



HAL
open science

Determinants of investments for renewable energy within the framework of public policies for the energy transition

Margaux Escoffier

► **To cite this version:**

Margaux Escoffier. Determinants of investments for renewable energy within the framework of public policies for the energy transition. Economics and Finance. Université de Nanterre - Paris X, 2021. English. NNT: 2021PA100068 . tel-03508355

HAL Id: tel-03508355

<https://theses.hal.science/tel-03508355>

Submitted on 3 Jan 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Membre de l'université Paris Lumières

Margaux ESCOFFIER

Les déterminants des investissements dans les énergies renouvelables dans le cadre des politiques publiques de transition énergétique

Thèse présentée et soutenue publiquement le 17/06/2021
en vue de l'obtention du doctorat de Sciences Économiques de l'Université Paris
Nanterre

sous la direction de Mme Valérie Mignon (Université Paris Nanterre)
et de M. Emmanuel Hache (IFP Énergies nouvelles)

Jury :

Membre du jury :	M. Olivier Damette	Professeur, Université de Lorraine
Promoteur IFPEN :	M. Emmanuel Hache	Chercheur, IFP Énergies nouvelles
Membre du jury :	M. Benoît Leguet	Directeur général d'I4CE - <i>Institute for Climate Economics</i>
Directrice de thèse :	Mme Valérie Mignon	Professeur, Université Paris Nanterre
Rapporteur :	M. Philippe Quirion	Directeur de recherche, CIRED
Rapporteur :	M. Benoît Sévi	Professeur, Université de Nantes

Remerciements

Mes premiers remerciements s'adressent à mes deux encadrants de thèse, Valérie Mignon (Université Paris Nanterre, ma directrice de thèse) et Emmanuel Hache (IFP Énergies nouvelles). Je les remercie très sincèrement pour leur encadrement, leurs encouragements, leurs nombreux conseils et pour leur très grande disponibilité tout au long de ma thèse. Le bon déroulement de cette thèse leur doit beaucoup. Un grand merci également pour la confiance qu'ils m'ont accordée et qui m'a été très précieuse. Un immense merci à vous deux !

Mes remerciements s'adressent également à M. Quirion et M. Sévi d'avoir accepté de rapporter ma thèse et également à M. Sévi pour ses conseils lors de mon déplacement à l'université de Nantes dans le cadre de mon chapitre 2. Je remercie également M. Leguet d'avoir accepté d'être examinateur de cette thèse. Enfin, je remercie M. Damette pour avoir accepté de présider le jury de ma thèse.

Cette thèse doit également beaucoup à mes co-auteurs, Anthony Paris et Benoît Chèze. Je remercie Anthony pour son implication dans mon chapitre 1, pour son soutien et ses conseils tout au long de ma thèse. Je remercie également Benoît pour sa grande disponibilité, sa bienveillance et sa précieuse aide dans le cadre de mon chapitre 3 et, plus généralement, pour ses conseils depuis mon arrivée à IFPEN.

Le bon déroulement de cette thèse doit également beaucoup aux membres (et ex-membres) du bureau P 311 à IFPEN : Arthur, Clément, Antoine et Alexandre. Merci beaucoup pour votre

bonne humeur et votre soutien qui m'ont accompagnée tout au long de cette thèse et bien plus encore. Je tiens à remercier particulièrement Arthur pour son aide qui m'a été très précieuse durant mes années de thèse et pour avoir toujours été à l'écoute de mes problèmes. Mes remerciements s'adressent également aux membres de la direction R14 pour leurs conseils et encouragements, en particulier lors de mes présentations en séminaires.

Je remercie aussi très chaleureusement tous les membres du laboratoire EconomiX et en particulier tous les membres du bureau 601 pour leur bonne humeur, leur gentillesse et leur humour. Nombreux sont ceux que je connais depuis la licence ou le master et qui ont toujours été disponibles pour m'aider durant ces années d'études et de recherche (Axel, Charles, Chouaib, Florian, Joseph, Julien, Pierre et Rémi). Un très grand merci pour tout ! Rencontrées en deuxième année de thèse, je remercie également Capucine et Mathilde. Merci beaucoup à vous deux pour votre très bonne humeur et en particulier à Capucine pour son soutien lors des TDs de macroéconomie. Je tenais à remercier tout particulièrement Charles et Florian qui m'ont beaucoup aidée et soutenue durant ma thèse (et le M2 !) et à qui je dois beaucoup !

Je remercie très sincèrement ma famille et mes amis pour leurs encouragements et pour leur soutien qui m'ont accompagnée durant toutes mes études.

Enfin, je remercie Hamza Bennani, Christophe Boucher, Cécile Couharde, Patrick Criqui, Jérôme Deyris, Albert Banal Estanol, François Faure, Marc Gronwald, Amy Jaffe, Nadia Maïzi, Ron Ripple et Mine Yucel pour leurs commentaires qui ont contribué à l'amélioration de mes chapitres de thèse.



“La confiance est un élément majeur : sans elle, aucun projet n’aboutit.”

Éric Tabarly

Table des Matières

Introduction générale	1
1 Determinants of solar photovoltaic deployment in the electricity mix: Do oil prices really matter?	34
1.1 Introduction	35
1.2 Methodology and data	41
1.2.1 The PSTR model	41
1.2.2 Explanatory and dependent variables	42
1.2.3 Time period and sample of countries	46
1.3 Empirical results	47
1.3.1 Whole sample of countries	47
1.3.2 Robustness checks	53
1.4 Conclusion and policy implications	56
Appendices	59
Appendix 1.A Data appendix	59
Appendix 1.B List of variables	60
Appendix 1.C Robustness checks	62

2	How financial markets react to Total’s strategy of becoming a responsible energy major?	65
2.1	Introduction	66
2.2	Background and literature review	72
2.2.1	Background of the climate strategy of oil and gas companies	73
2.2.2	Background of the link between social responsibility and financial performance	78
2.2.3	Empirical evidence of the relationship between environmental and financial performance	81
2.3	Sample and data description	85
2.4	Methodology	88
2.5	Results and discussion	93
2.5.1	Market reaction to Total’s upstream oil and gas strategy	93
2.5.2	Market reaction to Total’s climate strategy	97
2.6	Conclusion	100
3	Can crowdfunding accelerate the energy transition in France?	104
3.1	Introduction	105
3.2	Literature review	108
3.3	The choice experiment	112
3.3.1	Choice of attributes and their levels	113
3.3.2	Experimental design	115
3.3.3	The survey	116
3.4	The Discrete Choice Experiment (DCE) approach and the different econometric models	117
3.4.1	Theoretical foundations of the DCE approach	117

3.4.2	Econometric models	120
3.5	Accounting for respondents' heterogeneous preferences: estimation results	125
3.5.1	The RPL specifications	125
3.5.2	Two latent class model	133
3.6	Conclusion and policy implications	136
Appendices		138
Appendix 3.A	Survey	138
Appendix 3.B	Choice cards	154
Appendix 3.C	Additional results	166
Conclusion générale		169
Bibliographie générale		177
Liste des tableaux		203
Liste des figures		204

Introduction générale

La lutte contre le changement climatique constitue un défi d'envergure internationale et dont l'importance s'est tout particulièrement concrétisée lors de l'Accord de Paris du 12 décembre 2015. Bien que ce dernier représente le premier accord universel sur le climat, la coopération internationale pour l'environnement a vu le jour en 1972 à Stockholm, lors de la Conférence des Nations Unies établissant les premières bases du Programme des Nations Unies sur l'Environnement (PNUE). L'existence d'un réchauffement climatique induit par l'activité humaine n'a toutefois été reconnue qu'en 1992 lors du Sommet de la Terre de Rio de Janeiro à travers la Convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique (CCNUCC) à l'initiative des *Conference of Parties* (COP), une association de pays ayant ratifié la CCNUCC et permettant de prendre des décisions au niveau international afin de préserver l'environnement. La première COP s'est déroulée en 1995 en Allemagne, mais c'est en 1997, au Japon (COP 3), qu'un premier accord international a vu le jour à travers la signature du Protocole de Kyoto ayant pour objectif de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) d'au moins 5 % par rapport aux niveaux de 1990. Il est entré en vigueur le 16 février 2005 et seulement 37 pays industrialisés – à l'exception des États-Unis – se sont réellement engagés à suivre cet objectif. Bien qu'ambitieux, le Protocole de Kyoto ne prévoit pas de mesures juridiquement contraignantes, contrairement à l'objectif initial de la COP 21. Approuvé par 196 délégations dont l'Union européenne lors de la COP 21 en 2015, l'Accord

de Paris est officiellement entré en vigueur le 4 novembre 2016. Cet accord ne constitue pas un texte contraignant juridiquement dans le sens où les engagements en termes de lutte contre le réchauffement climatique sont fixés librement par chaque pays. Il doit être exécuté « de bonne foi » par les différents membres, comme cela est stipulé par la Convention de Vienne sur le droit des traités (1969). Cependant, chaque partie a l'obligation de se fixer des objectifs à respecter. Cet accord, qui reprend les objectifs établis lors de la Conférence de Copenhague (COP 15), vise ainsi à réduire les émissions de GES en maintenant le réchauffement planétaire bien en-deçà de 2 degrés Celsius (2°C) et en intensifiant les efforts afin de le limiter à 1,5°C. Selon les estimations du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) en 2018, l'activité humaine aurait déjà provoqué un réchauffement planétaire d'environ 1°C au-dessus des niveaux préindustriels. Ainsi, limiter l'augmentation généralisée des températures par rapport aux niveaux qui prévalaient durant la période préindustrielle (1850) permettrait de contenir les risques liés au changement climatique pouvant affecter durablement les différents écosystèmes de notre planète.

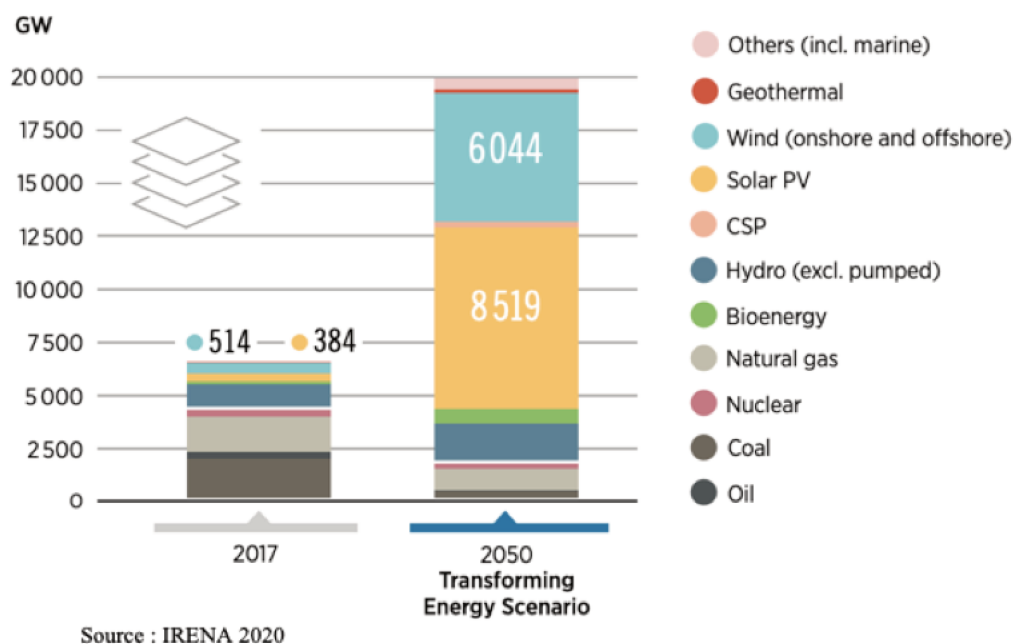
Plusieurs propositions ont ainsi été formulées par le GIEC afin de limiter l'augmentation des températures en-deçà de 1,5°C. Elles consistent notamment à réduire la consommation d'énergie *via* des changements de comportement et de mode de vie, à utiliser l'énergie nécessaire de manière plus efficace, ou encore à faire évoluer le mix électrique mondial avec l'augmentation des capacités en énergies renouvelables. Tasneem Essop, cheffe de la délégation WWF (*World Wide Fund for Nature*) pour la COP 21, précisait que « Grâce à l'accord de Paris, nous avons franchi une étape importante mais ce n'est pas suffisant. Nous devons, à présent, travailler au renforcement des ambitions nationales amorcées par cet accord » (WWF, 12/12/2015). Comme précisé par le Rapport spécial sur les sources d'énergies renouvelables et l'atténuation des effets des changements

climatiques rédigé par le Groupe de travail III du GIEC (2011), le renforcement de ces ambitions nationales doit notamment passer par une évolution des mix électriques nationaux avec le déploiement d'énergies renouvelables. Outre leur contribution à réduire les émissions de GES, celles-ci peuvent aussi jouer un rôle en matière d'équilibre de la balance commerciale car elles permettent de réduire les importations d'énergies fossiles. Ce double dividende (Criqui et Mima, 2012) peut également s'accompagner d'un développement économique et social local, les énergies renouvelables générant des externalités positives sur les territoires. Elles constituent de plus une source d'énergie inépuisable bien qu'il soit nécessaire de remédier au problème d'intermittence qui leur est inhérent (pour les énergies renouvelables variables telles que l'éolien ou le solaire photovoltaïque) *via* le recours à d'autres sources d'énergie, comme le gaz notamment, ou à l'aide de technologies de stockage. Un rapport de 2019 de l'Agence internationale pour les énergies renouvelables (IRENA) précise qu'en prenant en compte les politiques publiques actuelles et celles qui entreront en vigueur prochainement, les capacités en énergies renouvelables pourraient représenter deux tiers de la demande mondiale d'énergie (57 % d'ici 2030). À elles seules, les énergies renouvelables pourraient atteindre 30 % de la consommation totale d'électricité d'ici 2030, contre 20 % en 2019. À horizon 2050, elles pourraient représenter 86 % de la génération totale d'électricité parmi lesquelles le solaire et l'éolien atteindraient respectivement 8 519 GW et 6 044 GW, soit environ les deux tiers des capacités mondiales totales (IRENA 2020a) . Cette tendance serait notamment guidée par une réduction significative des coûts. Concernant le solaire photovoltaïque, la production d'1 MWh représente, selon ce même rapport, un coût de 52 dollars en 2019 (34-40 dollars d'ici 2030 selon les projections de l'IRENA), contre 371 dollars en 2010. En 2019, 1 MWh d'électricité produit à partir d'énergie éolienne coûtait 47 dollars, contre 84 dollars en 2010 et pourrait atteindre entre 30 et 40 dollars d'ici 2030. Selon l'IRENA (2020)¹, les énergies renouvelables couplées à l'efficacité

¹Sous réserve que les investissements augmentent de 37 000 millions de dollars d'ici à 2050 dans l'efficacité énergétique, les énergies

énergétique pourraient assurer un futur énergétique durable. Pour atteindre cet objectif², les investissements dans les énergies renouvelables doivent doubler d'ici 2030 afin qu'ils puissent atteindre 737 milliards de dollars par an (contre en moyenne 300 milliards de dollars investis par an au cours des dernières années) (**Figure 1**). Ainsi, 86 % de la puissance électrique totale devra provenir des énergies renouvelables à horizon 2050 contre 25 % en 2017.

