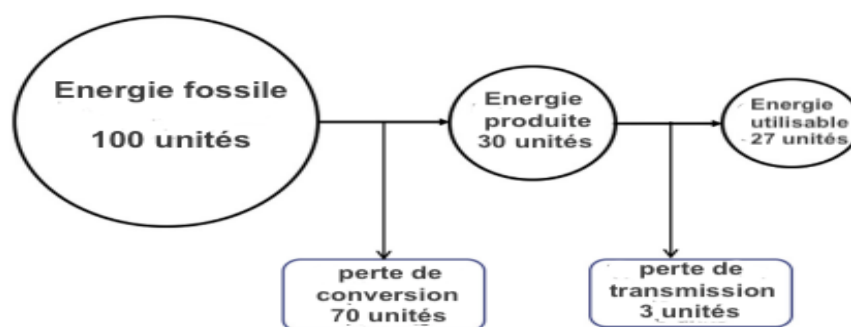
Technology	Capacity factor 2010 (%)	Capacity factor 2018 (%)	Increase (%)
Solar PV	14	18	29
Onshore wind	27	34	26
Offshore wind (small database)	38	43	13
CST (small database)	30	45	50

Source: Figs S.4–S.7 of IRENA (2019)

Ce tableau explique l'évolution du facteur moyen des technologies éoliennes et solaires, entre 2010 et 2018, nous remarquons une augmentation de 29% de la capacité des énergies photovoltaïques. Les éoliens terrestres et les éoliens sur mer ont respectivement de 13% et 26%, et le solaire thermique 50%. Cette augmentation des capacités explique la hausse de la production d'énergies propres. Et que, cette augmentation est continue depuis l'invention de ces technologies, parallèlement avec la baisse des couts d'investissement. Toutes ces facteurs mènent à une tendance haussière de l'EROI des énergies renouvelables.

Par contre les énergies fossiles s'éprouvent des pertes d'énergie dans le processus de combustion représentent généralement environ les deux tiers de l'énergie chimique dans le combustible primaire, bien qu'elles puissent varier d'environ 60 % à 80 %, selon la qualité du combustible et le type de technologie de conversion d'énergie. Comme illustre la figure1 suivante :

Figure 1 : illustration de la production d'électricité à partir de combustibles fossiles ;



Source : (M. Diesendorf, T. Wiedmann 2020))

Cette perte d'énergie exige d'avoir un paramètre η qui représente l'efficacité de la transition énergétique. Parce que dans le contexte actuel, une transition énergétique à des fins d'atténuation du climat, nous considérons que la substitution de chaque centrale à combustible fossile par des énergies renouvelables est justifiée par ses avantages climatiques, en recevant une récompense de l'exécution de la transition énergétique. C'est-à-dire, en remplaçant une EF par une ER, peut généralement économiser trois unités (fourchette de deux à quatre) (M. Diesendorf, T. Wiedmann 2020) d'énergie fossile et leurs émissions. La deuxième partie mettra l'accent sur la méthodologie et de la différence du calcul.

2. Méthodologie.

Comme cité ci-dessus dans la première partie. Le ratio EROI dans son sens standard se considère comme un ratio biaisé. L'approche la plus valable pour évaluer le niveau de performance énergétique que l'on peut attendre d'un investissement en énergies renouvelables est de combiner des spécifications techniques avec des ratios de performance dérivés. Pour ce fait nous allons expliquer les raisons qui mette l'EROI standard un ratio invalide pour évaluer les rendements des ER et des EF. Puis nous expliquerons la méthode Energy Pay-Back Time qui rajoute une certaine condition pour rationaliser l'évaluation des rendements et la comparaison. Et finalement nous verrons la combinaison d'EROI et l'EPBT, et finalement nous appliquerons cette dernière méthode dans notre étude de cas qui se constituera de cinq unités des énergies renouvelables situé au province du sud.

2.1 EROI est un indicateur biaisé

L'EROI ne renvoie qu'une mesure agrégée de la performance d'une longue chaîne de composants du système, dont certains ne sont probablement plus représentatifs de l'état actuel des progrès technologiques. Aussi que l'EROI des énergies renouvelables est plutôt calculé sans la conversion préalable de l'énergie produite en son équivalent énergétique primaire, (Kubiszewski et Cleveland, 2009 ; Kubiszewski et al., 2010). C'est-à-dire selon l'équation (1) ou (2). Il n'est donc pas un diagnostic fiable si l'on souhaite évaluer fidèlement un investissement.

