

Bahman Kashi

Founder - Economist; Adjunct Lecturer
Limestone Analytics: Queen's University

Jay Mackinnon

Economiste
Limestone Analytics

Juan Belt

Economiste Senior
Limestone Analytics

Nicolas Allien

Conseiller en énergie renouvelable et efficacité énergétique
Ministère du travail public, du transport et de la communication

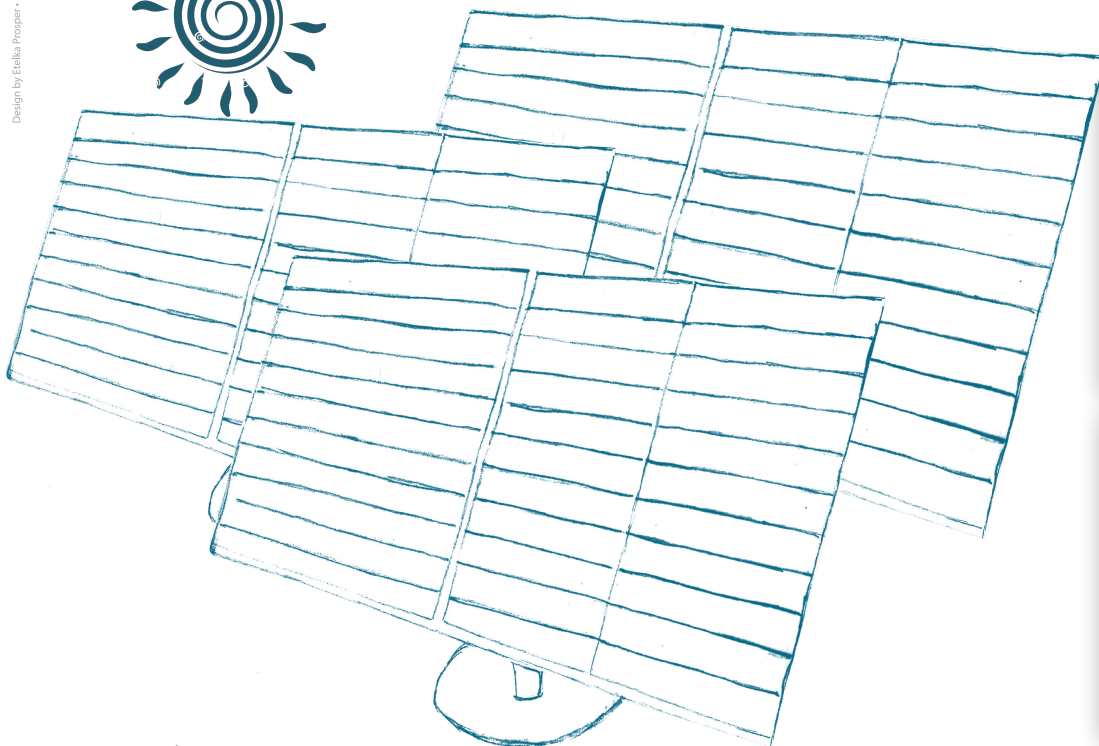
Bénaël Jean-Louis

Superviseur d'études et de recherche
Direction marketing, Société Générale Haitienne de Banque, S.A.
(SOGEBANK)

Analyse des coûts et des avantages

Comparaison des technologies de production d'énergie renouvelable à l'échelle de la grille en Haïti

Design by Etelka Prosper - identity@gmail.com



COPENHAGEN
CONSENSUS
CENTER

Haiti
Priorise

Un plan de développement alternatif

Comparaison des technologies de production d'énergie renouvelable à l'échelle de la grille en Haïti

Haïti Priorise

Bahman Kashi

*Founder - Economist; Adjunct Lecturer
Limestone Analytics: Queen's University*

Jay Mackinnon

*Economiste
Limestone Analytics*

Juan Belt

*Economiste Senior
Limestone Analytics*

Nicolas Allien

*Conseiller en énergie renouvelable et efficacité énergétique
Ministère du travail public, du transport et de la communication*

Version préliminaire de travail en date du 20 Avril, 2017.

Traduit de l'anglais par Gregoire Fournier, traducteur professionnel

© 2017 Copenhagen Consensus Center

info@copenhagenconsensus.com

www.copenhagenconsensus.com

Cet ouvrage a été produit dans le cadre du projet Haïti Priorise.

Ce projet est entrepris avec le soutien financier du gouvernement du Canada. Les opinions et interprétations contenues dans cette publication sont celles de l'auteur et ne reflètent pas nécessairement celles du gouvernement du Canada.

Canada

Certains droits réservés



Cet ouvrage est disponible sous la licence internationale Creative Commons Attribution 4.0 ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)). Selon les termes de la licence Creative Commons Attribution, vous êtes libre de copier, distribuer, transmettre et adapter ce travail, y compris à des fins commerciales, dans les conditions suivantes :

Attribution

Veillez citer l'ouvrage comme suit : #NOM DE L'AUTEUR#, #TITRE DU RAPPORT#, Haïti Priorise, Copenhagen Consensus Center, 2017. Licence : Creative Commons Attribution CC BY 4.0.

Contenu d'un tiers

Copenhagen Consensus Center ne possède pas nécessairement chaque élément du contenu figurant dans l'ouvrage. Si vous souhaitez réutiliser un élément de l'ouvrage, il est de votre responsabilité de déterminer si l'autorisation est nécessaire pour cette réutilisation et d'obtenir l'autorisation du détenteur des droits d'auteur. Par exemple les tableaux, les illustrations ou les images font partie de ces éléments mais ne s'y limitent pas.

Résumé

À travers cet article, nous essayons de quantifier les coûts et avantages impliqués par l'installation d'une nouvelle capacité de production d'électricité à partir des technologies suivantes : l'énergie solaire photovoltaïque (PV), les centrales solaires thermiques à concentration (CSP), l'hydroélectricité et les turbines éoliennes. Nous étudions les coûts et avantages de leur mise en place respective en les comparant sur la base d'un scénario hypothétique dans lequel l'électricité est achetée à des producteurs indépendants d'électricité (PIE) thermique, sur la base des prix établis dans l'actuel Contrat d'achat d'électricité (CAE). Les avantages induits par l'installation d'une capacité de production d'électricité renouvelable se traduisent ainsi par la réduction des coûts pour le service énergétique haïtien, et par la réduction des émissions carbonées à l'échelle du monde. Les coûts comprennent à la fois les coûts annuels moyens du capital, les coûts d'exploitation et les coûts de maintenance impliqués par l'installation d'une capacité de production d'un mégawatt (MW) à l'échelle du réseau électrique. Nous analysons la sensibilité des estimations du ratio avantages-coûts (RAC) face aux variations du taux d'actualisation, au prix des carburants fossiles et à la « distribuabilité » de l'électricité produite.

Abréviations utilisées dans notre étude

CO₂ – Dioxyde de Carbone

CSP - Centrale solaire thermodynamique à concentration (ou centrale solaire thermique à concentration), de CSP en anglais (*concentrated solar power*).

EDH – Electricité d'Haïti

PIB – Produit intérieur brut

GOH – Gouvernement d'Haïti

ONGI – Organisations non gouvernementales internationales

PIE - Producteur indépendant d'électricité

IRENA - Agence Internationale de l'énergie renouvelable (*International Renewable Energy Agency*)

kWh – Kilowatt Heure

ALC – Amérique latine et Caraïbes

BMD – Banque multilatérale de développement

MW – Mégawatt

MWh – Mégawatt Heure

E&M - Exploitation et Maintenance

CAE – Contrat d'achat d'électricité

Solaire PV – Énergie solaire photovoltaïque (panneaux solaires)

USD – United States Dollar, dollar américain (unité de monétaire)

USD PPA – Dollars américains, dans l'hypothèse de la Parité de pouvoir d'achat

Résumé de la politique

Aperçu et contexte

Haïti est le pays le plus pauvre des Amériques et l'un des plus pauvres du monde, avec un PIB par habitant de seulement 813,3\$ (World Bank, 2017). Son réseau électrique, sous-développé et vétuste, figure dans la liste des problèmes qui vont de pair avec un tel niveau de pauvreté. La consommation d'électricité par habitant est bien plus basse que dans les autres pays des Caraïbes, et ne représente que 2% de celle du pays voisin, la République Dominicaine (World Bank, 2015, p.5). Seuls 35% des haïtiens ont accès à l'électricité à travers les réseaux électriques. Dans les zones rurales, cette proportion est de 11% (World Bank, 2015). Les haïtiens qui ont bel et bien accès à l'électricité sont régulièrement confrontés à des pannes et dans certains cas, n'y ont accès qu'en journée.