Figure 1: Capacités installées en énergies renouvelables et estimation de leur évolution

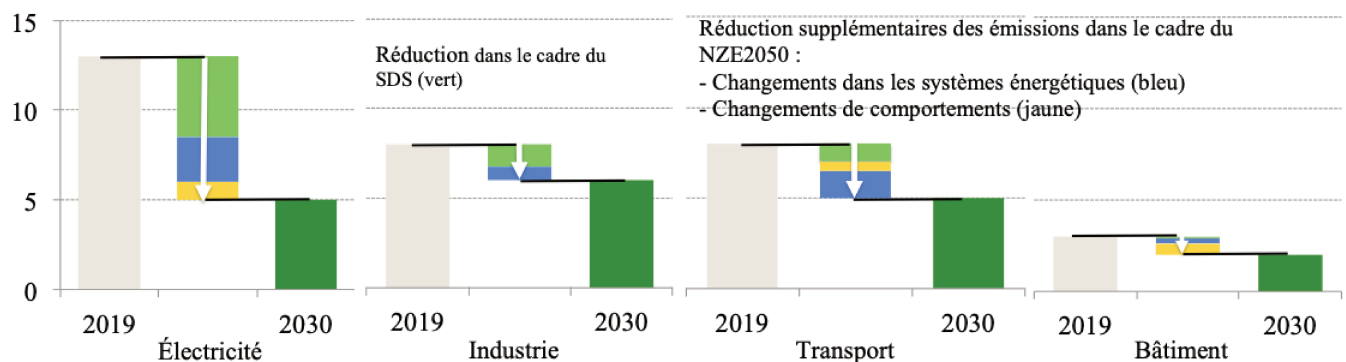


Le Fonds monétaire international (FMI) dans son *World Economic Outlook* (WEO) de 2020 estime aujourd'hui qu'environ 70 pays se sont engagés à prendre les mesures nécessaires pour atteindre l'objectif de neutralité carbone d'ici 2050. Pour cela, le scénario de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) (*Net Zero Emissions by 2050*, NZE2050) prévoit que les émissions de CO₂ doivent diminuer de 45 % entre 2010 et 2030 (**Figure 2**), ce qui signifie une réduction encore renouvelables (22 500 milliards de dollars) et les réseaux électriques principalement (13 000 millions de dollars). Source : IRENA Global Renewables Outlook, 2020.

²Dans le cadre du scénario « *RE map* » de l'IRENA (2020) qui inclut le déploiement d'énergies bas carbone, en particulier les énergies renouvelables, permettant d'assurer la transformation du système énergétique mondial afin de limiter l'augmentation des températures bien en-deçà de 2°C.

plus importante des émissions de CO₂ (de l'ordre de 6,6 Gt) comparativement à son *Sustainable Development Scenario*³ (SDS). Les émissions de CO₂ du secteur de l'énergie devraient diminuer d'environ 60 % dans le scénario NZE2050 entre 2019 et 2030 et la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité devrait passer de 27 % en 2019 à 60 % en 2030. Cela nécessiterait ainsi de tripler les investissements dans le secteur de la production d'électricité de 760 milliards de dollars en 2019 à 2 200 milliards de dollars en 2030 et dont le tiers serait dédié à l'expansion, la modernisation et la digitalisation des réseaux électriques. En particulier, les capacités additionnelles annuelles en solaire photovoltaïque dans le scénario NZE2050 devront passer de 110 GW en 2019 à 500 GW en 2030. Ainsi, pour atteindre la neutralité carbone d'ici à 2050, les efforts en termes de réduction des émissions de CO₂ devront être significativement renforcés comparativement au scénario SDS. Selon l'AIE, cela nécessitera « un changement radical concernant l'ambition et l'action des décideurs politiques, des industries et des marchés financiers, soutenu par une étroite collaboration internationale et transfrontalière ».

Figure 2: Réduction des émissions de CO₂ dans le cadre du *Sustainable Development Scenario* et *Net Zero Emission 2050* case de l'AIE



Source : IEA, *World Energy Outlook*, 2020

³Ce scénario trace une trajectoire alignée sur l'Accord de Paris et qui prévoit de limiter la hausse des températures mondiales « bien en deçà de 2°C et en poursuivant les efforts pour la limiter à 1,5°C » et répondre également aux objectifs liés à un accès universel à l'énergie tout en améliorant la qualité de l'air.

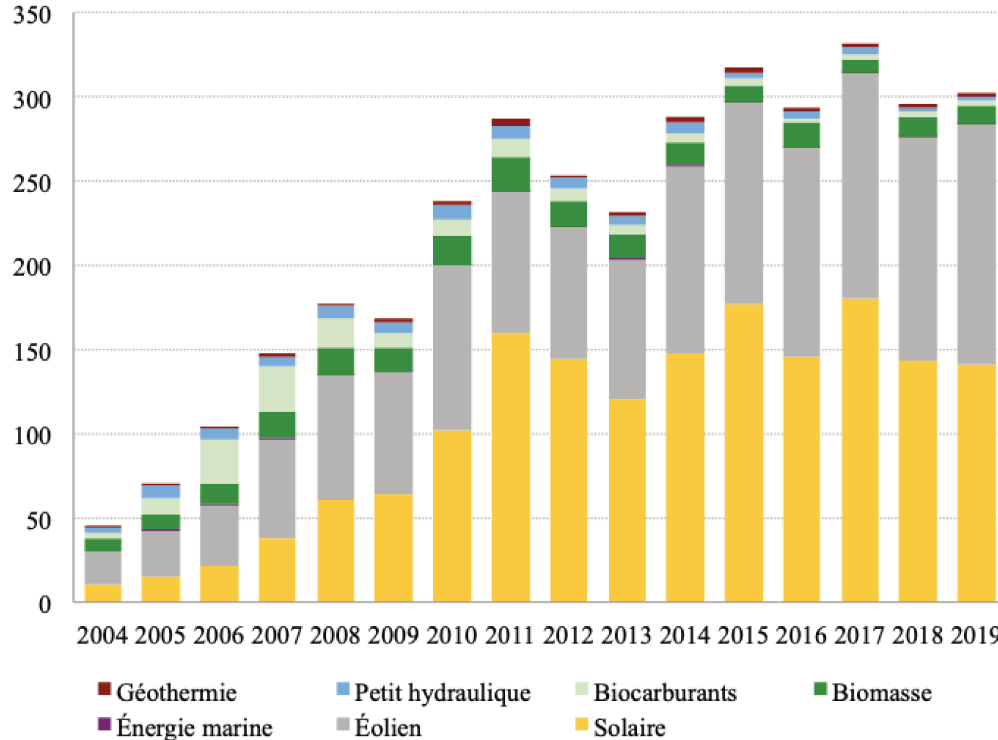
Cette thèse s'inscrit précisément dans ce contexte en se consacrant à la question du déploiement, de la valorisation par les marchés financiers et du financement des énergies renouvelables dans la perspective de la transition énergétique mondiale. Elle propose notamment d'étudier les principaux déterminants et les barrières aux financements des énergies renouvelables. Afin de pleinement saisir l'importance de cette problématique et d'apporter des réponses aux questions posées, commençons par décrire les tendances récentes observées en matière d'investissements dans les énergies renouvelables.

Selon Buchner et al. (2017), en 2015 et 2016, l'investissement (privé) dans les énergies renouvelables a excédé de 100 % celui dans les énergies fossiles pour la production d'électricité.⁴ Concernant l'investissement mondial dans les énergies renouvelables (**Figure 3**), celui-ci s'est également particulièrement accru entre 2012 et 2015, atteignant 330 milliards de dollars en 2015 avant de chuter de 20 % en 2016 (263 milliards de dollars). En 2019, l'investissement mondial dans les énergies renouvelables a de nouveau dépassé le seuil des 300 milliards de dollars. Afin de répondre aux objectifs en matière de lutte contre le changement climatique d'ici à 2050 et ainsi assurer la limitation de l'augmentation des températures en-dessous de 1,5°C, un total de 110 000 milliards de dollars seraient nécessaires selon le scénario « *RE map* »⁵ de l'IRENA incluant notamment 27 000 milliards dans les énergies renouvelables (24 %) et 37 000 milliards dans l'efficacité énergétique (35 %).

⁴Hors investissements d'extraction. L'investissement dans les énergies fossiles pour la production d'électricité s'élève à 118 milliards de dollars en 2018, dont 80 milliards de dollars pour les centrales électriques à charbon, 34 milliards de dollars pour les centrales électriques au gaz et 4 milliards de dollars pour les centrales au fioul. Toutefois, l'investissement total dans les énergies fossiles s'élève à 825 milliards de dollars en 2016 contre 383 milliards pour les énergies renouvelables.

⁵Le programme *RE map* de l'IRENA a pour but de déterminer le potentiel des pays, des régions et du monde à développer les énergies renouvelables. Le programme évalue le potentiel de développement des énergies renouvelables grâce à des analyses pays réalisées avec des experts pour chaque pays. Ces différents rapports sont ensuite agrégés afin d'obtenir une vision globale.

Figure 3: Répartition des investissements dans les énergies renouvelables par technologie (en milliards en dollars)

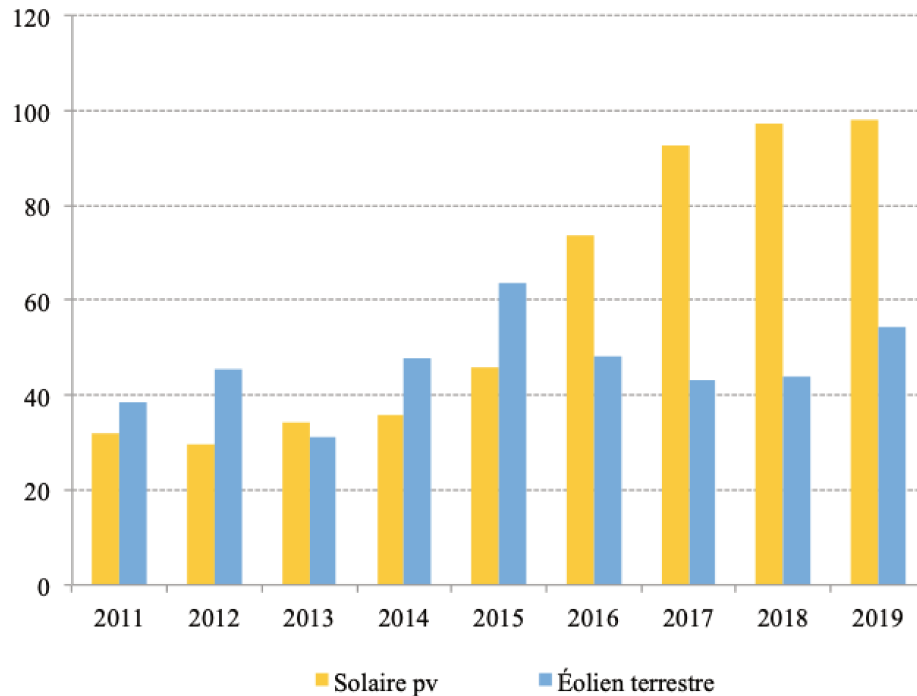


Source: Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF, 2020. *Global Trends in Renewable Energy Investment 2020*, <http://www.fs-unep-centre.org> (Frankfurt am Main)

Comme indiqué sur la **Figure 3**, en 2015, les investissements dans le solaire photovoltaïque et l'éolien s'élevaient à 296 milliards de dollars, représentant ainsi 94 % du montant total des investissements dans les énergies renouvelables. Après une baisse observée en 2016 (269 milliards de dollars), 2017 a connu un net regain de l'investissement de 17 % avant de diminuer à nouveau de 12 % en 2018. Toutefois, malgré une nette diminution des investissements en 2016, on observe sur la **Figure 4** que les capacités en solaire photovoltaïque n'ont cessé d'augmenter sur la période 2012-2019. Les investissements dans l'énergie solaire (prenant en compte à la fois l'énergie solaire photovoltaïque et thermique) ont atteint un pic à 181 milliards de dollars en 2017, avant de diminuer de 20 % en 2018 et de 2 % en 2019 pour atteindre 141 milliards de dollars. Les investissements dans l'éolien connaissent quant à eux une croissance positive depuis 2004 (malgré une

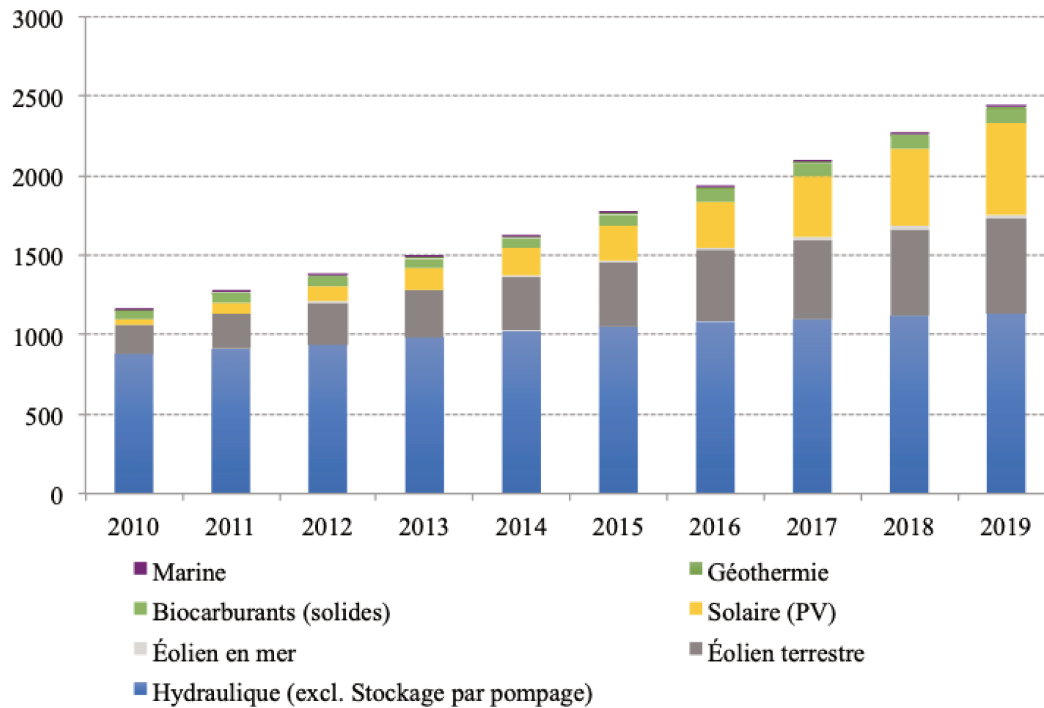
très légère baisse en 2018). En 2019, ces derniers ont connu une croissance de 7,5 % pour atteindre 143 milliards de dollars, l'éolien représentant ainsi la technologie la plus attractive en termes de flux financiers pour l'année 2019.

Figure 4: Nouvelles capacités ajoutées en solaire photovoltaïque et éolien terrestre (en GW)



Malgré une légère diminution du montant de l'investissement pour certaines technologies ces dernières années, les capacités en énergies renouvelables variables ont continué à croître de manière significative en raison d'une forte diminution des coûts (**Figure 5**). En 2019, les capacités additionnelles en énergies renouvelables (à l'exception des grandes installations hydroélectriques) s'élevaient à 184 GW (incluant 118 GW d'installations solaires et 61 GW d'installations éoliennes), soit 20 GW de plus qu'en 2018, soit encore 77,6 % du total des nouvelles capacités (toutes technologies confondues) en 2019.