Par conséquent, une école de pensée soutient que, lors de la transition vers l'énergies renouvelable afin de réduire les émissions provenant de l'énergie fossile, la production d'énergie dans l'équation (1) devrait être l'équivalent en énergie primaire produite, car il représente la quantité d'énergie primaire conservée pour des utilisations alternatives par unité d'énergie primaire investie dans les énergies renouvelables (Raugei, M., Fullana-i-Palmer 2012). Ci-après, l'équivalent d'énergie primaire que l'EROI est écrit comme "EROI_{PE-eq}". Tandis que la version traditionnelle d'EROI dans laquelle la production (out) est juste l'énergie produite est écrite comme EROI_{el} ou EROI sans indice qui couvre les deux définitions.

2.2 Energy Pay-Back Time (EPBT)

D'autre méthode pour calculer le rendement des investissements énergétiques est Energy Pay-Back Time (EPBT) -le temps de retour énergétique (EPBT), consiste à déterminer la durée nécessaire à un système d'ER pour générer la même quantité d'énergie (en termes d'équivalent

d'énergie primaire) que celle utilisée pour produire le système lui-même (Frischknecht et al. 2016)

Avec :

$$EPBT = \frac{E_{PP}}{E_{out-eq.yr}} \quad (3)$$

E_{PP} : l'énergie primaire produite,

$E_{out-eq.yr}$: la production annuelle nette de l'énergie, exprimée en termes d'énergie primaire équivalente .

Le EPBT (mesuré en années) est censé indiquer le temps qu'il faut à un investissement d'énergie propre pour produire suffisamment d'énergie pour compenser l'énergie primaire cumulée. La conversion de la production annuelle d'énergie en énergie primaire équivalente est normalement effectuée sur la base de (η_{grid}) qu'est l'efficacité de conversion énergétique du cycle de vie. Ceci s'applique à chaque remplacement jusqu'à ce qu'on arrive à 100% du processus de transition. Cette méthode reflète les grandes différences de η entre les centrales : par ex. $\eta \approx 0,2$ pour le charbon et $\eta \approx 0,55$ pour le gaz à cycle combiné. Cependant, les énergies renouvelables, tant qu'ils sont une énergie propre ils disposent un $\eta_{grid} = 1$

Avec

$$E_{out-eq.yr} = \frac{E_{out-yr}}{\eta_{grid}}$$

E_{out-yr} : l'énergie produite annuelle,

$E_{out-eq.yr}$: la production annuelle nette de l'énergie, exprimée en termes d'énergie primaire équivalente .

η_{grid} : l'efficacité de conversion énergétique

2.3 La combinaison EROI et EPBT

Par conséquent pour relier le EPBT à l'EROI nous utilisons la formule suivante :

(Hall, 2008; Heinberg, 2009; Lloyd and Forest, 2010)

$$\begin{aligned}
 EROI_{PE-eq.} &= \frac{T}{EPBT} = T \left(\frac{E_{out-eq.yr}}{E_{PP}} \right) \\
 &= \frac{TE_{out.yr}}{E_{PP}\eta_{grid}} \\
 EROI_{PE-eq.} &= \frac{E_{out}}{E_{PP}\eta_{grid}} \quad (4)
 \end{aligned}$$

D'où

E_{out} : l'énergie produite

T : la durée de vie du système

E_{PP} : énergie pour la construction et le cycle de vie de la technologie utilisée, exprimée en termes d'énergie primaire

Nous précisons que l'équation (4) est différente de l'équation (1) et (2) dans la section 1.1, Parce qu'elle prend en considération la production d'énergie nette sur la durée de vie des énergies renouvelables. Alors que l' $EROI_{PE-eq}$ est exprimé en termes d'« équivalent d'énergie primaire » ($E_{out}/(\eta_{grid})$, et non seulement l'énergie produite E_{out} .

Pour ce fait nous remarquons que les résultats prépubliés dont nous avons parlé dans la section 1.2 sont invalides et ils contiennent un manque de cohérence et que les EROIs des énergies renouvelables ne dépassent pas le seuil de rentabilité est une affirmation fausse.