Les difficultés économiques auxquelles est confronté Haïti sont fortement liées avec les problèmes qui touchent le secteur énergétique. Si la faible économie du pays joue un rôle sur le mauvais état de ce secteur, le manque d'électricité disponible peut, de la même façon, entraver le développement économique, entraînant une situation sans issue susceptible de nécessiter une intervention extérieure afin d'être remédiée. Le manque d'approvisionnement en électricité stable est cité par les chefs d'entreprises comme étant l'obstacle le plus contraignant pour le développement du secteur privé (World Bank, 2015, p.5). Il ne fait guère de doute que l'amélioration du marché de l'électricité représente pour Haïti une étape primordiale vers l'amélioration de l'économie et du bien-être des citoyens.

Dans cet article, nous prenons en compte les possibles avantages et coûts associés à l'augmentation de la capacité de production d'énergie d'Haïti à travers l'utilisation de Centrales solaire thermodynamique à concentration (CSP), de systèmes solaires photovoltaïques (Panneaux solaires), d'énergie hydroélectrique ou d'éoliennes. De nombreux problèmes affectent le réseau électrique haïtien, dont le manque de connectivité et les niveaux élevés de pertes commerciales et techniques, dus en partie à des infrastructures vieillissantes et endommagées. Pour ces raisons, nous avons décidé d'envisager les coûts et avantages marginaux représentés par un MW de capacité supplémentaire pour chaque technologie. Bien que nous ne recommandions pas d'emplacements exacts où ces technologies pourraient être installées, des études existantes, comme celle de Worldwatch (2014), ont à la fois estimé où un nombre limité d'hydroélectricité pourrait être construit, tout en démontrant le potentiel élevé des énergies solaire et éolienne dans certaines régions d'Haïti.

Réflexion sur la mise en œuvre

Les coûts primaires impliqués par l'augmentation de la production d'énergie du réseau comprennent (i) les coûts en capital et (ii) les coûts d'exploitation et de maintenance (E&M). Les coûts en capital associés aux sources d'énergies renouvelables ont nettement chuté ces dernières années et certaines technologies de production d'énergie renouvelable sont à présent compétitives par rapport aux technologies conventionnelles.

Les politiques que nous proposons pourraient permettre une réduction des coûts plus importante que le montant des coûts associés à leur mise en place, selon les hypothèses intégrées à notre modèle. Bien que l'on puisse douter de la capacité d'Électricité d'Haïti (EDH) à investir dans la production d'énergie sur le long terme, compte tenu de ses pratiques financières non viables, notre analyse montre que les projets d'énergie renouvelable peuvent, dans certains contextes, générer des avantages économiques nets positifs.

Le succès des interventions que nous proposons serait mesuré à travers la réduction des coûts qu'elles représenteraient pour EDH, et la réduction des émissions de dioxyde de carbone à laquelle elles contribueraient. Nul besoin d'utiliser des indicateurs compliqués en vue de évaluer le succès de notre intervention : le coût annuel moyen du projet ainsi que le montant d'électricité distribuée dans le réseau suffiront. Le succès du projet pourra être constaté grâce à la réduction des coûts des kWh, en comparaison avec les prix des CAE.

Ces interventions pourront être mises en place par EDH ou par des PIE. Toutefois, les finances d'EDH ne se portent pas au mieux et la capacité du groupe de financer de bons projets est de fait limitée. Les investissements publics du pays étant également mal exploités, peut-être nous faudra-t-il nous tourner vers des financeurs étrangers (World Bank, 2015, p.2). Les projets de production d'électricité pourraient ainsi représenter de potentielles opportunités de partenariat avec des banques multilatérales de développement (BMD).

Les technologies que nous envisageons ont toutes une espérance de vie estimée approximativement à 25 ans (IRENA, 2015a, p.24). Aussi les coûts et avantages du projet sont-ils sujets à un certain niveau d'incertitude. Les coûts actuels des énergies renouvelables et les prix actuels des CAE constituent les deux paramètres fondamentaux sur lesquels se base notre analyse. Les deux font l'objet de variations au cours du temps. Le prix des énergies renouvelables fait l'objet d'une tendance à la baisse avec le temps, et la volatilité du pétrole peut, quant à elle, affecter les prix des CAE, et ce en permanence. Nos résultats sont également fortement corrélés à la distribution de l'énergie pour un réseau donné. En raison des

différentes sources d'incertitude, nous menons des analyses afin de voir dans quelle mesure les bénéfices et les coûts obtenus avec notre modèle dépendent des changements liés aux apports.

Les énergies renouvelables sont actuellement utilisées dans plusieurs régions du monde afin de produire une énergie majoritairement propre, et dans certains cas, bon marché. Si Haïti n'a pas à ce jour été en mesure d'exploiter le potentiel global des énergies renouvelables, le pays est, tout au moins d'un point de vue géographique, bien placé pour la mise en place de tels projets. Le pays a en effet été identifié comme étant un site idéal pour la production d'énergies solaire et éolienne (Worldwatch, 2014; Government of Haiti 2015). Les principales préoccupations qui empêcheraient la mise en place de tels projets seraient suscitées par des questions concernant la capacité des acteurs à financer et maintenir les infrastructures une fois qu'elles sont construites. C'est pourquoi nous recommandons vivement que toute intervention visant l'approvisionnement ou la demande d'électricité d'Haïti soit accompagnée de réformes institutionnelles, afin de libérer le maximum de bénéfices pour chaque dollar dépensé dans le secteur de l'énergie.

Il existe certains risques inévitables associés à l'augmentation la capacité de production d'énergie, tel que le risque de désastre naturel qui pourrait endommager le capital installé, ou les risques impliqués par un système politique instable. Si EDH maintient le niveau actuel des pertes techniques et commerciales, la faisabilité financière de ces interventions pourrait aussi être remise en question. Cependant, Haïti a besoin d'électricité et même si l'énergie n'est pas rémunérée, cela génère tout de même des avantages économiques. Investir dans la production d'électricité à travers les énergies renouvelables est financièrement risqué, ce qui représente un obstacle pour la faisabilité de tout projet proposé. Il est donc nécessaire de répondre aux facteurs sociaux, financiers et économiques à l'heure d'investir dans la production d'énergies renouvelables.

Les arguments en faveur de l'installation

Deux principaux avantages émergeraient des investissements réalisés dans les énergies renouvelables. Le premier concerne la réduction des coûts. Cette réduction des coûts pourrait contribuer à rendre EDH financièrement plus viable. L'autre avantage représenté par la production d'électricité à travers les énergies renouvelables concerne la réduction des émissions de CO₂. Par ailleurs, les PIE produisent de l'électricité en brûlant des carburants diesel et fossiles, dont la combustion produira des émissions de CO₂, un gaz à effet de serre nocif qui contribue au réchauffement climatique. Par conséquent, en produisant de l'électricité à travers l'utilisation d'énergies renouvelables, les producteurs d'énergie

peuvent assurer l'approvisionnement d'une énergie plus propre que celle produite par les technologies actuellement utilisées dans le pays.

Les premiers bénéficiaires des interventions que nous proposons en matière de production d'énergie sont les fournisseurs d'électricité dans les marchés des CAE, grâce à un déplacement de la courbe de l'offre. Utiliser des sources d'énergie renouvelable plutôt que des énergies fossiles profite aussi au reste du monde, puisque cela permet de réduire les émissions carbonées.

Nous ne prenons pas en compte les possibles changements du surplus du consommateur qui pourraient être indirectement entraînés par l'amélioration de l'approvisionnement en électricité, mais évaluons plutôt l'électricité nouvellement disponible sur la base des prix du marché facturés par les PIE. Cela suppose que les marchés des CAE ne sont pas limités, ce qui peut ne pas être le cas. Cependant, cela nous permet de garantir que nous proposons des estimations prudentes et défendables. Nous ne prenons pas non plus en compte les bénéfices de la croissance économique, un processus qui nécessitera sans doute le développement des réseaux électriques. Alors que l'électricité est une condition impérative et indéniable de la croissance économique, nous nous voulons prudents dans l'attribution des bénéfices discrets au développement marginal de la capacité de production d'électricité. La croissance fait aussi partie des enjeux à incorporer dans notre modèle sans double comptage, puisque de plusieurs façons, la croissance économique résulte d'une amélioration de l'accès à l'électricité, dont nous incluons déjà la valeur dans notre analyse.