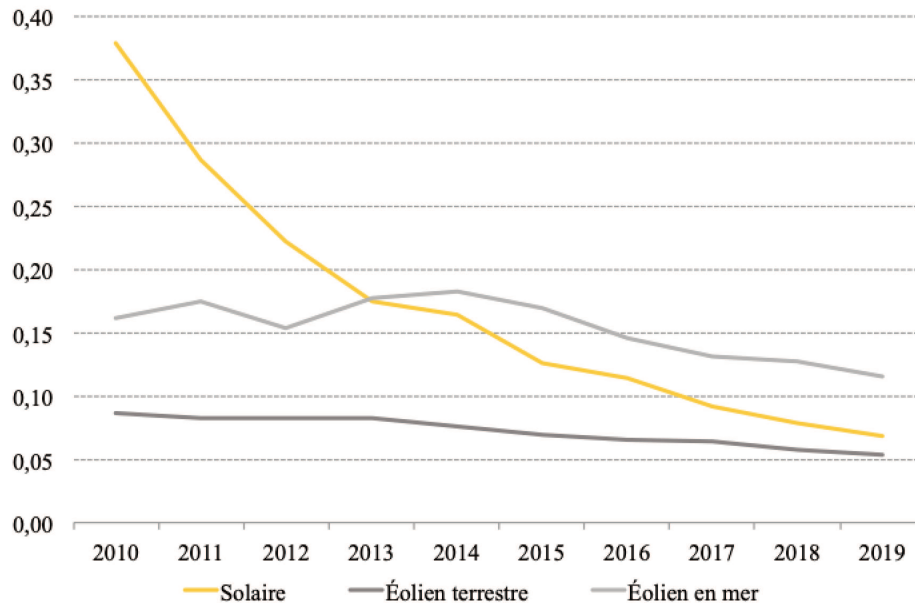
Figure 5: Total des capacités mondiales par technologie (GW)



Source : Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF. 2020. *Global Trends in Renewable Energy Investment 2020*, <http://www.fs-unep-centre.org> (Frankfurt am Main)

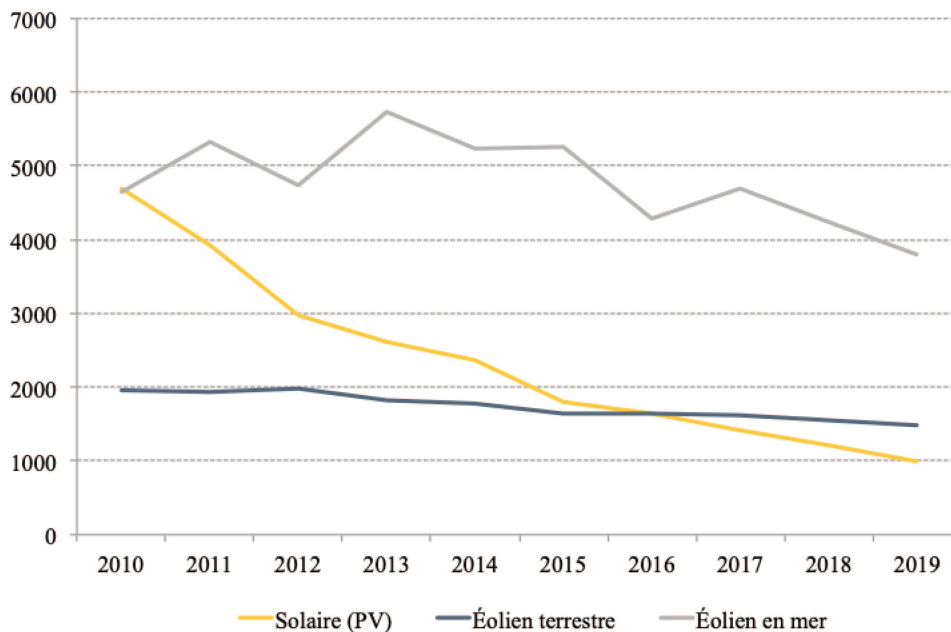
Entre 2015 et 2016, les coûts de l'énergie éolienne et solaire ont été réduits respectivement de 17 et 13 milliards de dollars, expliquant plus de la moitié de la contraction des investissements dans ces technologies. Plus précisément, la réduction des coûts actualisés de l'énergie (LCOE) solaire a été particulièrement significative entre 2010 et 2018 (IRENA 2019b), de l'ordre de 77 % en moyenne au niveau mondial (**Figure 6**). Concernant les coûts d'installation de l'éolien terrestre entre 2010 et 2019, ces derniers ont diminué de 24 %. S'agissant du photovoltaïque, cette baisse a été nettement plus importante, de l'ordre de 79 % (**Figure 7**).

Figure 6: Coûts actualisés de l'électricité (LCOE) pour le solaire photovoltaïque et l'éolien entre 2010 et 2019



Source : IRENA, *Renewable Power Generation Costs, 2019 & 2020*

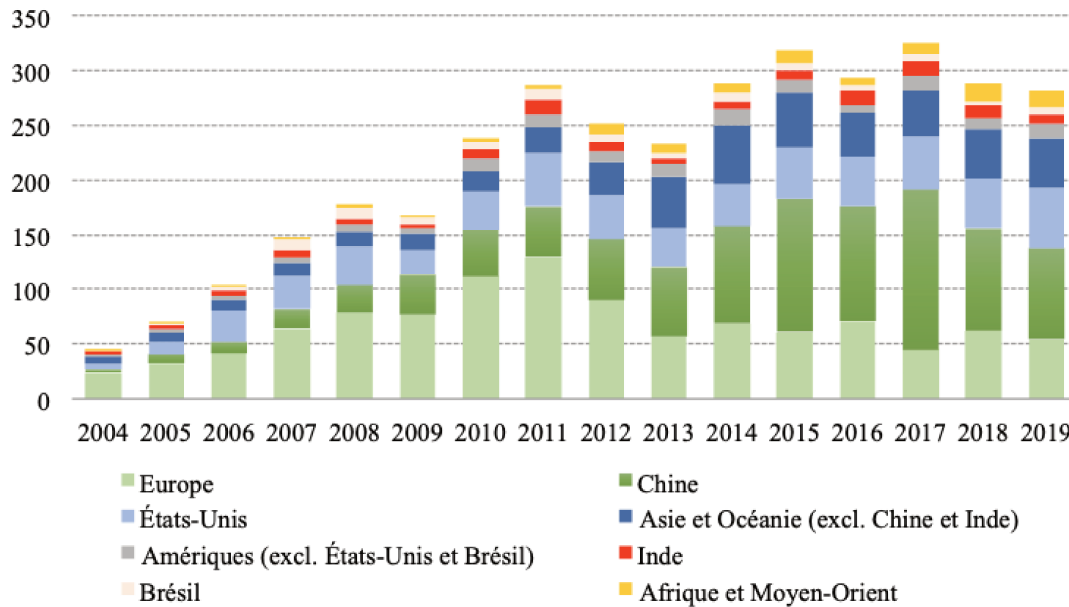
Figure 7: Coûts d'installation moyens globaux par technologie (USD/kWh)



Source : IRENA, *Renewable Power Generation Costs, 2019 & 2020*

Si l'investissement global dans les énergies renouvelables a connu une croissance moyenne importante au cours des vingt dernières années pour la plupart des technologies, une analyse géographique révèle une certaine hétérogénéité entre les différentes régions et entre les pays.

Figure 8: Répartition géographique des investissements dans les énergies renouvelables (en milliards de dollars)



Source: Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF. 2020. *Global Trends in Renewable Energy Investment 2020*, <http://www.fs-unep-centre.org> (Frankfurt am Main)

Sur la **Figure 8**, on observe que la plupart des investissements sont localisés en Asie et en particulier en Chine, ainsi qu'aux États-Unis et en Europe. En 2015, l'Asie et l'Océanie (hors Chine et Inde) accueillait 50,6 milliards de dollars, contre 46,2 milliards en 2013, avant de diminuer d'environ 21 % en 2016 pour atteindre 40,1 milliards. Ce déclin est principalement le fait du Japon où les investissements dans le solaire photovoltaïque ont été significativement réduits en raison d'une importante baisse des tarifs de rachat préférentiels⁶ (*feed-in tariffs*). La période 2017-2018 a cependant connu une légère croissance, de l'ordre de 6 % en moyenne (45,4 milliards

⁶Les politiques de tarifs de rachat préférentiels ou *feed-in tariffs* assurent aux développeurs de projets des tarifs fixes de rachat d'électricité produite à partir d'énergies renouvelables pour une durée déterminée (entre 15 et 20 ans en moyenne selon les contrats); voir *infra*.

de dollars en 2018), avant de s'établir à 45,1 milliards de dollars en 2019. Les investissements en Chine ont fortement augmenté, de 36 %, sur la période 2014-2015. En 2016, la tendance s'inverse et les investissements ont chuté de 15 %, avant de connaître un net regain en 2017, puis un fort déclin de 37 % en 2018, principalement du fait d'une réduction des politiques publiques de soutien aux énergies renouvelables et notamment des politiques de tarifs de rachat préférentiels. En 2019, les investissements connaissent à nouveau une légère baisse de 10 % pour s'établir à 83,4 milliards de dollars. Concernant l'Europe, celle-ci a vu ses investissements atteindre 61,3 milliards de dollars en 2015, contre 57 milliards en 2013. Toutefois, ces derniers ont augmenté de 16 % entre 2015 et 2016 pour atteindre 71,1 milliards de dollars avant de chuter en 2017 à 44,7 milliards. Les changements de politiques publiques de soutien au renouvelable au Royaume-Uni et en Allemagne sont principalement à l'origine de ce déclin. En 2018, les investissements dans les énergies renouvelables en Europe enregistraient à nouveau un regain, ces derniers s'élevant à 62,2 milliards, avant de connaître une nouvelle baisse de 12 % en 2019.

Au delà d'une réduction importante des coûts, cette diminution de l'investissement est également liée à une réduction du volume des capacités financées, notamment en Chine où les développeurs se sont empressés de finaliser leurs contrats pour bénéficier des subventions accordées par le biais des politiques de tarifs de rachat préférentiels d'électricité ou *feed-in tariff*. En effet, la Chine a réduit sa politique de tarifs de rachat en 2018 et de nombreux projets se sont concrétisés en 2015 afin de bénéficier de tarifs plus avantageux. Concernant l'énergie hydraulique,⁷ les investissements ont été réduits de 35 % entre 2013 et 2016, une tendance qui semble se poursuivre puisque ceux-ci ont encore baissé de 8 % entre 2018 et 2019. Cela est principalement lié à l'absence de construction d'installations de grande envergure, ainsi qu'à un potentiel de développement limité à l'exception de l'Afrique et de la Chine durant ces dernières années. Toutefois, d'importants projets ont été

⁷Petites et grandes installations hydroélectriques.

menés au Brésil entre 2013 et 2014 concernant les grandes installations hydroélectriques. Il est important de rappeler que ce type de technologie utilisé pour la production d'électricité dépend du potentiel hydraulique du pays. Une fois le potentiel exploité, cette technologie arrive rapidement à saturation, mais demeure une source fiable et rentable de production d'électricité. L'investissement dans la biomasse a connu une forte baisse en 2017 (7,4 milliards de dollars en 2017, contre 15,2 milliards en 2016). L'investissement dans la géothermie est quant à lui relativement stable sur la période 2010-2019, avec un montant annuel moyen de 2 milliards de dollars. Enfin, les biocarburants semblent attirer de moins en moins de flux financiers depuis 2010, pour atteindre 3 milliards de dollars en 2019, contre 10 milliards en 2010.

Malgré la crise liée à la pandémie de Covid-19, les énergies renouvelables sont la seule source de production d'électricité ayant connu une augmentation de leurs capacités en 2020, mettant en avant le potentiel de ces énergies pour les années à venir (IEA 2020c). Hale (2020) montre par ailleurs que les actifs du secteur des énergies renouvelables ont été beaucoup plus résilients que ceux du secteur des énergies fossiles. Toutefois, le nombre d'investissements dans le secteur des énergies renouvelables aurait chuté de 34 % au cours du premier semestre 2020 comparativement au premier semestre 2019 (IRENA 2020b). L'explication la plus fréquemment avancée serait une plus forte incertitude sur les marchés financiers, couplée à une volatilité accrue, qui auraient ainsi conduit les investisseurs à présenter une plus grande aversion au risque. Dans ce contexte d'incertitude, le développement de nouveaux projets pourrait être freiné à court terme, les développeurs de projets restant dans l'attente d'une stabilisation des marchés et d'une réduction des coûts de financement (IRENA 2020b, Technology 2020, Renewables Now 2020). Par ailleurs, l'importante réduction de la consommation d'électricité au premier trimestre 2020, de l'ordre de 20 %, a favorisé

la production d'électricité *via* les énergies renouvelables du fait de coûts opérationnels moins élevés. Dans un contexte où les investisseurs semblent ainsi revoir la stratégie de leurs portefeuilles d'actifs en faveur de la transition énergétique, l'IRENA (2020b) s'attend à ce que l'année 2021 connaisse un net regain de l'investissement dans les énergies renouvelables. En particulier, le rapport⁸ envisage qu'à horizon 2023, ces investissements pourraient atteindre environ 2 000 milliards de dollars par an, puis 4 500 milliards de dollars par an jusqu'en 2030.

86 % des investissements dans les énergies renouvelables sont issus de financements privés sur la période 2013-2018 (257 milliards de dollars par an en moyenne) dont la moitié provient, en moyenne sur la période, des développeurs de projets. Toutefois, si le secteur public semble financer uniquement les 14 % restants, il favorise dans une large mesure les investissements avec des politiques publiques de soutien au développement des énergies renouvelables. En 2015, le gouvernement japonais a par exemple mobilisé 6 milliards de dollars de fonds publics pour le soutien aux renouvelables, alors que le financement privé ne représentait que 450 millions de dollars. Cette même année, 50 % de l'électricité produite en Europe de l'Ouest était soutenue par des politiques publiques mobilisant environ 66 milliards de dollars de fonds publics (CEER 2018) et 44 % de ces fonds ont été alloués au soutien du solaire photovoltaïque suivi par l'éolien terrestre (23 %). Le nombre de pays faisant appel à ce type de politiques a d'ailleurs triplé entre 2014 et 2016, passant de 48 à 147.