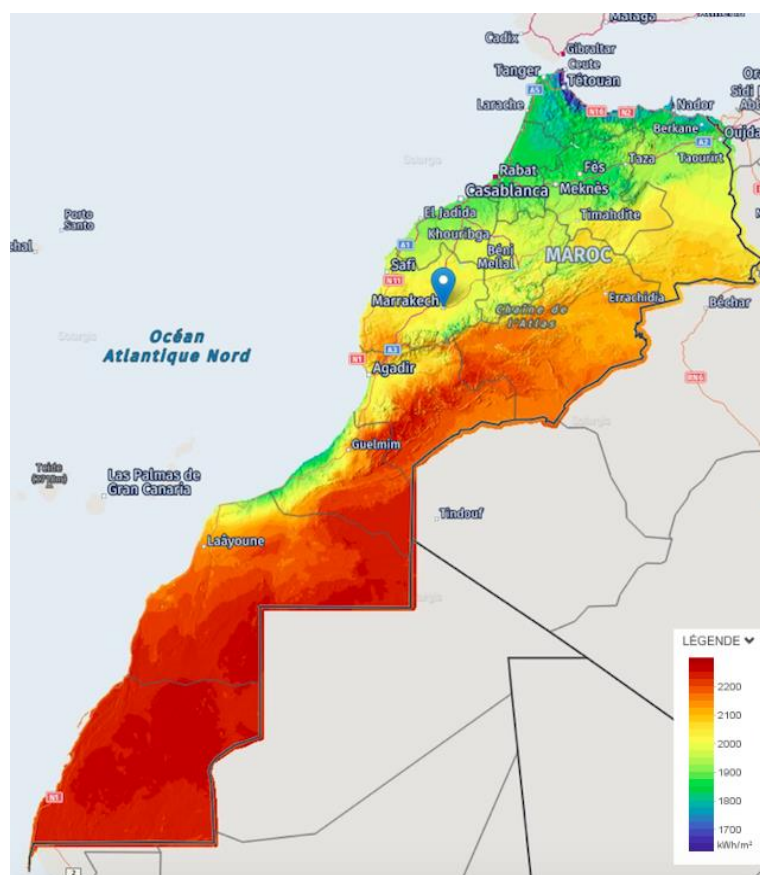
Cette méthode mène à exprimer E_{OUT-eq} en termes de son "équivalent d'énergie primaire" et en calculant $EROI_{PE-eq}$. En réalité nous prenons en considération la quantité d'énergie primaire qui est virtuellement restituée à la source (c'est-à-dire conservé pour d'autres usages) par unité d'énergie primaire investie dans les ER. Donc la comparaison entre l'EROI standard (équation 1) des ER ne doit pas être comparé directement avec un EROI de EF. Par contre on peut comparer $EROI_{PE-eq}$ (équation 4) avec EROI des EF, avec un obstacle négligeables parce qu'on suppose que l'énergie combustible est extraite et livrée, mais c'est une approximation tout à fait acceptable selon (Marco Raugéi , Pere Fullana-i-Palmer , Vasilis Fthenakis, 2012)

3. Analyse et discussion des résultats -Étude de cas-

La zone choisie dispose une spécificité très importante, qui va nous aider à prouver les affirmations citées aux parties précédentes, les provinces du sud du Maroc est un endroit géographique stratégique pour les énergies solaires et les éoliens. Sachant que ladite zone est

considérée parmi les meilleurs placements ensoleillés avec plus de 2200 KW/m² par an selon la MASEN². Aussi qu'elle est zone longitudinalement plate (sans montagne) ce qui fait l'objet des vents très fort durant toute l'année.