Dans le tableau 1, nous proposons un récapitulatif des coûts et avantages de quatre technologies, conformément à nos hypothèses de base. Cependant, la gamme des coûts et avantages possibles que nous pouvons appliquer à chaque type d'intervention, dans les pires comme dans les meilleurs scénarios, est large. Aussi ne recommandons-nous pas aux lecteurs de prendre ces valeurs en dehors de leur contexte.

Tableau 1 – Résumé des interventions proposées

Technologie	Avantage sur une base annuelle (2015 USD)	Coûts sur une base annuelle (2015 USD)	RAC	Qualité des résultats
Éolienne (Vent)	267824,84	186372,23	1,44	Moyenne
Énergie solaire photovoltaïque (Solaire PV)	163670,74	160423,95	1,02	Moyenne
Centrale solaire thermodynamique à concentration (CSP)	223187,37	471670,14	0,47	Moyenne
Hydroélectricité	386858,11	254666,88	1,52	Moyenne

1. INTRO	1
2. CONTEXTE.....	1
LE PLUS PAUVRE DES PAYS DE L'HEMISPHERE OCCIDENTAL	1
CATASTROPHES NATURELLES.....	2
LES ATOUTS D'HAÏTI.....	2
L'IMPORTANCE DES SOLUTIONS D'ENERGIE RENOUVELABLE.....	3
3. THEORIE.....	6
COMPREHENSION DES AVANTAGES GENERES PAR L'AMELIORATION DE L'APPROVISIONNEMENT EN ELECTRICITE D'HAÏTI.....	6
FACTEUR DE CAPACITE ET DISTRIBUTION.....	7
4. CALCULS DES COÛTS ET AVANTAGES	8
AVANTAGES, COUTS ET ACTEURS	8
COÛTS	9
AVANTAGES	11
<i>Valeur de l'électricité distribuée aux consommateurs.....</i>	<i>11</i>
<i>Avantages nets, Ratio avantage-coût et analyse de sensibilité.....</i>	<i>13</i>
5. CONCLUSION	17
6. RÉFÉRENCES.....	21

1. Intro

Dans cet article, nous évaluons les coûts et les avantages obtenus en ajoutant un montant marginal de production d'énergie renouvelable à l'échelle du réseau aux infrastructures électriques d'Haïti

Cet article rentre dans le cadre du projet *Haïti Priorise*, une initiative qui vise à « *identifier, analyser et définir les priorités des interventions qui généreront le maximum de bénéfices par dollar dépensé, permettant à Haïti de progresser vers un avenir plus prospère et durable* ».

Les auteurs ont travaillé sur quatre travaux dans le cadre de ce projet, ceux-ci partageant les mêmes hypothèses et le même niveau d'analyse. Nous encourageons les lecteurs à se référer à tous ces travaux afin d'évaluer les options en matière d'investissement dans le marché de l'électricité haïtien :

1. Comparer les technologies de production d'énergie renouvelable à l'échelle du réseau en Haïti
2. Comparer les technologies de production d'énergie thermique à l'échelle du réseau en Haïti
3. Le potentiel d'approvisionnement d'électricité à travers l'utilisation de réseaux isolés en Haïti
4. Le potentiel en matière de réformes des institutions haïtiennes de production d'électricité

2. Contexte

Le plus pauvre des pays de l'hémisphère occidentale

Haïti est l'un des pays les plus pauvres du monde et n'a connu que très peu d'améliorations lors des dernières décennies. La croissance du PIB d'Haïti a atteint en moyenne 1,2% de 1971 à 2013, contre une croissance de 3,5% pour l'ensemble de l'Amérique latine et Caraïbes (ALC) sur la même période (World Bank, 2015, p.4). Pour ce qui est de la croissance de la population, les chiffres sont encore pires. Le PIB par habitant a diminué en moyenne de 0,7% par année entre 1971 et 2013, (World Bank, 2015, p. 4). Alors que la plupart des pays en voie de développement a connu une croissance rapide depuis la fin de la Seconde guerre mondiale, il est évident qu'Haïti est resté à la traîne. Selon la banque mondiale (2015, p.1), 59% des haïtien.ne.s sont considéré.e.s comme étant « pauvres », ce qui signifie qu'ils(elles) vivent avec moins de 2\$ par jour (2005 USD, PPP). 24% des haïtien.ne.s sont considéré.e.s comme étant « extrêmement pauvres », vivant avec moins de 1,25\$ par jour (2005 USD PPP).

Catastrophes naturelles

Les grandes difficultés économiques auxquelles Haïti a été confronté dans un passé récent peuvent s'expliquer en partie par un nombre élevé de catastrophes ayant touché le pays. Entre 1971 et 2014, Haïti a été frappé par 137 catastrophes naturelles. On considère que ces dernières sont responsables d'une perte estimée à 180% du PIB du pays, et d'une perte de 2% de sa population actuelle (World Bank, 2015, p.22). Haïti a connu deux fois plus d'inondations que ses voisins, et trois fois plus de sécheresse que la République dominicaine (World Bank, 2015, p.22).

La pire catastrophe qui a touché Haïti s'est produite lors de ces dix dernières années. En 2008, les tempêtes tropicales et ouragans ont causé une perte estimée à 15% du PIB ainsi qu'un nombre élevé de morts (World Bank, 2015, p.21). Mais cela est relativement peu en comparaison des dommages provoqués par le tremblement de terre de 2010. On estime que le séisme du 12 janvier 2010 a causé la mort de plus de 200000 personnes et détruit l'équivalent de 120% du PIB annuel du pays (World Bank, 2015, p.15). Cette catastrophe sans précédent a contribué à renforcer la pression subie par un pays dont l'économie était déjà en mal de croissance. Le tremblement de terre a détruit des routes, des écoles, des hôpitaux, des lignes de transmission et tant d'autres infrastructures essentielles à l'économie d'Haïti.

Les atouts d'Haïti

Haïti possède certaines ressources essentielles qui pourraient susciter de l'optimisme. Le pays dispose d'une main d'œuvre jeune qui pourrait, dans de bonnes conditions, contribuer à alimenter la croissance économique. En outre, Haïti est proche des principaux marchés d'Amérique du Nord et d'Amérique centrale, et a signé des accords commerciaux avantageux avec les États-Unis et le Canada, qui ouvriraient un marché pour les exportations si Haïti était en bonne posture pour tirer profit de ces échanges.

En outre, et cette donnée nous paraît plus pertinente, Haïti possède un fort potentiel en matière d'exploitation d'électricité à partir d'énergies renouvelables. Le pays est extrêmement bien adapté à la production d'énergie solaire et d'énergie éolienne, et possède un potentiel hydroélectrique certes limité, mais qui n'en demeure pas moins important. Si Haïti pouvait exploiter ces ressources naturelles en question, le pays serait en mesure de produire une énergie propre à un coût assez bas, susceptible de faire des jaloux, y compris parmi des pays dits plus développés.

L'électricité à Haïti

La situation économique d'Haïti influence et est influencée par son marché de l'électricité jugé défaillant. Seuls 35% des haïtien.ne.s ont accès à l'électricité à travers les réseaux. Dans les zones rurales, cette proportion tombe à 11% (World Bank, 2015). La consommation d'électricité par habitant à Haïti est bien plus faible que dans les autres pays des Caraïbes et représente seulement 2% de la consommation par habitant de son voisin, la République dominicaine (World Bank, 2015).

L'incapacité d'accéder à l'électricité implique de graves conséquences pour tous les haïtien.ne.s, mais elle nuit particulièrement aux entreprises commerciales et industrielles. L'absence d'un approvisionnement en électricité qui soit viable est cité par les chefs d'entreprise comme étant l'obstacle plus contraignant pour le développement du secteur privé. (World Bank, 2015, p.5). Les entreprises haïtiennes doivent également faire face aux coûts d'électricité les plus élevés de la région, ce qui rend difficile l'exercice de leur activité face à la concurrence. Les ménages pâtissent également de cette pénurie d'électricité disponible et se voient obliger d'adopter des stratégies d'adaptation, utilisant notamment des petits générateurs diesel afin d'alimenter leurs appareils électro-ménagers, ou encore des lampes au kérosène pour se fournir en lumière. Les haïtien.ne.s n'ayant pas accès à l'électricité à travers les réseaux sont confrontés à des pénuries, et il est estimé que ceux(celles) qui bénéficient d'un réseau n'ont accès à l'électricité que pendant 5 à 9 heures par jour (Worldwatch Institute, 2014, p.26).