Différentes politiques publiques de soutien aux énergies renouvelables existent telles que les tarifs de rachat préférentiels (*feed-in tariffs*), les primes de rachat (*feed-in premiums*), les certificats verts (*green certificates*) ainsi que les systèmes d'enchères plus récemment. Les tarifs de rachat

⁸Ce rapport a été publié en décembre 2020.

consistent en des tarifs de rachats préférentiels d'électricité produite à partir d'énergies renouvelables. Ces tarifs sont subventionnés par l'État et sont fixés par un contrat durant une période fixe (entre 15 et 25 ans en moyenne selon les pays). Ce type de politique publique assure ainsi aux développeurs privés des tarifs de rachat de leur électricité à des niveaux supérieurs à ceux qui prévalent sur le marché (marché *spot* de l'électricité), favorisant *de facto* l'investissement. Ce type de politique de soutien a été particulièrement attractif sur la période 2010-2015 du fait de l'appétence des investisseurs pour des tarifs fixes synonymes de rendements stables ainsi que les niveaux relativement élevés appliqués comparativement aux prix observés sur les marchés. Le développement du solaire photovoltaïque et de l'éolien terrestre repose par ailleurs largement sur cette politique de soutien (IRENA 2019a) qui s'est avérée efficace (Mitchel et Connor, 2004 ; Romano et al., 2017 ; Butler et Neuhoff, 2008 ; Bürer et Wüstenhagen, 2009). Les primes de rachat (*feed-in premiums*) divergent des tarifs de rachat (*feed-in tariffs*) dans le sens où elles ne constituent pas des tarifs fixes. Les primes de rachat d'électricité correspondent au prix du marché plus une prime. Par conséquent, ce type de politique de soutien peut s'avérer plus risqué pour les investisseurs puisqu'il est tributaire du niveau de prix *spot* observé sur les marchés et qui est donc variable dans le temps. Enfin, les certificats verts (*green certificates*) sont une sorte de label attribué aux sources d'électricité d'origine verte. À la différence des tarifs de rachat, les certificats verts ne s'appuient pas sur le soutien par les prix, mais favorisent la production d'énergies renouvelables en fixant des objectifs quantitatifs (Caisse des Dépôts, note n°16, décembre 2008). Ainsi, les fournisseurs (ou producteurs d'électricité selon la réglementation) doivent acheter des certificats verts aux producteurs pour assurer qu'une certaine part d'électricité dans leur offre est produite à partir d'énergies renouvelables. Si les tarifs de rachat ont connu un certain succès auprès des investisseurs, et ont notamment été à l'origine du développement important des énergies renouvelables dans de nom-

breux pays⁹ les systèmes d'enchères semblent prendre la relève depuis 2015. L'attractivité des tarifs de rachat a largement diminué depuis 2015, (i) en raison d'importantes réductions de coûts liées à la génération d'électricité, (ii) mais aussi parce que les énergies renouvelables sont devenues des technologies beaucoup plus matures – ce type de politique de soutien étant recommandé dans le cas de technologies encore peu matures – et (iii) du fait des réductions budgétaires dans de nombreux États favorisant ces pratiques. Les énergies renouvelables ayant vu leurs coûts significativement diminué et étant devenues des technologies matures (solaire et éolien terrestre), le montant des tarifs de rachat est devenu de plus en plus faible jusqu'à atteindre dans certains pays la quasi parité avec le prix de marché. Ainsi, le nombre de pays faisant appel au système d'enchères a été multiplié par dix, passant de 6 en 2005 à 60 en 2015. Une raison possible au développement rapide des systèmes d'enchères concerne le fait que ces derniers ne requièrent pas de cadre réglementaire et/ou institutionnel spécifique (*Renewable Energy Policy in a Time of Transition* 2016). Toutefois, l'engouement pour les systèmes d'enchères semble s'appuyer davantage sur leur potentiel de réduction des prix, de part leur caractère concurrentiel, comparativement à d'autres politiques de soutien.

La littérature économique s'intéresse depuis quelques années à la question du déploiement des énergies renouvelables dans les mix électriques nationaux. Si l'article précurseur de Painuly (2001*a*) étudie les grands champs d'études possibles – rentabilité des investissements, barrières techniques, ainsi que les principales imperfections de marché (obstacles institutionnels, politiques et réglementaires) – plus rares sont les travaux focalisant sur les questions liées au financement et sur la place des acteurs (États, Banques commerciales, citoyens) dans les dynamiques de déploiement des énergies renouvelables. L'État a par exemple joué un rôle central à travers la mise en place de politiques

⁹En 2017, l'IRENA comptabilisait plus de 80 pays ayant adapté ce système de soutien aux énergies renouvelables.

d'encouragement pour les énergies renouvelables qui permettent de dépasser certaines de ces barrières (Grandjean et Martini, 2016). Un rapport de l'IRENA (2017) mentionnait différents types de mesures de design des marchés pouvant être prises en compte pour stimuler le développement des énergies renouvelables (modification de la régulation sur le marché électrique, introduction de tarifs de rachat ou de quotas), mais également sur les mesures fiscales ou de soutien aux investissements. Dans la littérature, certains auteurs se sont par ailleurs intéressés à la relation entre consommation d'énergies renouvelables et croissance économique. Sadorsky (2009) analyse ainsi les facteurs influençant la consommation d'énergies renouvelables dans des pays caractérisés par différents niveaux de développement et met en exergue l'impact significatif du revenu par habitant sur la consommation d'énergies renouvelables. Aspergis et Payne (2010) concluent de leur côté à un lien de causalité bidirectionnel entre la consommation d'énergies renouvelables et la croissance économique. Salim et Rafiq (2012) et Rafiq et al. (2014) montrent que la consommation d'énergies renouvelables est déterminée par le revenu et les émissions de CO_2 pour certains pays émergents. Enfin, Omri et Nguyen (2014) considèrent un panel de 64 pays répartis selon leur niveau de revenu pour la période 1990-2011 et montrent que les émissions de CO_2 , le prix du pétrole, l'ouverture commerciale et le revenu par habitant ont un impact significatif sur les consommations d'énergies renouvelables. Dès lors, ces éléments nous invitent à introduire de nouveaux facteurs permettant d'expliquer l'hétérogénéité du développement des énergies renouvelables : politiques publiques, dotations factorielles, technologies de génération d'électricité développées.

La littérature met ainsi en évidence différents facteurs permettant d'expliquer le développement des énergies renouvelables. Ces facteurs peuvent être répartis en trois classes : i) les facteurs économiques, ii) les déterminants énergétiques et environnementaux et iii) les facteurs politiques.

Plusieurs études économétriques se sont intéressées aux déterminants des investissements dans les énergies renouvelables. La plupart de ces travaux¹⁰ tiennent compte de l'impact du PIB, des émissions de CO_2 , des prix de l'énergie, ainsi que de la consommation ou la dépendance énergétique (Sadorsky, 2009 ; Marques et al., 2010 ; Marques et Fuinhas, 2011 ; Aguirre et Ibikunle, 2014 ; Romano et Scandurra, 2016b) comme déterminants potentiels des investissements dans les énergies renouvelables. Toutefois, si la majeure partie des études font appel à des déterminants similaires, les résultats obtenus peuvent diverger quant à la significativité et à l'impact de certains facteurs. Par exemple, Sadorsky (2009) montre que les émissions de CO_2 ont un impact significatif et positif sur les investissements (plus les émissions augmentent, plus les investissements sont élevés) alors que Marques et al. (2010) et Marques et Fuinhas (2011) obtiennent un impact significatif et négatif de cette variable. Concernant le PIB (par tête), il apparaît comme significatif et positif pour Sadorsky (2009) et Marques et al. (2010), mais non significatif dans Aguirre et Ibikunle (2014). Chang et al. (2009) se sont par ailleurs intéressés aux effets d'interaction entre le développement d'énergies renouvelables et la croissance économique. Ils soulignent que l'impact des prix de l'énergie sur le développement des énergies renouvelables dépend du niveau de croissance du PIB. Seuls les pays enregistrant des niveaux de croissance économique élevés répondent à une augmentation des prix de l'énergie en déployant des technologies utilisant des sources renouvelables. Les variables macroéconomiques et la dynamique des prix du brut semblent ainsi interconnectées,¹¹ et les conditions observées sur le marché du pétrole pourraient déclencher (ou non) des effets de contagion sur le déploiement des énergies renouvelables. Plus précisément, on peut s'attendre à ce que le déploiement des énergies renouvelables variables, comme le solaire ou l'éolien, dépende de l'évolution des prix du pétrole. En effet, le développement de ces énergies renouvelables a plus de

¹⁰Parmi lesquels nous pouvons citer entre autres : Eyraud et al. (2011), Eyraud et al. (2013), Bird et al. (2005), Delmas and Montes-Sancho (2011), Papiez et al. (2018)

¹¹Brown et Yücel (2002) et Hamilton (2005).

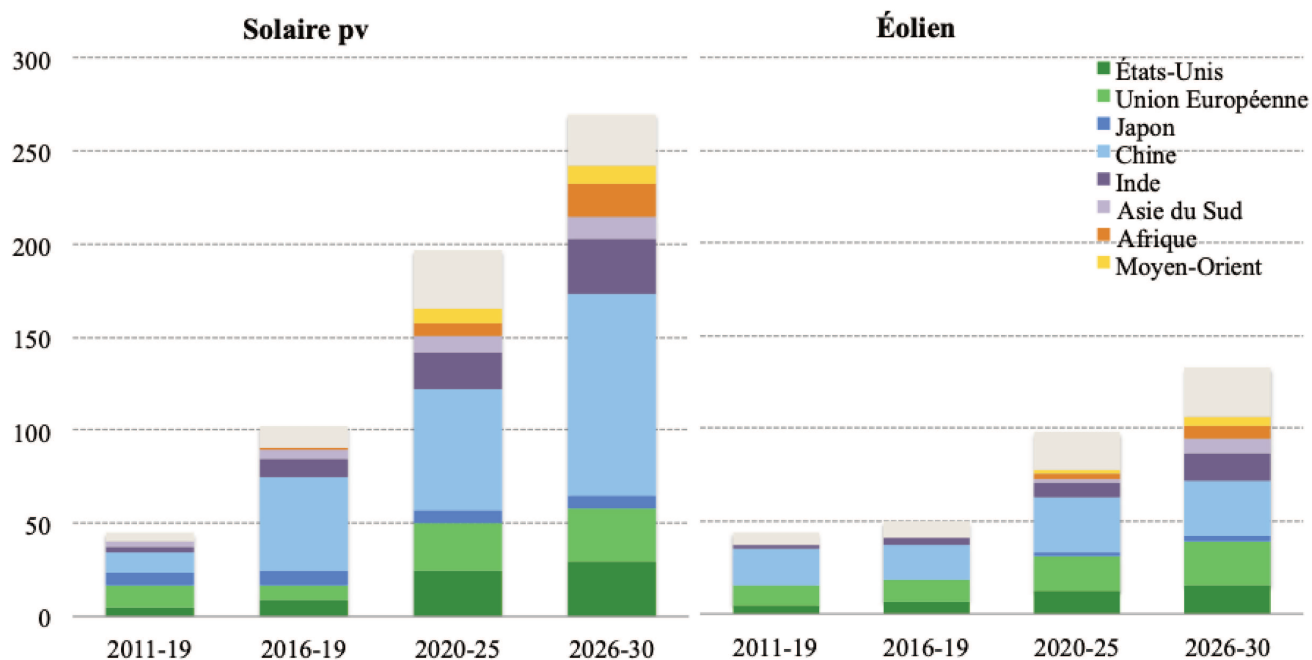
chances d'être stimulé lorsque les prix du pétrole augmentent - ce qui accroît l'attrait des sources d'énergies alternatives plus abordables - que lorsqu'ils diminuent.

Notre thèse contribue à cette littérature sur les énergies renouvelables en visant à identifier les déterminants de leur déploiement, à apprécier leur valorisation par les marchés financiers et à étudier leur financement. À cette fin, elle s'organise autour de trois chapitres.

Le **Chapitre 1** s'intéresse aux **déterminants du déploiement du solaire photovoltaïque** sur un panel de 39 pays¹² en accordant une attention particulière à leurs interactions potentielles avec les prix du pétrole. Il ambitionne ainsi de répondre à la question fondamentale du rôle joué par les prix du pétrole sur les marchés de l'énergie : les prix du pétrole ont-ils une influence sur le développement du photovoltaïque ? Si tel est le cas, dans quelle mesure impactent-ils ses déterminants ? Nous nous focalisons sur le solaire photovoltaïque car (i) peu d'études se sont intéressées à cette technologie séparément des autres sur un panel de pays donné et (ii) il constitue l'une des sources d'énergie renouvelable les plus attrayantes depuis une dizaine d'années et demeure la seule technologie renouvelable ayant vu ses investissements croître en 2017 (**Figure 3**). Par ailleurs, cet engouement pour le solaire photovoltaïque semble également se confirmer pour les années suivantes et à venir selon le scénario de l'AIE (*Sustainable Development Scenario*, SDS) qui estime que les capacités de cette technologie devraient encore doubler d'ici 2025 et continuer ainsi à augmenter jusqu'en 2030 (**Figure 9**). Cette trajectoire semble d'autant plus confirmée lorsque l'on s'intéresse au scénario de neutralité carbone à horizon 2050 de l'AIE, (*Net Zero Emission by 2050 scenario*, NZE2050) plus ambitieux que le SDS et qui considère le solaire photovoltaïque comme une technologie clé pour répondre aux objectifs de neutralité carbone (**Figure 10**).

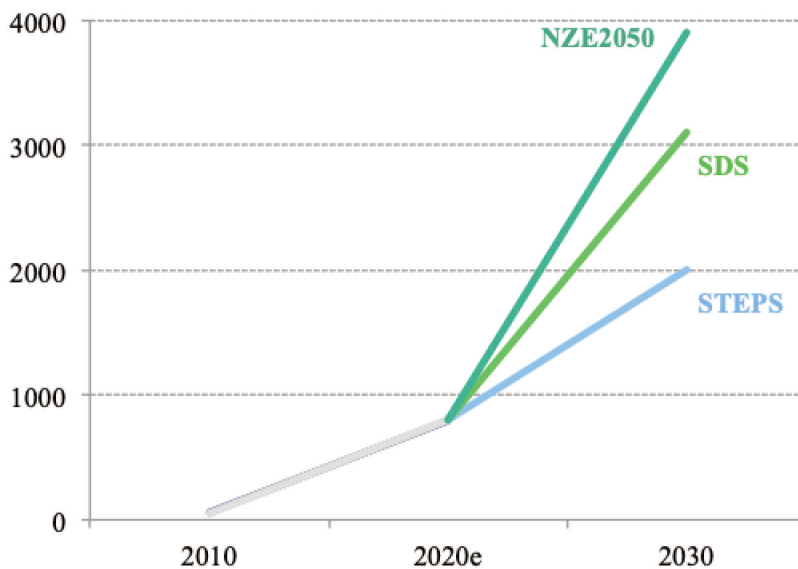
¹²Pays de l'OCDE (à l'exception de la Lituanie et de l'Islande) et BRICS (Brésil, Russie, Inde, Chine et Afrique du Sud).

Figure 9: Capacités additionnelles annuelles moyennes en solaire photovoltaïque et éolien dans le cadre du *Sustainable Development Scenario* de l'AIE pour 2030.



Source : IEA, *World Energy Outlook*, 2020

Figure 10: Capacités mondiales en solaire photovoltaïque selon les différents scénarii de l'AIE (en GW)



Source : IEA, *World Energy Outlook*, 2020

Au niveau méthodologique, nous recourons à l'estimation d'un modèle non linéaire en panel afin de prendre en compte les potentiels effets (positifs ou négatifs) des prix du pétrole sur les déterminants selon leur dynamique. À notre connaissance, il s'agit ainsi de la première étude visant à modéliser ces interactions pour un panel de pays. Nous montrons qu'une augmentation annuelle des prix du pétrole supérieure à 6,7 % tend à stimuler le développement des capacités en solaire photovoltaïque. En effet, une hausse du prix du brut réduit le coût relatif entre le pétrole et les énergies renouvelables, rendant *de facto* les investissements dans les énergies renouvelables plus rentables. Par ailleurs, nous montrons que les dotations factorielles des pays en ressources énergétiques ont également un rôle important à jouer, indépendamment du niveau des prix du pétrole : le commerce extérieur d'électricité, la variation de la production pétrolière et les capacités en énergie nucléaire impactent négativement le déploiement des énergies renouvelables. Enfin, les politiques publiques de *feed-in tariffs* jouent un rôle prépondérant et ce, quelque soit le niveau de croissance des prix du pétrole.

Dans ce contexte de transition énergétique, les entreprises du secteur de l'énergie apparaissent également comme des acteurs de premier plan. Toutefois, elles semblent rencontrer des difficultés à réduire significativement leurs émissions de GES et, en conséquence, à s'aligner sur les objectifs de l'Accord de Paris (Carbon Tracker, Septembre 2019). Entre 1990 et 2016, leurs émissions de GES ont augmenté de 5,77 % dans les pays de l'OCDE. Les émissions de CO₂ induites par les activités du secteur de l'énergie ont augmenté en moyenne de 1,7 % en 2018, la Chine, l'Inde et les États-Unis comptant à eux seuls 85 % des nouvelles émissions (IEA 2019). Toutefois, en 2019, les émissions de CO₂ issues du secteur de l'énergie semblent se stabiliser¹³ grâce à une diminution opérée dans les économies avancées (*Global Energy and CO₂ Status Report 2020*). En effet, les

¹³33,3 Gt de CO₂ en 2018 et 2019 (IEA 2020a)

émissions des pays développés ont diminué de 3,4 % entre 2018 et 2019 alors qu'entre 2017 et 2018, celles-ci avaient connu une augmentation de 0,9 %. Concernant le reste du monde, les émissions de CO₂ du secteur de l'énergie ont augmenté de 1,9 % entre 2018 et 2019 (contre 2,4 % entre 2017 et 2018).