Figure 2 ensoleillement annuelle au Maroc



Source : LA MASEN

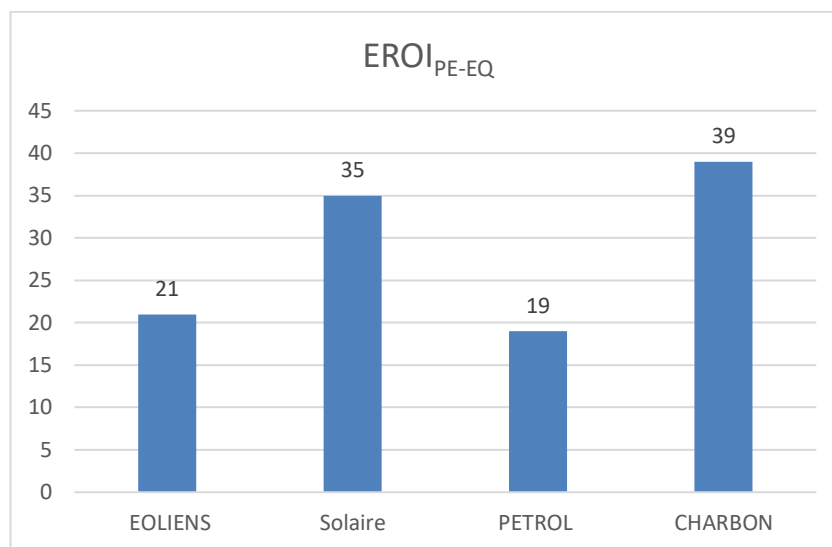
3.1 Application numérique

Dans cette étude nous allons calculer la production de cinq unités de production d'énergie renouvelable, il s'agit de NOOR LAAYOUNE, NOUR BOUJDOUR, CIMAR, FTISAT et AKHFNIR dont ils produisent une somme de 513 MW (LA MASEN)³. Et à comparer avec la production des centrales électriques à base de pétrole et charbon.

Le calcul de l'EROI est comme précisé dans section 2.3 donne la possibilité de comparer $EROI_{PE-eg}$ avec $EROI$ des énergies fossiles.

² La MASEN : L'Agence marocaine pour l'énergie durable

³ <https://www.masen.ma/fr/projets/>



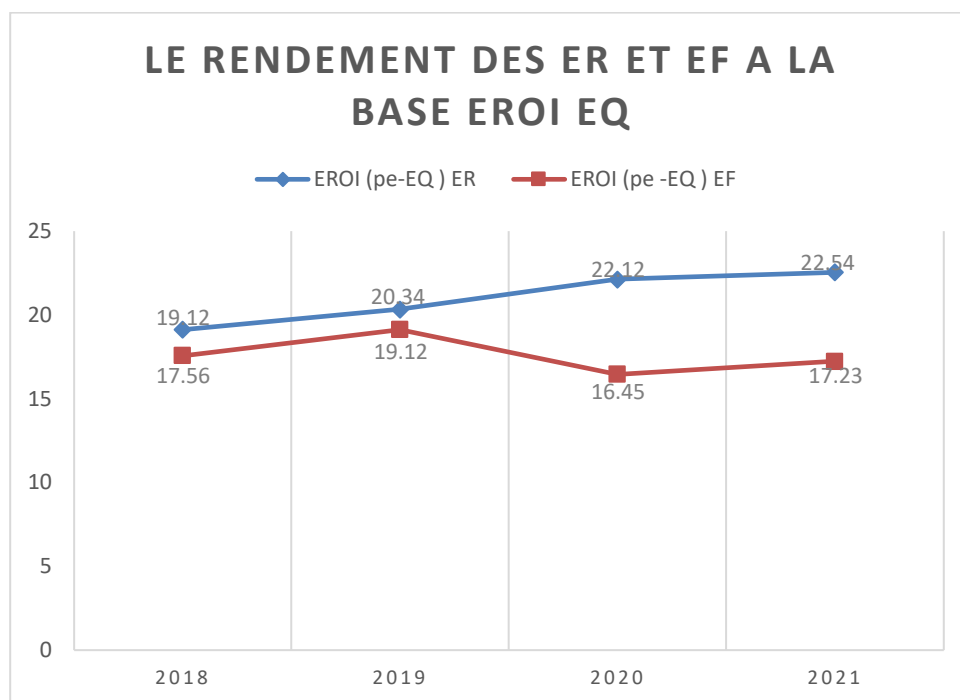
Source : calculé par les auteurs, données de la MASEN ET ONEE

Et d'autres sociétés d'investissement en ER (année 2021)

Ces résultats prouvent que l'investissement en énergie renouvelables est une option totalement viable qui peut contribuer efficacement à défier les investissements en énergie fossile. Tout en réduisant l'épuisement des stocks restants d'énergies primaires non renouvelables (fossile) et en atténuant les impacts environnementaux en termes de réchauffement climatique et des émissions polluantes conduisant à l'effet de serre.