Enfin, le secteur de l'électricité du pays représente également un important fardeau financier pour l'économie d'Haïti. EDH a besoin d'un transfert moyen de 200 millions de dollars chaque année afin de couvrir les coûts d'exploitation. Cela représente 10% du budget national, soit 2% du PIB (World Bank, 2015, p.68). Les pertes financières significatives d'EDH sont dues en partie au niveau élevé des pertes commerciales et techniques dans le réseau électrique, celles-ci empêchant EDH de percevoir des revenus. Si EDH parvenait à réduire suffisamment la part des pertes techniques tout en augmentant le recouvrement des paiements pour l'électricité consommée, il est raisonnable de dire que le fonctionnement d'EDH serait financièrement plus viable. Réformer EDH permettrait d'accroître la faisabilité des interventions sur le marché de l'électricité du pays, aussi bien du côté de la demande que du côté de l'offre.

L'importance des solutions d'énergie renouvelable

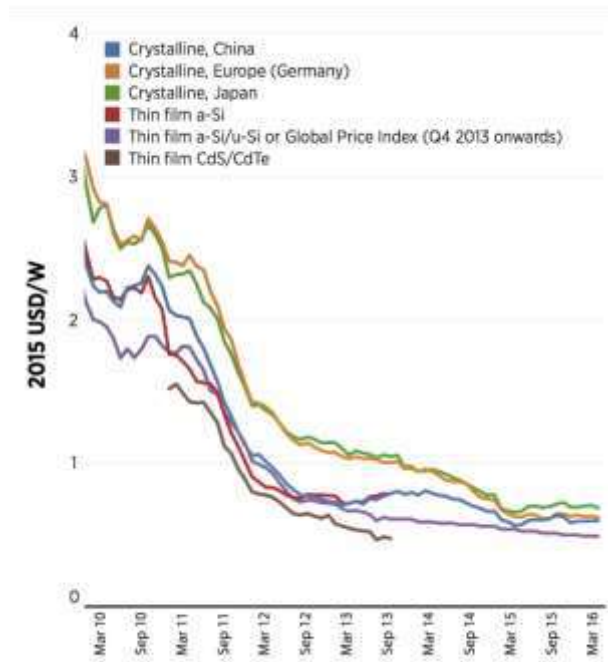
Le changement climatique est l'un des principaux problèmes auxquels l'humanité est actuellement confrontée. Les émissions de dioxyde de carbone et de gaz à effet de serre dues aux activités humaines entraînent une hausse des températures atmosphériques moyennes, une acidification des océans, et une hausse des perturbations climatiques (Obama, 2017). Il est donc important, lorsque l'on traite des

moyens visant à répondre aux demandes en électricité d'Haïti, que nous prenions en considération les implications environnementales de ces éventuelles interventions. Certes, Haïti ne fait actuellement pas partie des plus grands émetteurs de CO₂ à l'échelle de la planète, en raison de son économie sous-développée, mais sa vulnérabilité face aux conditions climatiques extrêmes et aux risques que celles-ci représentent oblige le pays à être partie prenante à l'heure de combattre le réchauffement climatique. Le fait que le réseau électrique d'Haïti soit relativement sous-développé signifie que le pays peut incorporer des énergies renouvelables propres dans son offre d'énergie, et ce à grande échelle.

La nouvelle économie des énergies renouvelables

La plupart de l'électricité d'Haïti (85%) est produite par la combustion de combustibles fossiles, tels que le diesel. En plus d'être économiquement inefficace, cela contribue au changement climatique. La dépendance du pays vis-à-vis des énergies fossiles rend aussi le pays vulnérable aux chocs pétroliers mondiaux.

Graphique 1 – Prix des panneaux solaires sur la période 2010-2016 (document tiré de IRENA 2016b, p.35)



Fort heureusement, les prix des sources d'énergie alternatives sont à la baisse. Le prix mondial des panneaux solaires a baissé de façon exponentielle, celui-ci étant devenu au cours de ces dernières années plus compétitif par rapport aux sources conventionnelles d'énergie. Dans le Graphique 1 [les prix des panneaux solaires (tirés de IRENA 2016b, p.35)], le prix moyen des panneaux solaires en Europe est établi pour une période de cinq ans et demi. Le prix par watt a fortement chuté sur cette période. Il est important de souligner qu'Haïti est tout à fait adapté à la production d'énergie solaire, le pays disposant d'un éclairage global horizontal (EGH) de 5-7 kWh/M², une valeur deux fois plus élevée que celle dont dispose l'Allemagne, un pays qui a énormément investi dans le solaire (Worldwatch Institute, 2014, p.50).

Les turbines éoliennes deviennent elles aussi moins chères. En 2015, l'Agence internationale de l'énergie renouvelable (IRENA) a estimé que les éoliennes terrestres peuvent, dans des conditions climatiques idéales, produire de l'électricité à un prix aussi attractif que 0,05\$/kWh. Selon les régions, Haïti connaît des quantités de vent disponible variables. Cependant, les vents forts qui soufflent près des centres de population du territoire font de cette énergie une solution attractive pour le pays.

L'hydroélectricité possède également un grand potentiel. Elle est par ailleurs une source d'énergie largement utilisée à travers le monde et permettant de produire de l'électricité bon marché. Haïti

possède déjà une capacité installée évaluée à 60 MW, qui fonctionne à divers degrés d'efficacité. Cependant, les études montrent que le pays peut compter sur une capacité hydroélectrique de 100 MW supplémentaires à l'échelle du réseau électrique (Worldwatch, 2014, p.63), qui pourrait être plus élevée si l'on prend en compte les productions à plus petite échelle. Si cette source d'énergie ne suffirait pas à satisfaire la hausse prévue de la demande énergétique à Haïti, elle pourrait intégrer plus largement un mix énergétique bon marché.

Les sources d'énergie renouvelable paraissent d'autant plus rentables si nous prenons en considération les coûts impliqués par les émissions carbonées qu'elles permettent d'éviter. Si les consommateurs étaient tenus de payer pour les dommages susceptibles d'être causés par les émissions de CO₂ dans l'atmosphère, le coût des énergies renouvelables paraîtrait encore moins onéreux.

Nous nous devons d'affirmer le plus clairement du monde que le « règlement » des problèmes d'Haïti en matière d'énergie représente un défi majeur et que la potentielle rentabilité élevée d'une intervention ne signifie pas que ces rendements peuvent être actualisés sans aucune autre considération. Cet article traite des possibles avantages représentés par l'introduction de sources de production d'énergie renouvelable au sein de la capacité de production d'électricité du pays. Toutefois, nous pensons que toute intervention qui prévoit d'ajouter de la production d'énergie au marché de l'électricité d'Haïti doit s'accompagner de réformes institutionnelles. Étant donné que les pertes techniques et commerciales élevées réduisent fortement l'impact de toute nouvelle production d'énergie, et que la mise en place d'un système de tarification inefficace par EDH déforme les facteurs de marché, les entreprises et consommateurs pourraient ne pas être en mesure d'accéder aux avantages générés par l'amélioration de l'approvisionnement en électricité. Dans un article connexe du projet Haïti priorise, nous avons analysé les potentiels effets des réformes du réseau électrique, et nous encourageons toute personne désireuse d'améliorer le marché de l'électricité d'Haïti à prendre en considération les recommandations que nous avons formulées dans cet article.

3. Théorie

Compréhension des avantages générés par l'amélioration de l'approvisionnement en électricité d'Haïti

Dans notre analyse, nous supposons qu'EDH, fournisseur public d'électricité (ou quelque autre acteur qui remplisse la même fonction) produira de l'électricité pour le réseau à partir de sources d'énergie renouvelable. Nous estimons la valeur de cette nouvelle production à travers la réduction des coûts

impliquée pour EDH. Ces économies peuvent renforcer la stabilité financière du fournisseur, et/ou et peuvent s'étendre aux consommateurs sous la forme d'une réduction des prix ou d'une viabilité accrue.

Si la microéconomie nous apprend qu'un changement de la courbe de l'offre entraînerait en théorie un changement du prix payé par les consommateurs, il faut savoir que cette théorie est avant tout pertinente pour des marchés concurrentiels qui sont en équilibre. Les prix en électricité d'Haïti sont établis nationalement, et n'ont pas subi de changements depuis 2009. Par conséquent, nous ne souhaitons pas nous aventurer à faire des hypothèses concernant les implications pour les consommateurs des évolutions dans le coût de l'approvisionnement en électricité, et préférons plutôt concentrer notre attention sur la réduction des coûts assumés par le fournisseur. Cela rend notre estimation des avantages plus prudente.