La moitié de ces émissions provenant de la production d'électricité et de chaleur, il apparaît ainsi particulièrement important de s'intéresser à l'évolution énergétique de ce secteur dans un contexte où la demande énergétique ne cesse de croître.¹⁴ En 2019, la demande énergétique mondiale a augmenté de 0,9 % (contre 2,2 % en 2018) ; le ralentissement de son taux de croissance s'expliquant principalement par une forte diminution de la demande de gaz et de charbon. Toutefois, la demande de gaz naturel et d'énergies renouvelables a respectivement augmenté de 1,8 % et 3,7 % en 2019 (accroissant ainsi leur part de marché à respectivement 23 % et 14 %).

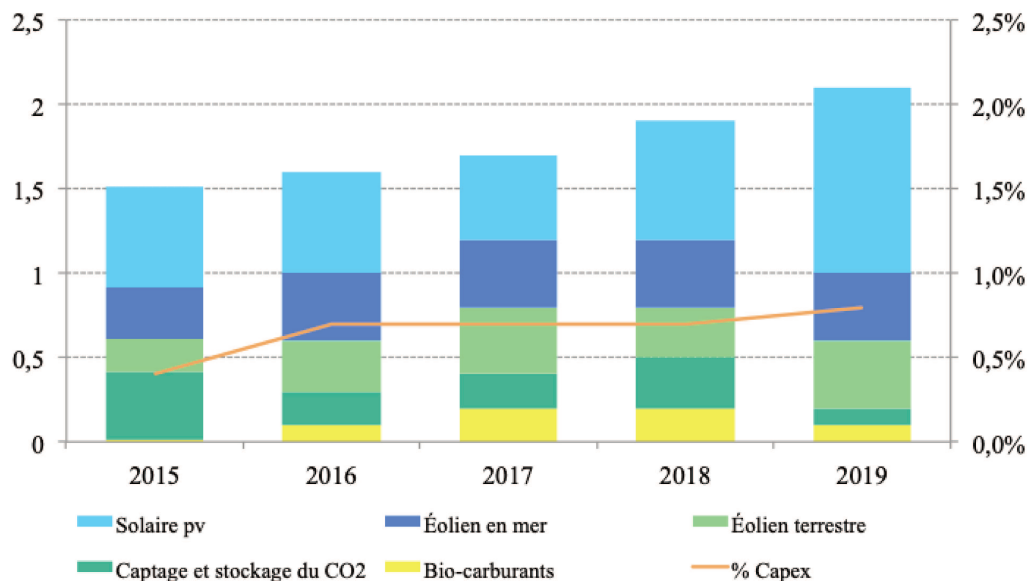
Les principales entreprises du secteur de l'énergie et en particulier les *majors* pétrolières, ont ainsi un rôle majeur à jouer dans la transition énergétique, notamment en matière d'investissements. Toutefois, très peu d'entre elles semblent réellement s'investir dans la transition énergétique et, si tel est le cas, la part d'investissement dans les énergies bas carbone comparativement à celle dédiée au secteur des hydrocarbures reste encore relativement faible (**Figure 11**). Aujourd'hui, environ 95 % de leur chiffre d'affaire est issu du gaz et du pétrole et les investissements dans les énergies fossiles, en particulier dans les activités amont (*upstream*) demeurent élevés comparativement aux autres secteurs de l'énergie (**Figure 12**). Cependant, si l'on s'intéresse plus largement aux investissements liés à la transition énergétique,¹⁵ c'est-à-dire aux investissements dans les activités bas carbone, ces derniers atteignent 501 milliards de dollars contre 313 milliards pour les

¹⁴L'AIE estime que les émissions de CO₂ en 2020 auraient connu une réduction de 7 %, principalement liée à la baisse de la demande énergétique de l'ordre de 5 %.

¹⁵Selon BNEF, ces investissements comprennent les investissements dans l'hydrogène (1,5 milliards de dollars), le stockage du carbone (3 milliards), le stockage énergétique (3,6 milliards), l'électrification des transports (139 milliards) et les énergies renouvelables (303,5 milliards).

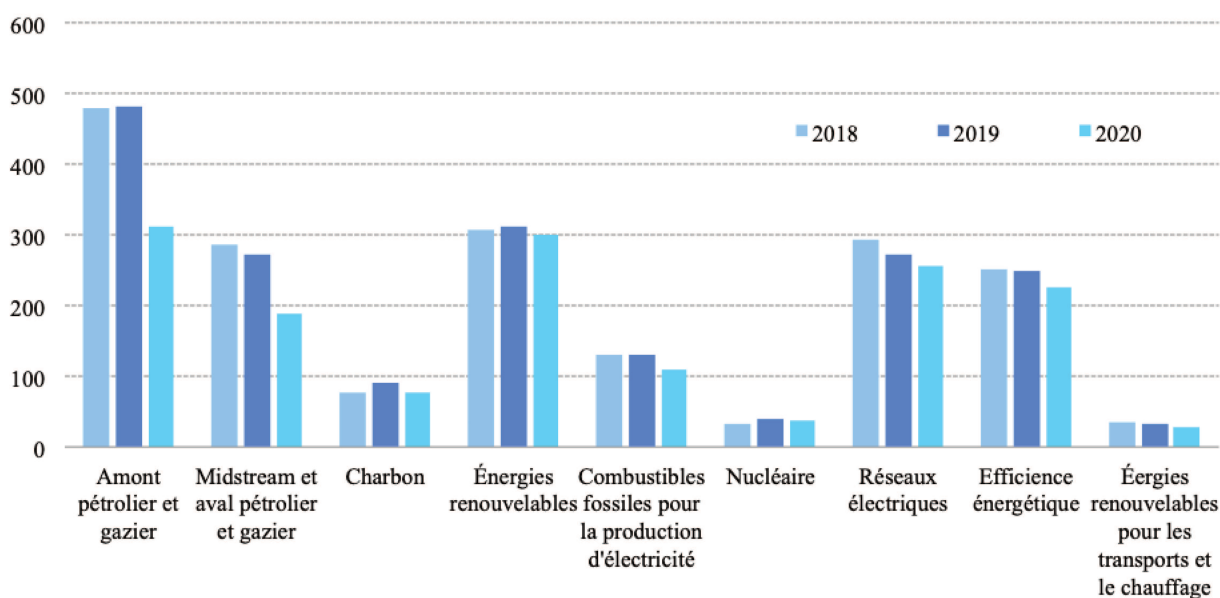
investissements de l'amont pétrolier et gazier en 2020.

Figure 11: Investissements dans les activités bas carbone des principales entreprises du secteur des hydrocarbures (en milliards de dollars)



Source : IEA, *The oil industry in energy transitions*, 2020

Figure 12: Investissements réalisés dans l'énergie par secteur (en milliards de dollars, USD 2019)



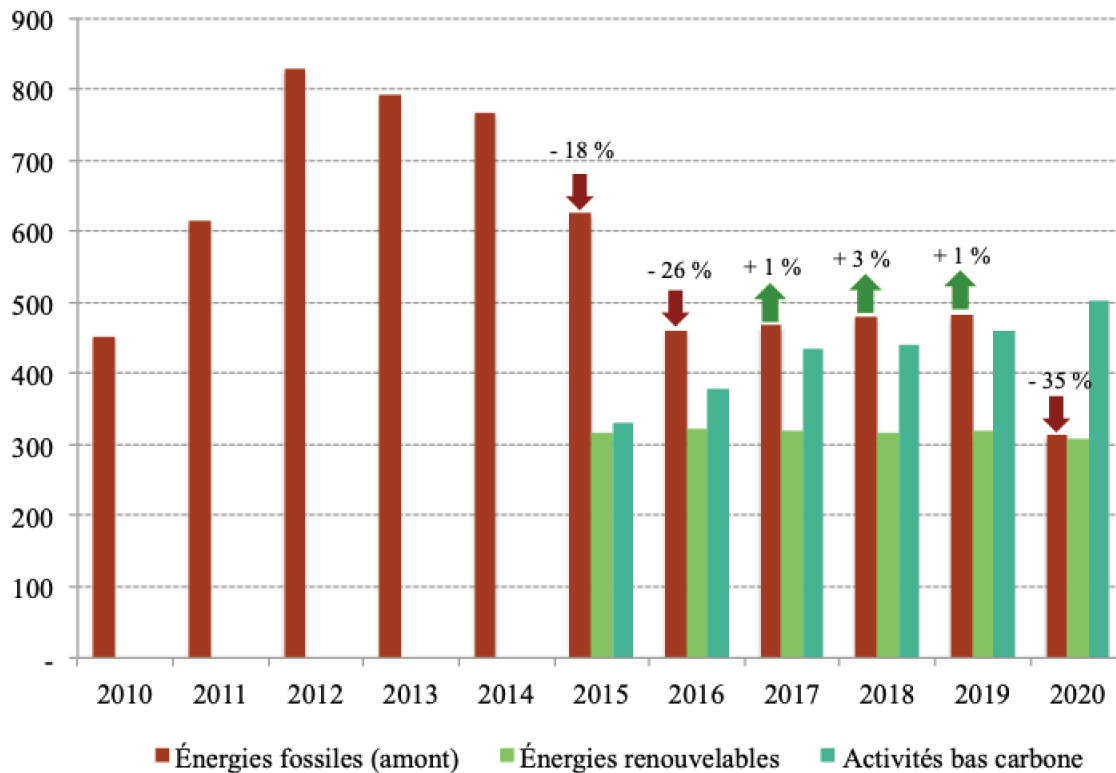
Source : IEA, *Investment estimates for 2020 continue to point to a record slump in spending*, 2020

Si les niveaux d'investissements dans l'amont pétrolier et gazier depuis 2015 demeurent significativement inférieurs à ceux qui prévalaient avant 2015, l'année 2020 semble marquée par un nouveau déclin de l'investissement dans le secteur de 35 %. Par ailleurs, il s'agit de la première année où l'investissement dans les activités bas carbone dépasse celui dans les activités amont au niveau mondial (**Figure 13**). Ainsi, l'année 2020 pourrait accélérer les différentes stratégies de diversification des entreprises du secteur des hydrocarbures, comme cela semble être déjà le cas du groupe Total SE. Lors de la présentation des comptes de l'exercice 2020 du Groupe, son président directeur général P. Pouyanné a déclaré « L'année 2020 constitue une année charnière pour la stratégie du Groupe et l'expression de son ambition d'aller vers la neutralité carbone [...] Pour ancrer cette transformation, le Groupe va proposer à ses actionnaires [...] de changer de nom en TotalEnergies ». Cette proposition de changement de nom de l'entreprise semble marquer un tournant pour le Groupe pétrolier qui se veut désormais devenir une entreprise de l'énergie en axant sa stratégie sur la croissance de ses deux branches GNL (gaz naturel liquéfié) et Renouvelables et Électricité. Par ailleurs, Larry Fink, PDG de BlackRock, a déclaré dans sa lettre annuelle (2021) destinée aux PDGs des grands groupes que le changement climatique devait être désormais au cœur des préoccupations stratégiques de ces entreprises, ajoutant que la transition énergétique présentait une « opportunité historique d'investissement ». Ainsi, L. Fink met en avant dans son discours le rôle central que doit jouer la transition énergétique dans le modèle de croissance de long terme des grandes entreprises en leur demandant de présenter des *business models* compatibles avec les objectifs de neutralité carbone à horizon 2050. Il déclare « *I believe that the pandemic has presented such an existential crisis – such a stark reminder of our fragility – that it has driven us to confront the global threat of climate change more forcefully and to consider how, like the pandemic, it will alter our lives* ». La pandémie de Covid-19 pourrait être ainsi une « opportunité

» de construire une croissance durable et compatible avec les objectifs de neutralité carbone à horizon 2050 et que certaines *majors* pétrolières semblent avoir d'ores et déjà saisie.

Toutefois, un nombre grandissant d'experts et d'agences internationales s'interrogent quant aux niveaux d'investissements suffisants permettant à l'offre de pétrole de répondre à la demande pour les années à venir. IFP Énergies nouvelles s'attend à ce que le pic de la demande de pétrole soit atteint entre 2030 et 2035. En parallèle, Hacquard et Hache (2019) alertent quant à de potentielles tensions sur le marché pétrolier à court terme si les investissements dans le secteur amont s'avéraient insuffisants pour accompagner la reprise économique post-Covid. Selon IFP Énergies nouvelles, retrouver le niveau d'investissement dans l'exploration/production qui prévalait en 2019 permettrait d'équilibrer le marché et ainsi éviter un possible « *oil supply crunch* ». Toutefois, les niveaux de la demande effective de pétrole sont encore largement incertains. L'AIE estime que la demande de pétrole devrait atteindre un plateau d'ici à 2030 et connaître ensuite une décroissance structurelle.

Figure 13: Investissement mondial dans les activités amont du secteur des énergies fossiles, dans les activités bas carbone (comprenant les énergies renouvelables) et dans les énergies renouvelables (milliards de dollars, USD 2019)



Source : IEA, *World Energy Investments 2019 and 2020* & BNEF 2020

Pickl (2019) classe les *majors* pétrolières en deux catégories : (i) Royal Dutch Shell, Total, BP, Eni et Equinor considérées comme des entreprises évoluant vers un statut d'« entreprises de l'énergie »¹⁶ au sens où ces dernières tendent à faire évoluer leur stratégie en s'orientant davantage vers des énergies moins polluantes et (ii) ExxonMobil, Chevron et Petrobras catégorisées comme des pures *majors* pétrolières. Total, l'une des principales compagnies pétrolières internationales, apparaît aujourd'hui comme l'une des entreprises plus « diversifiée »¹⁷ du secteur et espère devenir, selon son président directeur général Patrick Pouyanné, une « *major* de l'énergie responsable ». Le groupe envisage d'intégrer le climat dans sa stratégie à travers cinq canaux : l'efficacité énergé-

¹⁶ « *from oil company to energy company* ».

¹⁷ Voir Pickl (2019), Zhong et Bazilian (2018) et Blas (2015).

tique, le gaz naturel, les activités rentables dans l'électricité bas carbone, les biocarburants ainsi que les activités de puits de carbone. Dans la présentation de ses comptes de l'exercice 2020, Total précise détenir un portefeuille de capacités brutes installées¹⁸ de 35 GW à horizon 2025. En 2021, le Groupe disposerait de 7 GW de capacités brutes installées en opération, de 5 GW en construction et de 23 GW en développement d'ici à 2025. Concernant les résultats financiers du groupe Total, celui-ci affiche une perte sur l'année 2020 de 7,2 milliards de dollars¹⁹ (contre un bénéfice de 11,3 milliards de dollars en 2019). Cette perte sèche serait principalement liée à des « dépréciations exceptionnelles d'actifs pour un montant de 10 milliards de dollars, notamment sur les actifs *oil sands* (sables bitumineux) au Canada, enregistrées pour l'essentiel dans ses comptes à fin juin ».²⁰ Concernant les différents résultats opérationnels nets par secteur, la branche « Integrated gas, Renewables and Power »²¹ (iGRP) affiche un résultat opérationnel net ajusté²² de 1,8 milliard de dollars (contre 2,4 milliards en 2019) représentant 28 % du résultat opérationnel net total du groupe, contre 37 % pour les activités « Exploration-Production » et « Raffinage-Chimie ». Par ailleurs, la branche iGRP affichait un investissement net de 2,2 milliards de dollars en 2020 contre 6,2 milliards en 2019 et 3,5 milliards en 2018, soit une augmentation d'environ 50 % entre 2018 et 2019 et une baisse de 21 % entre 2019 et 2020. Concernant la branche « Exploration-Production », le résultat net s'élevait à 10,1 milliards de dollars en 2018 contre 8,7 milliards de dollars en 2019, soit une baisse de 16 % de l'investissement net de la branche entre 2018 et 2019. Concernant l'année 2020, celui a été de 6,1 milliards de dollars, en baisse de 30 % comparativement à 2019.