3.2 Rendement en période de crise

Pour déterminer la résistance des investissements en ER pendant une période de crise. Et aussi de les comparer avec ceux en fossiles, nous allons construire deux portefeuilles, le premier contient des énergies renouvelables ER et le deuxième des énergies fossiles, (ces deux portefeuilles contiennent des sociétés actives en régions du sud) Puis nous allons calculer l'EROI selon l'équation (4) depuis 2018 jusqu'à 2021 pour pouvoir détecter la réactivité de deux portefeuilles durant la période de crise.



Source : calculé par les auteurs, données de la MASEN ET ONEE

Et d'autres sociétés d'investissement en ER (année 2020)

Interprétation : l'EROI_{pe.eq} des investissements en énergies renouvelables a connu une augmentation continue depuis 2018 jusqu'à 2021, par contre le portefeuille qui contient des énergies fossiles a baissé en 2020 de 19,12 à 16,45. Ce qui explique que le rendement des ER a gardé sa compétitivité de gain même en période de crise financière que le Maroc a connu après la COVID19.

Conclusion

Les méthodes qui sont largement utilisées pour évaluer les investissements en énergies sont des méthodes qui nécessitent une amélioration, parce qu'ils ne prennent pas en considération la conjoncture actuelle de l'économie mondiale. Une comparaison directe entre les ER et EF par le biais du rendement obtenu proportionnellement avec l'énergie investie est une comparaison fautive et elle lui manque la logique. Les énergies fossiles sont épuisables et leur exploitation demande elle-même de l'énergie. A contrario des énergies renouvelables qui sont en amélioration continue et leurs prix est en diminution, mais ils disposent un cycle de vie. Pour ce fait nous avons rajouté dans l'équation (4) un paramètre T qui désigne la durée de vie de la technologie et un autre paramètre η qui désigne l'efficacité de conversion énergétique afin de trouver une méthode plus adéquate à une comparaison réelle et non biaisée.

Les résultats obtenus dans cet article prouvent que les investissements en ER est un choix éternellement viable et qui peut contribuer efficacement à soutenir l'économie nationale, tout en réduisant considérablement l'épuisement des stocks restants d'énergie primaire (non renouvelable ou fossile) et en atténuant les impacts environnementaux simultanés en termes de réchauffement climatique et les émissions polluantes. L'investissement en énergies renouvelables, plus qu'il est viable, il a même montrer sa capacité de résister en face de la crise financière (COVID19) , cette résistance peut être expliquée par plusieurs raisons comme le choix d'investir dans des endroits qui sont stratégiquement pertinent, et qui offre une meilleure production en terme de qualité et quantité, aussi que, l'innovation technologique a pu ces derniers décennies a amélioré la performance du système utilisé aux énergies renouvelables. Cet article a mis l'accent sur une comparaison qui semble juste et réel entre les ER et les EF par plusieurs méthodes d'évaluation des rendements ($EROI$, $EPBT$, $EROI_{PE-eg}$) ces méthodes ne peuvent pas être extrêmement valide, parce qu'elles nécessitent une amélioration dépendant la nature énergétique de chaque pays. Ces méthodes peuvent intégrer des paramétrages des risques spécifiques et des factures de chaque pays selon sa nature énergétique.

BIBLIOGRAPHIE

Arvesen, A., & Hertwich, E. G. (2015). *More caution is needed when using life cycle assessment to determine energy return on investment (EROI)*. *Energy Policy*, 76, 1–6.

Diesendorf, M., & Wiedmann, T. (2020). *Implications of Trends in Energy Return on Energy Invested (EROI) for Transitioning to Renewable Electricity*. *Ecological Economics*, 176, 106726. doi:10.1016/j.ecolecon.2020.106726

Dale, M., Krumdieck, S., & Bodger, P. (2012). *Global energy modelling — A biophysical approach (GEMBA) part 1: An overview of biophysical economics*. *Ecological Economics*, 73, 152–157. doi:10.1016/j.ecolecon.2011.10

Hall, C. A. S., Lambert, J. G., & Balogh, S. B. (2014). *EROI of different fuels and the implications for society*. *Energy Policy*, 64, 141–152. doi:10.1016/j.enpol.2013.05.049

Hall, C. A. S., & Kaufmann, R. Cleveland, C. J., Costanza, R., (1984). *Energy and the U.S. Economy: A Biophysical Perspective*. *Science*, 225(4665), 890–897. doi:10.1126/science.225.4665.8

Hall, Stephen Balogh & David J. R. Murphy (2009) *What is the Minimum EROI that a Sustainable Society Must Have? Program in Environmental Science, State University of New York - College of Environmental Science and Forestry, Syracuse NY, 13210, USA*