Dans notre modèle, nous supposons que le coût de production d'électricité dans le scénario imaginé serait équivalent au prix moyen actuellement payé par les PIE, et tel qu'il est établi dans les CAE. Par conséquent, les avantages générés par la nouvelle production d'électricité correspondent à la valeur qu'EDH paie pour une telle production dans ce qui ressemble le plus à un marché. Il convient de signaler, que ce prix pourrait être une représentation déséquilibrée de la valeur dans le contexte où des distorsions du marché auraient lieu. Cependant, se baser sur les prix des CAE devrait nous permettre d'obtenir des estimations prudentes concernant les avantages. Nous pensons que cela est important pour tout travail rentrant dans le cadre du projet *Haïti Priorise*.

Facteur de capacité et distribution

Le facteur de capacité est l'un des concepts fondamentaux de notre compréhension des avantages générés par les énergies renouvelables. Le facteur de capacité est l'une des variables permettant de mesurer la quantité d'électricité produite par une source d'énergie par rapport à sa production potentielle. Les énergies renouvelables dont nous traitons ne sont pas en mesure de produire un volume constant d'électricité, en raison des fluctuations que connaissent le vent, le soleil et les débits d'eau. Par conséquent, ce n'est pas parce qu'une capacité d'un MWh est installée qu'il est possible de produire un MW toutes les heures.

Compte tenu du caractère intermittent du soleil, du vent et des débits d'eau, même lorsque ces sources produisent de l'électricité, il se peut qu'il n'existe pas de demande afin qu'elle soit consommée. En outre, il est possible que les technologies d'énergie renouvelable produisent plus d'électricité que le réseau ne peut en héberger. La capacité de transmission et de distribution du pays se trouve dans un piteux état, et

la capacité d'adaptation aux fluctuations de l'approvisionnement n'est pas garantie. Dans notre modèle, nous utilisons le terme de « part distribuable de la production d'électricité » pour désigner cela.

Le facteur de capacité s'inscrit dans notre modèle en tant que multiplicateur pour chaque technologie, qui permet de convertir la quantité totale d'électricité qu'un générateur de 1 MW produirait en un an (8760 MWh) dans des conditions idéales, en quantité d'électricité effectivement produite. Les estimations de notre facteur de capacité proviennent de l'agence IRENA (2015) et représentent des moyennes globales.

Il est possible que le réseau électrique sous-desservi d'Haïti ne puisse pas être en mesure de gérer toute l'électricité produite par certaines des technologies lorsque celles-ci tournent à plein régime, comme c'est le cas de l'énergie solaire lorsque le rayonnement est au plus fort dans une journée. Il est aussi probable que la part distribuable ne soit réduite en raison d'un décalage de la demande des consommateurs avec la production intermittente des énergies renouvelables.

4. Calculs des coûts et avantages

Avantages, coûts et acteurs

Les parties suivantes permettront d'expliquer la façon dont nous avons évalué les coûts et avantages des différentes sources d'énergie renouvelable. Toutefois, avant d'expliquer comment nous les calculons, il nous paraît important d'expliquer quels sont les acteurs que nous incluons dans notre modèle.

Parmi les deux principaux acteurs, le premier que nous prenons en considération dans notre modèle est un groupe d'intervenants que nous avons baptisé le « Partenariat ». Ce groupe d'acteurs est chargé de financer, mettre en place et gérer l'intervention. Ce groupe pourrait simplement se limiter à EDH, ou à un autre producteur d'électricité indépendant, ou pourrait inclure un donateur, un mécène, une BMD, etc. Nous estimons que cet acteur est le premier bénéficiaire de l'amélioration de l'approvisionnement en électricité, et le premier payeur des coûts associés à la production. Le Partenariat est censé accumuler des avantages et des coûts pour Haïti, mais il est possible d'imaginer une situation où des donateurs étrangers transfèrent les coûts des acteurs haïtiens à des acteurs venus d'ailleurs.

Le second groupe d'intervenants que nous envisageons ici a été baptisé « Tous les pays ». Ce groupe d'acteurs se compose de toute personne dans le monde qui tire profit de la réduction d'émissions de CO₂. Si ce groupe inclut les haïtiens, la part de la population haïtienne dans la population mondiale étant

relativement basse, nous estimons qu'il est plus instructif de différencier ces avantages de ceux que nous appliquons à Haïti.

Tableau 2 - Avantages, coûts et acteurs

	Acteurs			
	Monde			
	Haïti		Tous les pays	Total
	Partenariat	Total		
Avantages				
Valeur de l'électricité distribuée	X	X		X
Réduction des émissions carbonées			X	X
Coûts				
Dépenses en capital	X	X		X
Coûts d'exploitation	X	X		X

Le tableau 2 représente les acteurs engagés dans notre modèle, ainsi que les coûts et avantages que nous leur attribuons. Remarquons que les coûts et avantages de la production d'électricité s'applique au groupe « Partenariat » et que les coûts et avantages impliqués par la réduction des émissions carbonées s'applique au groupe « Tous les pays ».

Coûts

Dans notre modèle, nous examinons les deux principales sources de coûts : les coûts annualisés du capital ainsi que les coûts annualisés de l'exploitation et de la maintenance. Les coûts annualisés du capital sont calculés à partir du coût moyen d'installation d'une capacité d'un MW pour un type de technologie donné, en répartissant les coûts sur la durée de vie de la ressource. Nous intégrons les coûts de financement du projet afin d'obtenir des coûts annuels identiques. Les coûts annualisés du capital pour les quatre interventions sont présentés dans le tableau 3 (ci-dessous). Il est important de souligner que le taux d'intérêt du financement est identique au taux d'actualisation dans ces calculs, puisque l'objectif principal du projet *Haïti Priorise* est d'évaluer les coûts et avantages. Quand on examine la viabilité

financière du projet projet, il est possible d'introduire un taux d'intérêt différent dans le cas où nous nous y intéressons.

Tableau 3 – Coûts en capital des énergies renouvelables à échelle du réseau (2015 USD)

Technologie	Coût par MW (USD)	Durée de vie (années)	Coût annualisé (USD)		
			@ 3%	@ 5%	@ 12%
Vent	1560000\$	25	89587,48\$	110685,83\$	198899,95\$
Solaire PV	1810000\$	25	103944,45\$	128423,95\$	230774,95\$
CSP	5550000\$	25	318724,68\$	393786,14\$	707624,83\$
Hydroélectricité	2800000\$	25	160798,04\$	198666,88\$	356999,92\$

Source: IRENA (2015a)

Les coûts d'exploitation et de maintenance comprennent les coûts associés au travail consistant à garantir que la capacité de production installée puisse continuer de fonctionner tout au long de sa durée de vie. Cela inclut les coûts salariaux, les coûts de réparation et les coûts de remplacement de pièces. Notre modèle prend en compte les coûts fixes de l'E&M (les coûts étant encourus même si aucune électricité n'est produite), ainsi que les coûts variables de l'E&M (les coûts associés à chaque MWh supplémentaire produit). Nous multiplions les coûts fixes de l'E&M par le total d'électricité produite sur un an. Ces calculs sont présentés dans le tableau 4, pour chacune des technologies envisagées. Notons que nous ne sommes pas en mesure de décomposer les coûts fixes et variables dans tous les cas. Cependant, là où un seul d'entre eux est inclus, cela devrait être suffisant pour nos estimations.

Table 1 – Coûts d'Exploitation et Maintenance (E&M) des énergies renouvelables à l'échelle du réseau

Technologie	Coûts fixes d'E&M par MWh (USD 2015)	Coûts variables d'E&M par MWh (USD 2015)	Total des coûts d'E&M par MWh (USD 2015)
Vent		24\$	7568640
Panneaux solaires	32000\$		3200000
CSP	70000\$	3\$	7788400
Hydroélectricité	56000\$		5600000

Source: IRENA (2015a)

Avantages

Valeur de l'électricité distribuée aux consommateurs

Le premier avantage que nous attribuons à notre intervention est la valeur de l'électricité produite qui revient au groupe « Partenariat ». Nous calculons ces avantages à partir du prix moyen de l'électricité, dans le cas où celle-ci a été achetée via un CAE, estimé en août 2016 à hauteur de 0,17\$/kWh, selon les données de Thys (2017). Le calcul consiste simplement à multiplier le total de l'électricité produite distribuable par capacité de production installée par le prix établi dans le CAE. Nous nous basons sur une « distribuabilité » de 50% pour chaque type de technologie et sur les facteurs de capacité tirés de l'article d'IRENA (2015a). Nous étudierons les impacts des changements contenus dans ces estimations dans notre analyse de sensibilité. Les avantages de l'électricité produite sont présentés dans le tableau 5.