¹⁸En 2021, les capacités installées sont réparties au Qatar (800 MW), au Royaume-Uni (1,5 GW), en Inde (3 GW) et en Espagne (5 GW).

¹⁹« Résultat net part du Groupe ».

²⁰Extrait de la déclaration de P. Pouyanné lors du conseil d'administration de Total SE, réuni le 8 février 2021 pour la présentation des comptes du Groupe pour l'exercice 2020.

²¹Secteur d'activité intégré au *reporting* de l'information financière du groupe en 2019. Il complète les secteurs « Exploration Production », « Raffinage Chimie » et « Marketing et Services » et remplace le secteur intitulé « Gas, Renewables and Power ». Ce secteur réunit l'ensemble des activités de la chaîne intégrée du gaz dont les activités upstream et *midstream* dédiées au gaz naturel liquéfié (GNL) ainsi que celles initialement intégrées au secteur « Gas, Renewables and Power » effectif en janvier 2017. Ce dernier secteur intègre alors le développement de l'aval gaz, des énergies renouvelables et des métiers de l'efficacité énergétique.

²²Les éléments d'ajustement comprennent : les éléments non récurrents, l'effet de stock et l'effet des variations de juste valeur. Ainsi, les résultats ajustés (résultat opérationnel ajusté, résultat opérationnel net ajusté, résultat net ajusté) se définissent comme les résultats au coût de remplacement, hors éléments non récurrents et hors effet des variations de juste valeur.

Concernant la sous-catégorie « renouvelables et électricité » de la branche iGRP, Total a vu ses capacités brutes installées de génération électrique renouvelables plus que doubler entre 2019 et 2020, passant de 3 GW en 2019 à 7 GW en 2020. Sa production nette d'électricité a augmenté de 24 % en 2020 pour s'établir à 14,1 TWh dont 4 TWh provenant de sources renouvelables²³ (+ 97 % par rapport à 2019). La mise en œuvre de la stratégie d'intégration dans la chaîne de l'électricité et du gaz de Total semble ainsi se confirmer en 2020, avec notamment une augmentation de ses clients au cours de l'année de 1,5 million pour l'électricité et 1 million pour le gaz.

Le **Chapitre 2** s'intéresse ainsi à la **valorisation de la transition énergétique par les marchés financiers**. Nous nous consacrons plus spécifiquement à l'étude de la réaction du marché suite aux récentes évolutions de Total SE – l'une des entreprises les plus diversifiées du secteur de l'énergie – souhaitant s'engager davantage dans la transition énergétique en développant des activités liées à sa stratégie climat. Comment cette tendance récente est-elle accueillie par les investisseurs ? Afin de répondre à cette interrogation, nous considérons différents types d'annonces selon que les investissements concernent les activités de l'amont pétrolier et gazier du groupe (activités *upstream*) ou ses activités dites bas carbone, s'inscrivant dans un objectif de décarbonation de sa production d'énergie. Une telle distinction nous permet ainsi d'être à même d'appréhender si les investisseurs accueillent favorablement certains types d'activités et s'ils en pénalisent d'autres. À cette fin, nous réalisons une étude d'évènements de 2009 à 2019 rassemblant 139 annonces. Nos résultats montrent que la réaction du marché faisant suite à ces deux grandes catégories d'annonces est significative et négative, mais le marché réagit davantage aux annonces liées à la stratégie climat du groupe : suite à une annonce relative à la stratégie climat de Total, les rendements anormaux du groupe diminuent de 44 points de base contre 12 points de base concernant les annonces liées

²³Solaire, éolien, biogaz, hydroélectricité et centrales à gaz à cycles combinés.

aux activités amont. Ainsi, l'intuition d'une réaction positive des marchés suite aux différentes activités de Total liées à sa stratégie de devenir une « entreprise de l'énergie responsable » paraît remise en question. En effet, nous trouvons que les investisseurs ne réagissent pas positivement à la stratégie climat de Total et qu'ils ont, au contraire, tendance à pénaliser l'entreprise de s'engager dans de telles activités, en lien avec l'hypothèse du *trade-off* de Milton (1962). Ce résultat négatif peut toutefois être interprété de deux manières différentes. D'une part, il est possible qu'une classe d'investisseurs soit peu sensible à la cause environnementale, mettant en avant d'autres objectifs pour l'entreprise. D'autre part, une deuxième classe d'investisseurs pourrait, au contraire, pénaliser l'entreprise pour laquelle la diversification serait encore trop faible pour répondre aux objectifs de transition énergétique et, en particulier, de production d'énergie bas carbone.

Enfin, dans le **Chapitre 3** nous nous consacrons au **financement de la transition énergétique en France**. Nous mettons l'accent sur un mode de financement qui connaît une notoriété grandissante depuis plusieurs années : le **financement participatif**. Pour atteindre cet objectif, l'Institut de l'économie pour le climat (*Institute for Climate Economics*, I4CE) estime entre 50 et 54 milliards d'euros par an les besoins en investissements entre 2020 et 2023 (2e budget carbone), puis entre 65 et 74 milliards d'euros par an entre 2024 et 2028 (3e budget carbone).²⁴ En 2019, I4CE estimait à 47,9 milliards d'euros les investissements climat en France. Ainsi, 13 à 17 milliards d'euros supplémentaires d'ici la fin du quinquennat devront être débloqués pour atteindre le 2e budget carbone (2020-2023). Bien que les investissements climat en France augmentent depuis 2014, ces derniers doivent encore significativement croître pour respecter les objectifs européens sur le climat. Force est de constater qu'aujourd'hui, le financement est une barrière importante au processus de transition énergétique. Les nouveaux systèmes de financement tels que les pla-

²⁴Source : Edition 2020 du Panorama des financements climat.

teformes de financement participatif (*crowdfunding*) – qui consiste en un échange de fonds entre individus en dehors des circuits financiers institutionnels permettant de financer un projet *via* une plateforme en ligne – se développent actuellement fortement. Ils permettent d’encourager le placement d’une épargne locale, mais sont encore peu pris en compte dans les modèles et scénarii de transition énergétique. Dans le cadre de l’intégration des énergies renouvelables variables dans le mix électrique et face à certaines problématiques d’acceptabilité, les questions liées au financement participatif recouvrent des enjeux de territorialité (critère de résidence des investisseurs et réserve d’épargne, ancrage local) et de participation citoyenne (engagement en capital et acceptation accrue des projets). La problématique d’acceptabilité sociale des projets énergétiques et l’importance grandissante du consommateur-citoyen font qu’il est désormais nécessaire de s’interroger sur ces différentes questions dans le cadre de la transition énergétique. À cette fin, dans le dernier chapitre de cette thèse, nous recourons à la méthode des préférences déclarées (*Discret Choice Experiment*). Cette méthodologie permet de réaliser une analyse socio-économique approfondie tout en prenant en compte la question monétaire. À notre connaissance, l’étude que nous réalisons est la première à s’intéresser au financement participatif des énergies renouvelables en France *via* l’application d’une méthodologie expérimentale des préférences déclarées.

Cette méthodologie, appliquée à un panel représentatif de la population française de 1020 personnes, nous permet de recueillir des données socio-économiques de la population *via* la présentation d’un questionnaire. Dans ce dernier, dix cartes de choix sont présentées aux répondants, ce qui nous permet d’obtenir les préférences de la population quant aux différents modes de financement volontaires de la transition énergétique en France. En particulier, nous proposons à travers ces cartes de choix différentes options de financement de projets d’énergies renouvelables (solaire photovoltaïque et éolien terrestre) : le financement participatif, l’achat d’actions et un *statu quo*

qui correspond à la taxe actuellement prélevée aux Français sur leur facture d'électricité.²⁵ Le *statu quo* constitue ainsi une troisième option de financement où les répondants ne changent rien par rapport à leurs pratiques habituelles. À chaque option de financement sont associés : 1) un type de technologie, 2) une contribution financière, 3) un rendement moyen de cette contribution, 4) la localisation du projet et 5) l'alimentation électrique correspondante. L'estimation d'un modèle *Random Parameter Logit* (RPL) met en évidence deux résultats principaux : l'existence d'une forte hétérogénéité des préférences des répondants ainsi qu'un engouement certain de leur part pour un mode de financement volontaire, comparativement au *statu quo*. Par ailleurs, nous montrons que le financement participatif (comparativement à l'achat d'actions sur le marché) apparaît comme le mode de financement préféré des Français. Dans notre échantillon, seulement 9,6 % ont systématiquement choisi le *statu quo*, quelle que soit la carte de choix proposée. Par ailleurs, 52 % des répondants seraient prêts à recourir au financement participatif pour financer des projets d'énergies renouvelables, alors que seulement 27 % sont familiers avec ce mode de financement et que seuls 3 % ont déjà investi dans de tels projets. Enfin, nos résultats indiquent que les Français semblent peu enclins à financer des projets d'éolien terrestre comparativement au solaire photovoltaïque, qui apparaît comme étant la technologie renouvelable préférée des répondants, devant l'éolien en mer et la géothermie. De plus, les Français sont sensibles à la taille des projets proposés (plus le projet est grand et plus cela les satisfait), ainsi qu'à leur localisation ; ils préfèrent en effet financer un projet proche de leur lieu d'habitation afin d'en bénéficier localement. Le chapitre 3 fournit ainsi des éléments originaux et novateurs sur le financement participatif comme alternative crédible à la finance traditionnelle pour les projets d'énergies renouvelables en France. Les Français étant enclins à utiliser ce mode de financement dans le cadre national, les politiques publiques destinées à favoriser la transition énergétique devraient en conséquence intégrer une telle dimension lors de

²⁵Cette taxe correspond à 22,5€/MWh.

leur définition.

Chapter 1

Determinants of solar photovoltaic deployment in the electricity mix: Do oil prices really matter?[†]

[†]A first version of this chapter has been published as: Escoffier, M., Hache, E., Mignon, V. and Paris, A. (2020), “Determinants of solar photovoltaic deployment in the electricity mix: Do oil prices really matter?”, *Energy Economics*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2020.105024>.

1.1 Introduction

While the fight against climate change represents the most important driver of international energy and environmental public policies,¹ the objective of the Paris agreement seeking to limit the increase of global temperature below 2°C in 2100 seems to be hardly achievable with current trends (UNFCCC 2019). Despite their crucial role in achieving this objective, energy sector industries indeed encounter difficulties in ensuring the energy transition as their greenhouse gases (GhG) emissions have followed a 3.32% upward trend between 1990 and 2018 in OECD countries (7.24% between 1990 and 2016; source: OECD).

Within this context, OECD countries and the BRICS have implemented policies to limit global warming, in which renewable energies and, especially, solar photovoltaic (PV) are of particular importance. Following the Paris agreement, many countries have made commitments concerning their energy consumption or production by 2030. For instance, regarding the percentage of energy consumption from renewables, the European Union set for 2030 a target of 32% renewable energy (RE) at least. Brazil aims at achieving 45% of renewables in the energy mix, China will increase the share of non-fossil energy sources level in the total primary energy supply to around 20%, and India will augment the share of non-fossil based energy resources to 40% of installed electric power capacity—all these targets having to be reached by 2030. Investments in RE and, in particular, the deployment of solar PV could help countries to achieve their goal.

Although investments in RE play a central role in the energy transition, they have decreased

¹Other motivations are worth mentioning, such as limiting local air pollution (Coady et al. 2017) or ensuring the energy security strategy of countries by reducing fossil fuel imports (Criqui and Mima 2012) and energy dependency, etc. Although all these objectives are obviously very important, the fight against climate change stands out as a key goal nowadays.

from \$323 billion in 2015 to \$274 billion in 2016 (UNEP 2017).² This decline is partly due to the falling costs of technology (-\$30 billion in 2016), as well as investment decisions induced by policy changes. This decreasing trend continued in 2017 for solar PV costs. As an example, utility-scale PV projects were down by 15% in 2017, and solar PV capacities have increased by around 30% from 2016 to 2017 (IRENA statistics).³ According to BP Statistical Review 2019, this cost fall allows RE to reach 4% of the world energy consumption in 2018 against 3.6% in 2017, with an increase of 8.5% in OECD countries between 2017 and 2018.⁴ However, in the current energy transition context and given the cost reduction trends in renewable technologies, this dynamic could have been more pronounced.

This evolution calls for an in-depth analysis to identify the main determinants of RE deployment to provide policymakers with real insights into designing their emissions target policies. This is the aim of the present chapter, which focuses on solar PV—one of the most attractive RE sources since around 2010 which remains the only renewable technology that has registered an investment increase in 2017 (IRENA 2019a).

Specifically, we assess the effects of the different factors identified in the literature on RE deployment⁵, the deployment of RE is explained by different factors generally split into three classes: (i) economic drivers, (ii) energy and environmental determinants, and (iii) policy instruments. by paying particular attention to the influence exerted by energy prices—especially oil prices. Traditionally, positive oil price shocks negatively impact economic growth by increasing inflation and

²In 2019, RE capacity investment was \$282.2 billion, i.e., 1% higher than the previous year (source: UNEP). These figures refer to the total flow of new money into RE. See Figure 1.A.1 in Appendix A.

³See Figure 1.B.1 in Appendix B. Note that, as defined by the International Energy Agency, “utility-scale includes electricity generation and capacity of generating units (generators) located at power plants with at least one megawatt (MW) of total electricity generating capacity.”

⁴Excluding hydroelectric sources.

⁵In the economic literature (see Bourcet (2020) for a recent survey)

unemployment, oil being viewed as a hard-to-substitute input, especially for the transport sector. However, another perspective is to consider and analyze oil shocks in terms of investment opportunities. As shown by Chang et al. (2009), countries recording high economic growth levels indeed respond to an increase in energy prices by deploying RE technologies. Macroeconomic variables and the oil price dynamics are yet interconnected,⁶ and the conditions observed on the oil market could trigger or not a spillover effect on RE deployment. As an illustration, Reboredo (2015) relies on copulas and shows that high oil prices encourage the development of the RE sector, and Shah et al. (2018) find that the link is particularly acute for the US with oil prices explaining 22% of the variance of investments in RE.⁷ Therefore, one may expect that the deployment of PV depends on oil price changes.