Frischknecht, Rolf, Heath, Garvin, Raugei, Marco, Sinha, Parikhit, and de Wild-Scholten, Mariska. *Methodology Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic Electricity: 3rd Edition. United States: N. p., 2016*

IRENA, 2019. *Renewable Power Generation Costs in 2018*. International Renewable Energy Agency

Guilford, M.C., Hall, C.A.S., O'Connor, P., Cleveland, C.J., 2011. A new long term assessment of energy return on investment (EROI) for U.S. oil and gas discovery and production. *Sustainability* 3 (10), 1866–1887.

Kavlak, G., McEnerney, J., Trancik, J.E., 2018. Evaluating the causes of cost reduction in photovoltaic modules. *Energy Policy* 123, 700–710.

Kubiszewski, I., Cleveland, C., Endres, P., 2010. Meta-analysis of net energy return for wind power systems. *Renewable Energy* 35, 218–225.

Kubiszewski, I., Cleveland, C., Szostak, R., 2009. Energy return on investment (EROI) for photovoltaic energy. *The Encyclopedia of Earth*.

Louwen, A., van Sark, W.G., Faaij, A.P., Schropp, R.E., 2016. Re-assessment of net energy production and greenhouse gas emissions avoidance after 40 years of photovoltaics development. *Nat. Commun.* 7, 13728.

Lambert, J., Hall, C., Balogh, S., Poisson, A., Gupta, A., (2012). *EROI of Global Energy Resources: Preliminary Status and Trends*. Report 1 of 2. UK-DFID 59717, 2

Murphy, D.J., Hall, C.A.S., 2010. Year in review—EROI or energy return on (energy) invested. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1185, 102–118.

Murphy, D.J., Hall, C.A.S., 2011. Energy return on investment, peak oil, and the end of economic growth. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1219, 52–72.

Murphy, D.J.; Raugei, M.; Carbajales-Dale, M.; Rubio Estrada, B. 2022 *Energy Return on Investment of Major Energy Carriers: Review and Harmonization.*, 7098. <https://doi.org/10.3390/su14127098>

Mulder, K., & Hagens, N. J. (2008). *Energy Return on Investment: Toward a Consistent Framework*. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 37(2), 74–79. doi:10.1579/0044-7447(2008)37[74:eroita]2.0.co;

Palmer, G., 2017b. An input-output based net-energy assessment of an electricity supply industry. *Energy* 141, 1504–1516

Palmer, G., Floyd, J., 2017. An exploration of divergence in EPBT and EROI of solar photovoltaics. *BioPhysical Econ. Resource Qual.* 2, 15.

Palmer, G., 2017a. A framework for incorporating EROI into electrical storage. *Biophys Econ. Resource Qual.* 2, 6.

Prananta, W.; Kubiszewski, I. Assessment of Indonesia's Future Renewable energy Plan: A Meta-Analysis of Biofuel Energy Return on Investment (EROI). *Energies* 2021, 14, 2803.

Raugei, M., Fullana-i-Palmer, P., & Fthenakis, V. (2012). *The energy return on energy investment (EROI) of photovoltaics: Methodology and comparisons with fossil fuel life cycles. Energy Policy, 45, 576–582.*

Sers, M.R., Victor, P.A., 2018. The energy-emissions trap. *Ecol. Econ.* 151, 10–21

White, E., Kramer, E.J., 2019. The changing meaning of energy return on investment and the implications for the prospects of post-fossil civilization. *One Earth* 1

Wiraditma Prananta et Ida Kubiszewski (2021) Assessment of Indonesia's Future Renewable Energy Plan: A Meta-Analysis of Biofuel Energy Return on Investment (EROI) *Energies* vol. 14, issue 10, 1-15

SITES WEB

<https://world-nuclear.org/information-library/energy-and-the-environment/energy-return-on-investment.aspx>

(consulté le 28-10-2022)

https://www.hcp.ma/Note-d-information-relative-aux-comptes-regionaux-de-l-annee-2020-Base-2014_a3571.html

(consulté le 24-10-2022)

<https://www.novethic.fr/actualite/finance-durable/isr-rse/effet-secondaire-du-covid-19-l-investissement-durable-est-reste-immunise-au-confinement-148747.html>

(consulté le 24-10-2022)