Tableau 5 – Avantages de l'électricité produite à partir d'énergies renouvelables à l'échelle du réseau

Technologie	Facteur de Distribuabilité X Facteur de capacité	Électricité distribuée prévue par MW (MWh/Year)	Valeur annuelle de production (USD 2015)
Vent	18%	1576,80	\$ 261748,80
Solaire PV	11%	963,60	\$ 159957,60
CSP	15%	1314,00	\$ 218124,00
Hydroélectricité	26%	2277,60	\$ 378081,60

Sources: Thys (2017); IRENA (2015a)

Le deuxième avantage concerne la réduction des émissions carbonees. Nous avons calculé cet avantage à partir d'estimations correspondant aux émissions de CO₂ par kWh des générateurs électriques Diesel, qui, comme nous le suggérons, seraient remplacés par des énergies propres dans le cadre de nos interventions. En multipliant les émissions annuelles réduites par le coût social du carbone, il nous est possible de mesurer l'impact annuel de nos interventions sur l'environnement. Les valeurs attribuées au coût social du carbone, calculées sur la base de plusieurs taux d'actualisation, sont tirées de Tol (2011). Il s'agit des mêmes estimations utilisées par tous les membres du projet *Haiti Priorise*, cela permettant de garantir la comparabilité des résultats.

Les valeurs annuelles correspondant à la réduction des émissions de CO₂ sont présentées dans le tableau 6 :

Table 6 – Avantages de la réduction des émissions carbonnes

Technologie	Électricité distribuée par MW prévue (Moyenne des MWh)	Valeur annuelle de la réduction des émissions carbonnes		
		@ 3% (22,9 USD/Tonne)	@ 5% (5,18 USD/Tonne)	@ 12% (0 USD/Tonne)
Vent	1576,80	26861,28\$	6076,04 \$	0\$
Solaire PV	963,60	16415,22\$	3713,14\$	0\$
CSP	1314,00	22384,40\$	5063,37\$	0\$
Hydroélectricité	2277,60	38799,62\$	8776,51\$	0\$

Sources: Tol (2011); IRENA (2015a)

Avantages nets, Ratio avantage-coût et analyse de sensibilité

Haïti Priorise a pour objectif de classer les interventions en fonction des ratios avantages-coûts leur correspondant. Le ratio avantages-coûts prend le total des avantages économiques d'une intervention et le divise par les coûts. En théorie, ce calcul devrait nous renseigner sur le total des bénéfices généré pour chaque dollar dépensé. Par exemple, un ratio avantages-coûts de 1 signifie que pour chaque dollar dépensé, un bénéfice de 1 dollar est réalisé. Les ratios avantages-coûts supérieurs à 1 indiquent qu'une intervention génère plus d'avantages qu'elle n'implique de coûts. L'inverse se vérifie lorsque les ratios sont inférieurs à 1.

Si toutes les interventions étaient correctement analysées, et si leur mise en place était possible à une échelle adaptée, un donateur disposant de ressources limitées et évaluant tous les acteurs de manière égale, maximiserait (en théorie) l'impact de la somme d'argent qu'il verse, et ce en finançant les interventions possédant les ratios coûts-avantages les plus élevés. Il est aussi important de rappeler que la manière dont les coûts et avantages sont répartis entre les acteurs/intervenants constitue une source de préoccupation pour la plupart des gens. Aussi, un ratio avantages-coûts général ne représente-t-il pas nécessairement un moyen suffisamment efficace d'établir quelles sont les priorités en matière d'intervention. Nous avons essayé d'évaluer les avantages de manière prudente afin que nos interventions, s'ils elles venaient à être mises en place, obtiennent des résultats au moins aussi bons que ceux que nous avons suggérés dans notre travail. Nos estimations des ratios avantages-coûts de chaque

intervention, calculés sur la base de trois taux d'actualisation différents, sont présentées ci-dessous dans le tableau 7.

Table 2- Récapitulatif des Ratio Avantages-Coûts selon nos hypothèses de base (à l'échelle du monde)

Technologie	RAC @ 3%	RAC @ 5%	RAC @ 12%
Vent	1,75	1,44	0,95
Solaire PV	1,30	1,02	0,61
CSP	0,61	0,47	0,28
Hydroélectricité	1,92	1,52	0,92

Les ratios avantages-coûts économiques à l'échelle mondiale comprennent les coûts et avantages qui s'appliquent à tous les acteurs, dont les avantages tirés de la réduction des émissions carbonées. Nous présentons dans le tableau 8 les RAC à l'échelle d'Haïti.

Tableau 8 – Récapitulatif des Ratios Avantages-Coûts selon les hypothèses de base (à l'échelle d'Haïti)

Technologie	RAC @ 3%	RAC @ 5%	RAC @ 12%
Vent	1,58	1,40	0,95
Solaire PV	1,18	1,00	0,61
CSP	0,55	0,46	0,28
Hydroélectricité	1,74	1,48	0,92

Les ratios avantages-coûts énumérés dans les tableaux 7 et 8 présentent une série de résultats compliqués à décrypter. Il paraît clair que les CSP représentent un mauvais investissement, mais les résultats correspondants aux autres technologies sont sensiblement plus ambigus. Les RAC correspondants à l'éolienne, à l'énergie solaire photovoltaïque et à l'énergie hydroélectrique, sont tous supérieurs à 1 lorsqu'on les actualise à des taux moindres, mais sont inférieurs à 1 lorsqu'on les actualise à un taux de 12%. Cela laisse entendre qu'il serait possible, grâce aux sources d'énergie renouvelable, de

produire une électricité moins chère que celle produite par les PIE à partir du diesel, si l'on s'appuie sur un taux d'actualisation sociale moindre. Toutefois, ces résultats se basent sur des hypothèses assez sensibles, nous ne souhaiterions pas affirmer que les énergies renouvelables offrent à Haïti un grand potentiel sans présenter une longue liste de conditions.

Il est important de rappeler que ces résultats s'appuient sur des hypothèses portant sur la distribuabilité des énergies renouvelables, le taux d'actualisation sociale, les coûts de la capacité de production installée et des taux d'actualisation. Toutes ces données pouvant être très spécifiques au contexte, il est recommandé de prendre en compte les changements auxquels sont sujettes leurs valeurs et les répercussions qui en découlent.

Commençons donc par nous intéresser à l'impact des facteurs de capacité et à la distribuabilité présentée dans nos résultats. Selon nos hypothèses de base, 50% de l'électricité potentiellement produite peut être distribuée dans le réseau électrique. Ce résultat s'appuie sur l'obsolescence des infrastructures électriques à Haïti, le manque de soutien institutionnel pour les énergies renouvelables et la nécessité de moderniser le centre de distribution de l'énergie d'EDH. Cependant, dans le cadre d'un scénario où des investissements significatifs seraient réalisés dans les réseaux électriques, il est probable que les énergies renouvelables dont la production est intermittente, comme c'est le cas de l'éolienne et du solaire, puissent avoir un niveau de distribuabilité différent. Dans le tableau 9, nous présentons les estimations que nous avons obtenues sur la base de notre modèle pour différents niveaux de distribuabilité, en s'appuyant sur un taux d'actualisation sociale de 5%.

Table 9 – Sensibilité des Ratios Avantages-Coûts économiques à la Distribuabilité (sur la base d'un taux d'actualisation de 5%)

Technologie	Distribuabilité			
	25%	50%	75%	100%
Vent	0,72	1,44	2,16	2,87
Solaire PV	0,51	1,02	1,53	2,04
CSP	0,24	0,47	0,71	0,95
Hydroélectricité	0,76	1,52	2,28	3,04

Note: Tous les chiffres se fondent sur un taux d'actualisation hypothétique de 5% et correspondent à 1MW de capacité de production installée.

Les résultats présentés dans le tableau 9 montrent qu'un niveau accru de distribuabilité de l'électricité permet aux énergies renouvelables (à l'échelle du réseau) d'obtenir des RAC nettement supérieurs. Dans l'hypothèse où le réseau serait équipé de manière adéquate afin de transmettre et distribuer la quantité d'énergie produite par les énergies renouvelables proposées ici, et où l'on serait en présence d'une demande excédentaire qui permettrait que l'ensemble de l'électricité produite soit consommée, nous pourrions imaginer des niveaux de distribuabilité plus élevés. Toutefois, plus les énergies renouvelables que nous incluons dans le mix énergétique de tous les réseaux sont intermittentes, plus il nous faut prendre en compte l'éventualité d'une offre excédentaire, et la forte baisse de la distribuabilité qui en découlerait. Il est également possible d'améliorer la distribuabilité à travers des solutions de stockage de l'énergie (telles que les batteries ou les centrales de pompage pour l'hydroélectricité), mais de telles considérations dépassent le cadre de notre analyse.