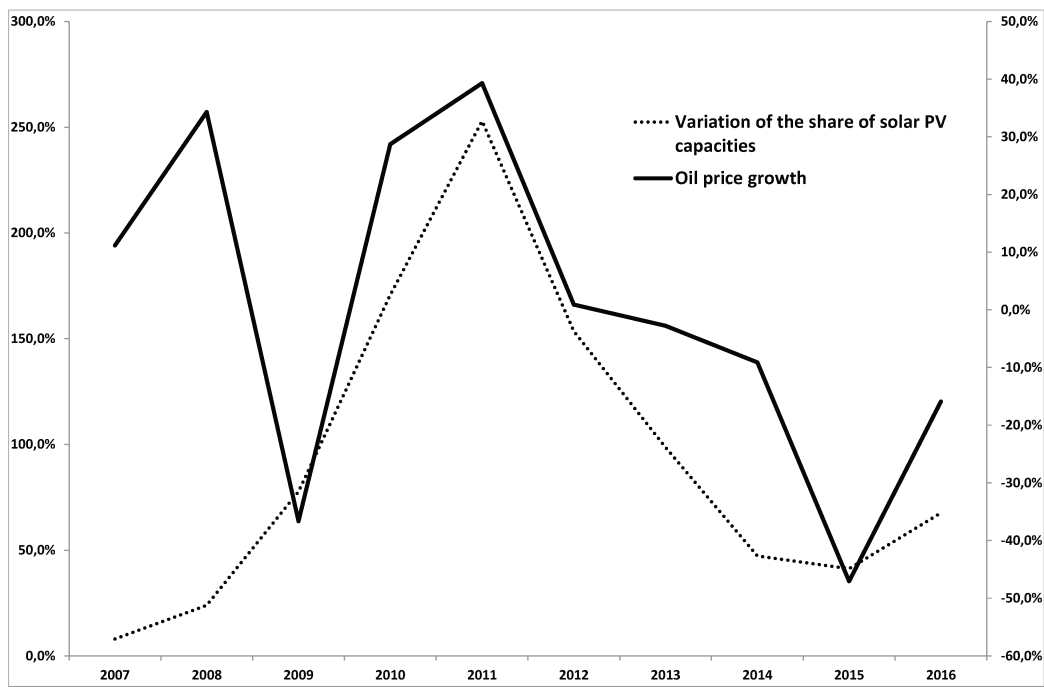
Obviously, such deployment is more likely to be stimulated when oil prices rise—increasing the attractiveness of more affordable alternative energy sources—than when they decrease. , over the period we consider in the present study (1997-2016), the mean annual growth rate of the share of solar PV in the total electricity capacities is always larger during episodes of rapid oil price growth. This is especially true for the BRICS that record an average annual growth rate of the share of solar PV in the total electricity capacities, which is one and a half times higher during periods of booming oil prices—1.2 times higher for our whole sample of countries. This argument is confirmed by **Figure 1.1.1**, which displays the evolution of the annual growth rate of the price of oil together with the annual variation of the share of solar PV capacities in the total electricity capacities for the BRICS. As shown, the main episodes of booming oil prices since 2007 have been accompanied by a huge increase in the share of solar PV in the total electricity capacities. Specifically, the share of solar PV displays an accelerating growth rate during times of rising oil

⁶For a survey, see, e.g., Brown and Yücel (2002) and Hamilton (2005).

⁷See also Awerbuch and Sauter (2006) and Rout et al. (2008).

prices, whereas it continues to rise but at a decreasing rate when oil prices diminish. Taking these interactions between oil prices and RE deployment into account is the main contribution of this chapter since, to the best of our knowledge, no study has been implemented so far on this topical subject.

Figure 1.1.1: Oil price growth and annual variation of the share of solar PV capacities in the total electricity capacities for the BRICS



Note: Left axis: annual variation of the share of solar PV capacities in the total electricity capacities; right axis: oil price growth (Brent, nominal price). See Table1.B.1 in Appendix B for data sources.

To this end, we rely on the panel smooth transition regression (PSTR) framework introduced by González et al. (2017), which allows the effects of the determinants of solar PV deployment to switch between—at least—two states depending on oil price changes. In other words, the use of such a nonlinear model enables us to assess to which extent the dynamics of oil prices impact the deployment of solar PV depending on the level reached by the oil price annual growth rate. It is

worth mentioning that we focus on oil prices due to the leading role they play in energy markets.⁸ Indeed, oil—due to its physical properties and the importance of its market—is often viewed as an economic “driver” influencing the other energy prices, such as coal and gas prices. In various countries, especially in Europe, natural gas prices have been historically indexed to oil prices. Although the share of indexation to oil prices is weakened, oil remains a key driver of natural gas and other energy products. As a result, changes in oil prices tend to affect all energy prices, including gas prices through wholesale prices, and coal prices. Turning more precisely to coal, it is the main input to electricity generation. However, it is an extreme pollutant and is, therefore, in competition with gas in power production, likely to create substitution effects. In addition, coal transportation being costly, oil and coal prices are expected to be indirectly related to each other through the fluctuations of the transport fuel derived from oil. Overall, even though oil represents only 3% in the global electricity generation mix in 2018 according to the International Energy Agency (IEA), its key influence on the other energy prices justifies its use as the transition variable in our PSTR specification.⁹

In addition to analyze these interactions between oil prices and RE deployment, we complement the literature on the drivers of solar PV deployment in various ways. Despite the growing number of studies, this literature remains denser regarding the residential solar uptake compared to medium to large utility-scale solar PV on which we focus in the present chapter. As a further contribution, our variable of interest is the variation in the share of solar PV capacities in the total electricity mix, which is particularly relevant to analyze the role played by the deployment of solar PV in the energy transition. Indeed, growing solar PV capacities do not necessarily reflect a

⁸For an investigation of the relationships between energy prices, the reader may refer to Bachmeier and Griffin (2006), Mjelde and Bessler (2009), Joëts and Mignon (2012) and the references therein.

⁹For the sake of completeness, note that the influence of gas or coal prices as driving the switch from one regime to another has also been tested, but their impact was non-significant.

process towards energy transition if fossil fuel capacities grow faster. Reasoning in terms of shares overcomes this issue as a positive share variation inevitably results in a higher growth speed of solar PV capacities compared to the total electricity mix, and thus illustrates substitution towards solar PV-based electricity. Finally, we consider a wide panel of 39 economies from 1997 to 2016, including both OECD and BRICS countries.¹⁰

Our results show that oil market conditions play a key role in explaining the dynamics of solar PV deployment—especially in OECD countries—since they affect their main determinants: environmental commitments, nuclear-based endowments, and solar PV potential. Specifically, an increase in oil price growth above 6.7% per annum has a positive effect on solar PV, an impact which may operate through a reduction in the relative cost difference between oil and renewables, making this technology relatively more affordable. We find that fossil-based endowments in non-RE are significant drivers for solar PV development by slowing down the incentive to increase RE capacities. Foreign electricity trade, oil production variation, and nuclear capacities negatively impact the deployment of solar PV capacities. A rise in CO₂ emissions plays a negative role during periods of low oil price growth, reflecting a weak level of environmental commitment.

The rest of the chapter is organized as follows. Section 1.2 describes the methodology and data. Section 1.3 presents our findings, and various robustness checks. Section 1.4 concludes the chapter.

¹⁰Note that other papers rely on quite large samples of countries. However, they are generally based on unbalanced panels and/or shorter periods than ours. For instance, Baldwin et al. (2017) consider an unbalanced sample of 149 countries that ends in 2010, Best (2017) an unbalanced panel of 137 countries over the 1998-2013 period, and Carley et al. (2017) a panel of 164 economies over the 1990-2010 period.

1.2 Methodology and data

1.2.1 The PSTR model

To analyze interactions between the determinants of the deployment of RE and the oil price dynamics, we rely on the PSTR methodology proposed by González et al. (2017). This specification allows these determinants to vary over time depending on the evolution of the price of oil, the change in the coefficients' value being smooth between—at least—two regimes.

Specifically, let $\Delta SC_{i,t}$ be the variation of the share of solar PV capacities in the total electricity capacities in country i at time t . The PSTR with two regimes can be expressed as:

$$\Delta SC_{i,t} = \beta_1' X_{i,t} + \beta_2' X_{i,t} \times F(\Delta OP_t; \gamma, c) + \epsilon_{i,t} \quad (1.1)$$

with $i = 1, \dots, N$, N being the number of countries, and $t = 1, \dots, T$. F is a transition function, bounded between 0 and 1, and is given by:

$$F(\Delta OP_t; \gamma, c) = \left[1 + \exp \left(-\gamma \prod_{l=1}^m (\Delta OP_t - c_l) \right) \right]^{-1} \quad (1.2)$$

where ΔOP_t denotes oil price growth used as the transition variable,¹¹ γ is the slope parameter describing the transition speed between the various regimes, and $c_l = c_1, \dots, c_m$ denotes the threshold parameters with $c_1 \leq c_2 \leq \dots \leq c_m$. As mentioned by González et al. (2017), it is usually sufficient to consider a maximum value of 2 for m as it allows to capture commonly encountered types of nonlinearities.¹²

¹¹It should be noticed that we consider the price of oil in first-logarithmic variation and not in level to address unit root issues. In addition, note that the price of oil is expressed in nominal terms.

¹²Note that $m = 1$ implies the use of a logistic function, while $m = 2$ refers to a quadratic logistic function.

With this model, the effects of the determinants of RE deployment included in $X_{i,t}$ can vary depending on the change in the price of oil, and are bounded between β_1 in the first regime, i.e., $F(.) = 0$, and $\beta_1 + \beta_2$ in the second one, i.e., $F(.) = 1$.

Following González et al. (2017), we apply the PSTR methodology using a three-step strategy: (i) specification, (ii) estimation, and (iii) evaluation. First, we test the null hypothesis of linearity against the PSTR alternative to check the presence of nonlinearity linked to oil price growth.¹³ We employ the bootstrapped version of the Lagrange-multiplier (LM) test with the residual-based wild bootstrap (WB) and the wild cluster bootstrap (WCB) to handle heteroskedasticity and cluster-dependency issues.¹⁴ Second, we estimate the model using the nonlinear least squares (NLS) estimator on demeaned data. Finally, we evaluate the validity of our estimated model by applying the WB and WCB versions of (i) the time-varying specification test aiming at checking the efficiency of our PSTR specification against a time-varying parameter PSTR, and (ii) the no-remaining nonlinearity test aiming at testing a one-transition function PSTR against a two-transition function PSTR (see González et al. 2017).

1.2.2 Explanatory and dependent variables

The explanatory variables included in $X_{i,t}$ in Equation (1.1) are chosen according to the literature (see Bourcet (2020), and the references that follow), selected by accounting for the importance of their effects and depending on data availability issues. Specifically, the determinants can be categorized into three groups, as detailed below.

¹³Note that we also tested for the presence of nonlinearity using the growth rate of GDP per capita as the transition variable, but the tests failed to reject the null hypothesis of linearity (as for the growth rate of gas and coal prices).

¹⁴See González et al. (2017) for more details about these test statistics.

First, we consider two economic determinants, namely the growth rate of GDP per capita (in constant US dollars) and foreign electricity trade. As recalled by Marques et al. (2010) and Cadoret and Padovano (2016), the contemporaneous impact of GDP per capita growth is hard to anticipate as high economic growth could stimulate RE consumption and production through an income effect, but could also dampen them due to the intermittency problem and “on the spot” availability. On the contrary, past economic growth should have a positive effect on RE production through higher resources that can be mobilized for RE deployment. Furthermore, by focusing our analysis on RE deployment in terms of variation in production capacities, we expect that the effect of GDP per capita growth could be delayed. We also use foreign electricity trade—i.e., exports minus imports—as a measure of energy security. We expect a negative effect of international trade as electricity net importers could have more incentive to develop new electricity capacities—especially RE sources—than exporters.

Second, we consider various energy and environmental factors: (i) environmental commitments measured by CO₂ emissions,¹⁵ (ii) fossil-based energy endowments, (iii) nuclear based-energy capacities, (iv) energy prices, and (v) solar PV potential. Following Marques et al. (2010), Marques and Fuinhas (2011), and Romano and Scandurra (2016a), we use CO₂ emissions—in variation—per capita and kilowatt-hour (kWh) considered as a proxy of environmental commitments in the electricity market. The reduction of CO₂ emissions is at the very heart of energy transition policies and represents a means of measuring country efforts in terms of environmental commitments. We expect that the higher the annual growth rate of CO₂ emissions, the lesser the environmental commitment of the country at time t and so, the smaller the deployment of solar PV. We, therefore, anticipate a negative effect of CO₂ emissions’ growth on solar PV deployment.

¹⁵For studies that focus on environmental commitments, see Wüstenhagen et al. (2007), Sadorsky (2009), and Aguirre and Ibikunle (2014).

We also use non-renewable energy-related variables, such as the growth of oil production and coal production, as well as nuclear-based electric capacities. A negative effect is expected for these three variables, as an upward trend in these energy sources could create a barrier to RE deployment (see, e.g., Romano and Scandurra 2016*b*). Indeed, countries with increasing oil, coal or nuclear-based electricity production could be less interested in investing in RE as (i) economies with oil reserves usually have fossil-based energy assign for electricity generation as coal or gas,¹⁶ and (ii) those with nuclear capacities own an electricity sector with low GhG emissions.

Furthermore, we follow Marques et al. (2010), Marques and Fuinhas (2011), and van Ruijven and van Vuuren (2009) and include as determinants of solar PV deployment the changes in the prices of oil and gas.¹⁷ These three variables allow us to account for substitution effects between different energy sources in electricity production. We expect that an increase in energy prices could lead to incentives to develop solar PV capacities through an improvement in their relative profitability. The deployment of solar PV should also depend on annual sunshine hours and the geographical area, as in Marques et al. (2011). However, these variables being time-invariant and inappropriate in our retained specification,¹⁸ we integrate solar PV potential of countries through the urbanization rate. The effect of this variable on solar PV deployment is ambiguous.¹⁹ On the one hand, the higher the urbanization rate, the higher the number of buildings and thus, the higher the number of large roofs usable for solar-based electricity production. On the other hand,

¹⁶Let us illustrate this assertion with some figures provided by IEA and related to countries that are among those with the largest oil reserves. Electricity generation from natural gas sources (% of total) in 2015 amounts to 98.5% in the United Arab Emirates, 82% in Nigeria, 79% in Iran, 56% in Saudi Arabia, and 54% in Libya. Regarding electricity generation from coal sources (% of total) for the same year, it amounts to 72% in Kazakhstan and 70% in China, to name a few.

¹⁷Note that oil price growth is used both as an explanatory variable and as a transition variable. For gas prices, we rely on the available prices for each region. See Appendix B for more details.

¹⁸Indeed, the first step of the PSTR estimation consists of removing the individual-specific means to eliminate the individual effects (González et al. 2017).

¹⁹Note that although this variable may fit better for a study of residential solar panels, the urbanization rate was the proxy we had at our disposal for the solar PV potential of countries.

for utility-scale solar PV, the opposite could be at play as more available space in non-urban areas may encourage the development of solar farms.

Third, we include a policy instrument, namely the existence or not of FITs—relating to solar PV—as in Romano et al. (2017) among others. A FIT is a contract allowing to fix the price of electricity produced from RE sources during a specified period (usually between 15-25 years). This policy has been quite famous during the studied period due to its attractiveness for investors as it ensures a certain regularity of cash-flows.²⁰ The related dummy variable takes the value 1 if the policy is at play in country i at time t , and 0 otherwise.²¹ We expect the existence of FITs to stimulate the solar PV capacities deployment.

Note that many other policies exist to encourage emissions reductions, such as green certificates, renewable electricity standards, renewable portfolio standards, and auctions.²² Furthermore, it is likely that countries having FITs also have such aforementioned other policies that might influence the effect attributed to FITs.²³ We nevertheless select FITs as this policy has emerged as one of the predominant avenues for transforming RE markets (Sawin 2004; Baldwin et al. 2017), and because it was the most used policy over our period under study (see, e.g., Baldwin et al. 2017). It has also been proved effective at promoting RE deployment, particularly for solar PV develop-

²⁰As shown by Romano et al. (2017), when it comes to RE policy instruments, FITs emerge as the most effective tool in encouraging the deployment of RE at a lower price and a lower risk compared to other supporting mechanisms such as tradable green certificates (see also Mitchell et al. 2006; Butler and Neuhoff 2008; and Bürer and Wüstenhagen 2009). Menanteau et al. (2003), Rickerson et al. (2007), Fouquet and Johansson (2008), Couture and Gagnon (2010), Zhao et al. (2013), Kilinc-Ata (2016), and Nicolini and Tavoni (2017) also conclude that FITs are effective RE instruments.