Il nous faut également prendre en considération les répercussions qui découleraient de la hausse des prix des CAE, un phénomène qui pourrait se produire dans le contexte d'un choc pétrolier. Les prix de l'électricité vendue par les PIE du secteur du diesel devraient augmenter afin de refléter les évolutions correspondant à cet apport. Dans le tableau 10, nous présentons la manière dont les RAC économiques évolueraient en fonction des variations des prix de l'électricité, sur la base d'un taux d'actualisation de 5%.

Tableau 10 – Sensibilité des RAC économiques face à la valeur de l'électricité distribuée (sur la base d'un taux d'actualisation sociale de 5%)

Technologie	Valeur de l'électricité (USD/kWh)			
	0,150\$	0,166\$	0,180\$	0,200\$
Vent	1,30	1,44	1,56	1,72
Solaire PV	0,92	1,02	1,10	1,22
CSP	0,43	0,47	0,51	0,57
Hydroélectricité	1,38	1,52	1,64	1,82

Note: Tous les chiffres se fondent sur un taux d'actualisation hypothétique de 5% et correspondent à 1MW de capacité de production installée.

Le tableau 10 montre la corrélation qui existe entre la hausse de la valeur de la production des énergies renouvelables avec la hausse du prix de l'électricité vendue sur le marché. S'il est clair que la valeur de la capacité de production électrique est liée à la valeur de l'électricité, il est intéressant d'examiner dans quelle mesure les investissements réalisés dans les énergies renouvelables pourraient constituer un moyen de se prémunir contre la volatilité des prix du pétrole. Au niveau de ses importations de pétrole, Haïti bénéficie à l'heure actuelle de prix préférentiels de la part du Venezuela, mais une baisse des prix du pétrole pourrait contribuer à exercer une pression sur ce pays partenaire et sur sa capacité à subventionner ses exportations. Si Haïti se voit confronter à une forte hausse observée dans les prix du pétrole, alors les énergies renouvelables commenceront à susciter un plus grand intérêt.

5. Conclusion

Dans l'ensemble, nos estimations semblent induire que certaines sources de production d'électricité renouvelable impliquent des bénéfices susceptibles d'être supérieurs aux coûts. Cela est dû, en partie, aux prix extrêmement élevés des CAE, ce qui permet à de nombreuses technologies de se comparer avantageusement.

Les centrales solaires thermiques à concentration représentent une source d'énergie qui ne semble pas viable à ce jour, principalement en raison des coûts élevés en capital que cette technologie implique. Notons toutefois que cela pourrait être amené à changer dans le futur. L'hydroélectricité paraît plus viable lorsqu'elle est calculée sur la base de taux d'actualisation sociale moindres et dès lors qu'un coût

élevé du carbone est incorporé à notre modèle. Toutefois, il est important de rappeler qu'il n'existe qu'un nombre limité de sites pouvant accueillir des infrastructures hydroélectriques, et que par conséquent, les haïtiens ont besoin de recourir à d'autres technologies en vue de répondre aux besoins prévisionnels en électricité.

Quant à l'énergie solaire photovoltaïque et à l'énergie éolienne, il semble que toutes deux pourraient être utilisées dans le réseau électrique du pays, et plus particulièrement dans le contexte où la distribuabilité n'est pas un facteur contraignant. Cependant, si ces énergies deviennent largement exploitées, il est probable que leur caractère intermittent devienne problématique.

Bien qu'il existe des moyens d'adapter les sources d'électricité non distribuables, les nombreuses solutions qui se présentent coûtent cher. Il apparaît donc plus raisonnable d'équilibrer les sources d'électricité renouvelable avec une électricité d'origine thermique efficace.

Pour de plus amples informations sur le potentiel de l'énergie thermique à l'échelle du réseau, nous recommandons au lecteur de se référer à notre article (pour *Haïti Priorise*) portant sur le sujet. De manière générale, les auteurs considèrent que les avantages et coûts de la production d'électricité sont propres à un contexte, et que les études sur la faisabilité spécifique à un site serviraient de base afin d'identifier les emplacements où les projets pourraient être menés de manière effective.

Néanmoins, il semblerait que dans certains cas, étant donné que le marché de l'électricité se développe en Haïti, les énergies renouvelables à l'échelle du réseau pourraient bien intégrer un nouveau mix énergétique national. Nous énumérons ci-dessous certains des points importants à retenir pour toute personne désireuse d'investir dans la production d'énergie renouvelable en Haïti :

1. L'énergie solaire concentrée ne semble actuellement pas viable économiquement, en raison des coûts élevés en capital qu'elle implique.
2. L'hydroélectricité est, et peut continuer d'être, un moyen économiquement efficace de produire de l'électricité.
3. L'énergie éolienne présente un énorme potentiel et devrait être considérée comme une possible source d'investissement.
4. Sur la base de nos hypothèses, l'énergie solaire photovoltaïque présente de potentiels avantages économiques, mais ceux-ci sont moindres en comparaison de ceux correspondant à l'énergie éolienne ou à l'hydroélectricité. C'est pourquoi, à l'heure d'envisager des

investissements dans la production à l'échelle du réseau, nous recommandons de donner la priorité à ces deux types technologies plutôt qu'au solaire.

5. Les coûts et avantages de la production d'électricité sont sensibles à la distribuabilité, aux facteurs d'actualisation et aux prix de l'électricité vendue sur les marchés concernés. Les estimations contenues dans cet article se fondent sur des agrégations et hypothèses. Avant tout investissement, il sera nécessaire de mener des analyses sur la faisabilité des installations site par site.

Table 11 – Récapitulatif des énergies renouvelables à l'échelle du réseau électrique sur la base de nos hypothèses.

Technologie	Taux d'actualisation	Avantages (USD/MW)	Coûts (USD/MW)	Ratio avantages-coûts (RAC) économiques	Qualité des résultats
Vent	3%	\$288610,08 \$	\$165273,88 \$	1,75	Moyenne
	5%	\$267824,84 \$	\$186372,23 \$	1,44	
	12%	261748,80 \$	274586,35 \$	0,95	
Solaire PV	3%	176372,82 \$	135944,45 \$	1,30	Moyenne
	5%	163670,74 \$	160423,95\$	1,02	
	12%	159957,60 \$	262774,95 \$	0,61	
CSP	3%	240508,40 \$	396608,68 \$	0,61	Moyenne
	5%	223187,37 \$	471670,14 \$	0,47	
	12%	218124,00 \$	785508,83 \$	0,28	
Hydroélectricité	3%	416881,22 \$	216798,04 \$	1,92	Moyenne
	5%	386858,11 \$	254666,88 \$	1,52	
	12%	378081,60 \$	412999,92 \$	0,92	

6. Références

- Aguirre, J., 2014. Impact of Rural Electrification on Education: A Case Study from Peru. Research Center, Universidad del Pacifico (Peru) and Department of Economics 1–18.
- Anonymous, 2017. IPP PPA Prices per kWh.
- Anonymous, 2016. Interview with a Doctor.
- Bloomberg New Energy Finance, World Energy Council, 2013. World Energy Perspective: Cost of Energy Technologies.
- Blum, N., Wakeling, R., Schmidt, T., 2013. Rural electrification through village grids - Assessing the cost competitiveness of isolated renewable energy technologies in Indonesia.
- Brown, N.L., 1978. Solar Energy for Village Development.
- Chen, S.X., Gooi, H.B., Wang, M., 2012. Sizing of energy storage for microgrids. IEEE Transactions on Smart Grid 3, 142–151.
- Costa, P.M., Matos, M.A., 2006. Economic analysis of microgrids including reliability aspects, in: Probabilistic Methods Applied to Power Systems, 2006. PMAPS 2006. International Conference on. IEEE, pp. 1–8.
- Di Bella, C.G., Norton, L.D., Ntamatungiro, J., Ogawa, S., Samake, I., Santoro, M., 2015. Energy Subsidies in Latin America and the Caribbean: Stocktaking and Policy Challenges.
- Earth Spark International, 2016. Les Anglais Micro-Grid Factsheet.
- EarthSpark International, 2015. Scaling Sustainable Energy for All: EarthSpark International and the Case for Micro-Grid Infrastructure.
- Energy and Security Group, 2016. Haitian Solar Powered Microgrid Potential: Town Ranking Report.
- EPRI, 2003. Costs of Utility Distributed Generators, 1-10 MW: Twenty-Four Case Studies.
- ESMAP, 2002. Rural Electrification and Development in the Philippines: Measuring the Social and Economic Benefits.
- Foroudastan, S.D., Dees, O., 2006. Solar Power and Sustainability in Developing Countries.
- Golumbeau, R., Barnes, D., 2013. Connection Charges and Electricity Access in Sub-Saharan Africa.
- Government of Haiti, Department of Public Works, Transportation and Communication, 2015. SREP Investment Plan for Haiti.

Greacen, C., Engel, R., Quetchenbach, T., 2013. A Guidebook on Grid Interconnection and Isolated Operation of Mini-Grid Power Systems Up to 200 kW.

Hotel in Port au Prince, 2016. Interview with an Anonymous hotel.

Hutton, G., Rehfuess, E., others, 2006. Guidelines for conducting cost-benefit analysis of household energy and health interventions, in: Guidelines for Conducting Cost-Benefit Analysis of Household Energy and Health Interventions. OMS.

Inland Revenue, 2016. General depreciation rates.

IRENA, 2016a. The Power to Change: Solar and Wind Cost Reduction Potential to 2025.

IRENA, 2016b. Solar PV in Africa: Costs and Markets.

IRENA, 2015a. Renewable Power Generation Costs in 2014.

IRENA, 2015b. Renewable Energy in Hybrid Mini-Grids and Isolated Grids: Economic Benefits and Business Cases.

IRENA, 2015c. Battery Storage for Renewables: Market Status and Technology Outlook.

IRENA, 2012a. Renewable Energy Technologies Cost Analysis Series: Hydro.

IRENA, 2012b. Renewable Energy Technologies Cost Analysis Series: Solar Photovoltaics.

IRENA, IEA-ETSAP, 2013. CSP Technology Brief.

Ishigaki, Y., Kimura, Y., Matsusue, I., 2014. Optimal Energy Management System for Isolated Micro Grids.

Kashi, B., 2015. Risk management and the stated investment costs by independent power producers. *Energy Economics* 49, 660–668.

Kurtz, J., Saur, G., Ainscough, C., 2014. Backup Power Cost of Ownership Analysis and Incumbent Technology Comparison.

Larocque, A., 2014. Comprehensive Planning for Electric Power Supply in Haiti – Regulatory, Institutional & Tariff Report.

Larocque, A., Nadeau, D., Landry, M., 2014. Comprehensive Planning for Electric Power Supply in Haiti - Expansion of the Supply for Electricity Generation.

Lenin Balza, Christiaan Gischler, Nils Janson, Sebastian Miller, Potential for Energy Storage in Combination with Renewable Energy in Latin America and the Caribbean.

Lucky, M., Auth, K., Ochs, A., Fu-Berteaux, X., Weber, M., Konold, M., Lu, J., 2014. Haiti Sustainable Energy Roadmap.

Machala, M., 2011. Kerosene Lamps vs. Solar Lanterns. Stanford University.

McMannus, R., 2015. Interview with Rachel McMannus.

Mills, E., 2003. Technical and Economic Performance Analysis of Kerosene Lamps and Alternative Approaches to Illumination in Developing Countries.

Nicolas Allien, 2017. 100 kW diesel Quote.

NREL, 2014. Distributed Solar PV for Electricity System Resiliency.

Obama, Barack. 2017. "The Irreversible Momentum of Clean Energy." *Science* 355 (6321): 126–29. doi:10.1126/science.aam6284.

Paul L. Joskow, 2011. Comparing the Costs of Intermittent and Dispatchable Electricity Generating Technologies.

Pauschert, D., 2009. Study of Equipment Prices in the Power Sector.

Perkins Engines Company Limited, 2012. 400 Series 404D-22G ElectropaK.

Perkins Engines Company Limited, 2007. Perkins 1104D-E44TAG ElectropaK.

Rangarajan, K., Guggenberger, J., 2011. Cost Analysis of Renewable Energy-Based Microgrids for Rural Energy Management, in: IIE Annual Conference. Proceedings. Institute of Industrial Engineers-Publisher, p. 1.

Rao, N.D., Agarwal, A., Wood, D., 2016. Impacts of Small Scale Electricity Systems: A Study of Rural Communities in India and Nepal.

Singh, R.J., Barton-Dock, M., 2015. Haiti: Towards a New Narrative (Systematic Country Diagnostic.

Smith, K.R., Rogers, J., Cowlin, S.C., 2005. Household fuels and ill-health in developing countries: what improvements can be brought by LP gas? World LP Gas Association Paris, France.

Squires, T., 2015. The Impact of Access to Electricity on Education: Evidence from Honduras.

Staton, D.M., Harding, M.H., 1998. Health and Environmental Effects of Cooking Stove Use in Developing Countries.

The World Bank, 2017. Haiti Overview [WWW Document]. URL <http://www.worldbank.org/en/country/haiti/overview> (accessed 3.13.17).

The World Factbook — Central Intelligence Agency [WWW Document], 2017 URL <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2004rank.html> (accessed 3.15.17).

Thys, P.K., 2017. Interview with Pierre Kénol Thys, IDB Energy Specialist.

Tol, R.S.J., 2011. The Social Cost of Carbon.

UNdata Country Profile Haiti [WWW Document], 2017. URL <http://data.un.org/CountryProfile.aspx?crName=haiti> (accessed 3.13.17).

U.S. Energy Information Administration, 2016. Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2016.

Verner, D., Egset, W., 2007. Social Resilience and State Fragility in Haiti. World Bank Publications.

Wärtsilä, Marine Solutions, 2016. Wärtsilä 46F Product Guide.

Wilson, M., Jones, J.B., Audinet, P., 2010. Benefits of Electrification.

World Bank, 2017. Data on Statistical Capacity: SCI Dashboard [WWW Document]. URL <http://datatopics.worldbank.org/statisticalcapacity/SCIdashboard.aspx> (accessed 3.13.17).

World Bank, 2008. The Welfare Impact of Rural Electrification: A Reassessment of the Costs and Benefits. The World Bank.

Zhang, J., Smith, K.R., 2007. Household air pollution from coal and biomass fuels in China: measurements, health impacts, and interventions. *Environmental Health Perspectives* 848–855.

Haïti fait face à des défis de développement économique et social parmi les plus importants au monde. Malgré un afflux d'aide à la suite du tremblement de terre de 2010, la croissance et le progrès continuent d'être minimums, au mieux. Avec autant d'acteurs et un large éventail de défis allant de la sécurité alimentaire et de l'accès à l'eau potable à la santé, l'éducation, la dégradation de l'environnement et les infrastructures, quelles devraient être les premières priorités pour les décideurs, les donateurs internationaux, les ONG et les entreprises ? Avec un temps et des ressources limités, il est crucial que l'attention soit régie par ce qui fera le plus grand bien pour chaque gourde dépensée. Le projet Haïti Priorise travaillera avec les parties prenantes partout dans le pays pour trouver, analyser, classer et diffuser les meilleures solutions pour le pays. Nous impliquons les Haïtiens de toutes les parties de la société, par le biais des lecteurs de journaux, ainsi que des ONG, des décideurs, des experts de secteurs et des entreprises afin de proposer les meilleures solutions. Nous avons nommé quelques-uns des meilleurs économistes d'Haïti et du monde pour calculer les coûts et les avantages de ces propositions au niveau social, environnemental et économique. Cette recherche aidera à établir des priorités pour le pays grâce à une conversation à l'échelle nationale sur ce que sont les solutions intelligentes - et moins intelligentes - pour l'avenir d'Haïti.



Haïti Priorise

Un plan de **développement** alternatif

Pour plus d'informations visitez www.HaitiPriorise.com

C O P E N H A G E N C O N S E N S U S C E N T E R

Copenhagen Consensus Center est un groupe de réflexion qui étudie et publie les meilleures politiques et opportunités d'investissement basées sur le bien de la société (mesurées en dollars, mais en intégrant également par exemple : la protection de l'environnement, la santé et le bien-être) pour chaque dollar dépensé. Copenhagen Consensus a été conçu pour répondre à un sujet fondamental, mais négligé dans le développement international : dans un monde qui a une courte durée d'attention et des budgets limités, nous devons trouver des moyens efficaces pour faire le plus de bien au plus grand nombre. Copenhagen Consensus fonctionne avec plus de 300 des plus grands économistes au monde, y compris 7 lauréats du prix Nobel pour donner la priorité aux solutions des plus grands problèmes mondiaux, sur la base de l'analyse de données et du rapport coût-avantage.