²¹It is worth mentioning that due to the inclusion of emerging countries in our sample, we cannot account for FITs through the level of the tariff or the duration of the contract, as in Dijkgraaf et al. (2018). We construct our dummy variable by using the information contained in IEA country reports, and consider the FIT policy to be in force if the FIT is given for medium and large-scale projects (above 1 MW). If there is no change, the variable takes the value 1 the year corresponding to the starting date of the FIT until the policy ends for new projects. Concerning federal states (Australia, Canada, India, and the US) we proxy the country by the major state in terms of solar PV capacities (corresponding respectively to Queensland, Ontario, Karnataka, and California). Finally, we do not take into account feed-in-premium contracts as they correspond to the spot price plus a premium, meaning that such contracts are more risky than a fixed price for a given period.

²²See, e.g., Bird et al. (2005), Menz and Vachon (2006), Carley (2009), Yin and Powers (2010), Delmas and Montes-Sancho (2011), and Polzin et al. (2015).

²³This may be for instance the case for carbon pricing; see, e.g., Eyraud et al. (2013) and Best and Burke (2018).

ment, in Europe (Lipp 2007; Alagappan et al. 2011 ; and Jenner et al. 2013). Reverse auctions for renewables have become increasingly popular, but this is especially the case since 2015 according to IRENA. As our period ends in 2016, the use of FITs is more relevant.

Turning to our dependent variable, we consider the variation in the share of solar PV capacity in the total electricity capacities. The dynamics of this share is displayed in Figure 1.B.1 in Appendix B. As shown and as previously mentioned, it has grown continuously over the period under study. The average solar PV share in electricity capacity amounts to 1.5% for the whole panel of countries over the 1997-2016 period. As mentioned by Bourcet (2020), the installed capacities in RE reflect the commitment of policymakers to engage the energy transition. Note that all explanatory variables are stationary and are expressed in growth rate terms, except FITs, the urbanization rate, the nuclear capacities share, and foreign electricity trade (see Table 1.B.1 in Appendix B for more details, including all data sources).

1.2.3 Time period and sample of countries

We rely on annual data for 39 economies (see **Table 1.2.1**) from 1997 to 2016, focusing on OECD and BRICS countries.²⁴ Our choice of the starting date is guided by data availability considerations.

Table 1.2.1: Panel of countries

OECD	Australia, Austria, Belgium, Canada, Chile, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Ireland, Israel, Italy, Japan, Latvia, Luxembourg, Mexico, Netherlands, New Zealand, Norway, Poland, Portugal, Slovak Republic, Slovenia, South Korea, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey, United Kingdom, United States.
BRICS	Brazil, Russia, India, China, South Africa.

²⁴Iceland has been removed from our panel due to its particular electricity mix based on hydroelectric (70%) and geothermal (30%) sources. Lithuania is also excluded from our analysis as it has joined OECD only since 2018.

1.3 Empirical results

1.3.1 Whole sample of countries

The results from the estimation of our PSTR specification are presented in **Table 1.3.2**. We start by checking the existence of nonlinearity with oil price growth as the transition variable in Equation (1.1). As shown, the null hypothesis of linearity is rejected at the 5% significance level when accounting for cross-sectional dependence in the residuals. This justifies the use of a nonlinear, PSTR specification, indicating that the effect of some determinants of RE deployment depends on the behavior of oil prices. It is worth mentioning that our estimated model successfully passed all the misspecification tests. Indeed, in all cases, the null hypothesis of our PSTR specification—against either a time-varying parameter PSTR or a two-transition function PSTR—is never rejected, whatever the bootstrapping methodology used.

Regarding the transition function, the threshold parameter—i.e., the value of the annual growth rate of oil prices for which the transition function takes the value of 0.5—is estimated at 6.7% (the associated 95% confidence interval is [5.55%; 7.87%]). Hence, the first regime corresponds to periods in which the price of oil decreases or exhibits a quite low growth rate, i.e., below 6.7% per annum. The second regime refers to a high increase in oil prices, above 6.7% per year. Note that over our period under study, there are ten years for which the price of oil grew at 6.7% or faster, which corresponds to half of the observations. These two regimes can be interpreted as reflecting two main conditions on the oil market: (i) “calm” or “normal” periods, characterized by a decline or a quite stability in oil prices, and (ii) periods of pressures on oil prices, hereafter referenced as “boom” periods.²⁵ The estimated model reported in **Table 1.3.2** thus accounts for the fact that

²⁵One point is worth mentioning here. Recall that we are working at an annual frequency. Consequently, if a spike in oil prices occurs and disappears within a year, this high volatile intra-year episode cannot be captured. To tackle this issue, we checked whether

Table 1.3.2: PSTR estimation results

	Regime 1	Regime 2
GDP per capita growth $_{i,t-1}$	-2.900**	-2.900**
Foreign elec. trade $_{i,t-1}$	$-8.922 \times 10^{-6**}$	$-8.922 \times 10^{-6**}$
CO ₂ growth $_{i,t-1}$	-0.433**	-0.065
Oil prod. growth $_{i,t}$	-0.037**	-0.037**
Coal prod. growth $_{i,t}$	0.117	-0.076**
Nuclear capacity share $_{i,t}$	-9.731***	-9.058***
Gas price growth $_{i,t}$	0.383**	-0.050
Oil price growth $_{i,t}$	-0.096	0.734***
Urbanization rate $_{i,t}$	5.119***	4.663***
FIT $_{i,t}$	0.443***	0.443***
c		0.067***
γ		119.3**
WB Linearity test		0.055
WCB Linearity test		0.047
TVP parameters WB test		0.999
TVP parameters WCB test		0.999
RNL WB test		0.942
RNL WCB test		0.977

Note: The dependent variable is the variation in the share of solar PV capacity in the total electricity capacities (percentage point). *** (resp. **, *) denotes significance at the 1% (resp. 5% and 10%) level based on robust standard errors. WB (resp. WCB) Linearity test is the result of the test checking the null hypothesis of linearity against the PSTR model with residual-based wild (resp. wild clustered) bootstrap. The TVP parameters WB and WCB tests check the null hypothesis of our PSTR specification against the alternative hypothesis of time-varying PSTR. The RNL WB and WCB tests mention the results of tests checking the null hypothesis of our PSTR specification against the alternative hypothesis of PSTR with two transition functions. Number of observations: 39 countries over the 1997-2016 period (780 observations).

some explanatory variables have a different impact on RE deployment depending on the conditions on the oil market, i.e., “normal” or “booming”. Finally, note that the transition from one regime to the other is quite abrupt, as can be shown by the estimated value of the slope parameter γ describing the speed of transition between the two states.

Let us now consider the two economic determinants, namely GDP per capita growth and foreign electricity trade, both variables being one-period lagged. These variables are significant in both regimes, i.e., whatever the oil market conditions. In more details, past GDP per capita growth exerts a negative effect on RE capacities. Here, we go further than Cadoret and Padovano (2016)

such episodes have occurred over our sample period using monthly oil price data. Globally, calm periods have been correctly identified, except in 2015 where oil prices have known huge fluctuations. We would like to thank a referee for this very relevant remark, that we will investigate more deeply in future research.

who highlight an adverse impact of contemporaneous GDP per capita growth on the share of RE in gross final energy consumption. Indeed, while these authors find that GDP per capita growth slows down RE deployment in terms of consumption, we show that this variable also negatively impacts the share of RE in the energy-capacity mix. The direct negative effect on consumption would be due to the high elasticity of fossil-based energy sources—which are energy sources that can be more easily stocked and/or imported. However, this one is also transmitted in terms of RE deployment as the share of solar PV capacity in the electricity mix decreases by 2.9 percentage points for each percentage point increase in lagged GDP per capita growth. Based on the assumption that solar PV capacities do not decline, past GDP per capita growth could thus lead to additional deployment of fossil-based electricity capacities to address the supplementary energy needs.

Turning to the past value of foreign electricity trade, it is associated with a decrease in solar PV capacities. More specifically, an increase of one GWh in the past balance of electricity trade leads to a reduction of 8.9×10^{-6} percentage point in the solar PV share. This result was obviously expected as the net importers of electricity have an additional incentive to deploy RE-based capacities to reduce their trade deficit: this is the well-known double dividend of RE deployment.²⁶ This result could also be interpreted from a geopolitical point of view as foreign electricity trade could be seen as a proxy for energy insecurity in the electricity sector. The double aim to reduce foreign trade deficit and energy dependency could lead to incentives in RE deployment in addition to GhG emissions' reduction.

Concerning the various energy and environmental explanatory variables included in our spec-

²⁶See, among others, Criqui and Mima (2012).

ification, their respective effect—except for fossil-based energy endowments—depends on the oil market conditions. First, environmental commitments—negatively correlated with the past variation of CO₂ emissions per capita and per kWh in the electricity mix—impact the solar PV deployment positively.²⁷ Indeed, a 1% increase in CO₂ emissions variation leads to a decrease in the share of solar PV capacities in the electricity mix by 0.43 percentage point during “normal” periods on the oil market. On the contrary, in “boom” times, the environmental commitment of OECD and BRICS countries appears to be non-significant in stimulating solar PV deployment. The higher the price pressures on the oil market, the higher the interest for countries to develop solar PV capacities to minimize the impact of oil prices on electricity prices, whatever their willingness to fight against climate change through reduction in CO₂ emissions.

Second, fossil-based energy endowments, in terms of oil production growth, slow down the deployment of RE electricity capacities regardless of price conditions on the oil market. An increase of one million barrels per day in oil production is associated with a decrease of 0.037 percentage point in solar PV share growth. This result is in line with Papiez et al. (2018), highlighting higher RE deployment in countries that are not producers of their fossil sources. While we could expect that an increase in oil production could have a positive effect on solar PV deployment in times of booming oil prices by rising energy firms’ profits and, in turn, generating a transfer of these financial resources in renewable deployment, our results contradict this expectation. Indeed, the impact of oil endowments does not differ between the two regimes.

Third, the growth rate of coal production²⁸ harms solar PV deployment only during “boom” pe-

²⁷As previously mentioned, we use CO₂ emissions as a proxy of environmental commitments in the electricity market, and consider its lagged value to minimize the risk of reverse causation—i.e., from solar PV mix to emissions. To assess whether this risk may however be still present, we have calculated the autocorrelation function of emissions’ growth. For the majority of the countries in our panel, there is no significant autocorrelation in the emissions’ growth rate series.

²⁸Note that we also included the growth rate of gas production in our specification, but this variable was found to be non-significant

riods in the oil market. During regimes of high growth in the price of oil, countries are more prone to produce coal-based electricity, providing coal producers with higher financial resources. However, as a 1% increase in coal production leads to a decrease of 0.07 percentage point in solar PV deployment, the additional financial gain seems not to be invested in deploying solar PV capacities.

Fourth, a negative effect is found regarding the nuclear capacity share in the electricity mix during “normal” and “boom” periods. The presence of nuclear plants hampers the deployment of solar PV, albeit to a lesser extent, in times where oil price growth is higher than 6.7% per annum. As expected, countries with low GhG emissions thanks to nuclear power plants tend to have fewer incentives to deploy solar PV.

Fifth, **Table 1.3.2** shows an interesting result concerning fossil energy prices. Gas price growth has an effect on solar PV deployment during “normal” periods, while oil prices are at play during “boom” periods. More specifically, a 1% increase in gas price growth leads to 0.38 percentage point rise in PV deployment when oil price growth is lesser than 6.7% per annum. On the contrary, in times of high oil price growth, a 1% increase in oil price growth raises by 0.73 percentage point the solar PV share. As expected, all these fossil energy sources could be seen as substitute energies compared to RE, and a rise in their prices thus allows solar PV relative profitability to increase leading to its deployment.

Sixth, our results confirm our expectation of a positive effect of the urbanization rate—which accounts for the potential in solar PV installation—on solar PV deployment. An increase in the urbanization rate has a higher effect during “normal” periods, indicating that pressures on oil

whatever the considered regime.

prices tend to reduce the positive impact on the share of solar PV capacity.

Finally, the policy instrument proxied by the existence of FITs policy positively affects solar PV deployment regardless of price conditions on the oil market. Adopting this policy is associated with an additional increase in the share of solar PV capacity of 0.44 percentage point per year compared to countries without FITs. By setting the price of electricity during a fixed period for RE sources, policymakers can have an impact on RE deployment. This result is in line with the existing studies cited in Section 1.2.2. Furthermore, there is no interaction effect with oil price growth, meaning that the FITs policy is always effective whatever the conditions on the oil market. This result is obviously quite reassuring from a policy-maker point of view.

On the whole, our analysis emphasizes three kinds of determinants regarding the deployment of solar PV. The first category concerns drivers which do not depend on oil market conditions—or to a small extent—: (i) past GDP per capita growth, electricity independence, and fossil fuel endowments which influence negatively RE deployment, and (ii) the urbanization rate, as well as FITs which exert a positive effect. Second, two variables play a role in solar PV deployment only when oil price annual growth is lower than 6.7%: past growth rate of GhG emissions and gas price growth, which have a negative and positive effect, respectively. Finally, the oil price variation affects positively solar PV capacities only if its annual growth exceeds 6.7%, putting forward the existence of an asymmetric and nonlinear effect of oil prices on RE deployment.

1.3.2 Robustness checks

1.3.2.1 Linear versus nonlinear specification

To put forward the interest of our nonlinear specification,²⁹ we estimate a linear model using the same explanatory variables as in the PSTR specification. As shown in column (1) in Table 1.C.1, we obtain quite similar results for the two economic determinants—as expected given the fact that the two variables are significant and are not impacted by the annual oil price growth in the PSTR specification. Indeed, GDP per capita growth and foreign electricity have coefficients which are very close to those obtained with the PSTR model, they are both significant and negatively signed, confirming their influence on solar PV deployment whatever the oil market conditions. As expected as well, the same conclusions apply for the urbanization rate and the policy variable for which we obtain positive significant estimated coefficients.

More interestingly, results in Table 1.C.1 indicate that the main differences between linear (column (1) of Table 1.C.1) and nonlinear (**Table 1.3.2**) estimates concern energy-related variables. With the exception of the nuclear capacity share in the electricity mix, all the other determinants are found to be non-significant. Clearly, these findings highlight the relevance of our nonlinear specification. Indeed, although one may erroneously conclude that energy-related variables have no impact on RE deployment when a restricting, linear model is estimated, the use of our nonlinear, PSTR specification emphasizes that the role of such variables depends on the size of oil price changes. Overall, to account for a differentiated impact of some explanatory factors on solar PV deployment depending on the oil market conditions, a nonlinear specification is needed.

²⁹We would like to thank an anonymous referee for suggesting us to estimate two additional (linear and nonlinear) specifications, allowing us to assess the robustness of our PSTR specification results and increasing the believability of our findings.

1.3.2.2 Model with interaction variables

As a further robustness check regarding our nonlinear specification, we assess the relevance of the PSTR form compared to another nonlinear functional form. Specifically, we augment the previous specification estimated in column (1) of Table 1.C.1 with interaction terms: each explanatory variable interacts with the oil price growth.³⁰ This nonlinear specification allows us to investigate whether oil price growth influences the impact of explanatory variables on solar PV deployment.

As shown in column (2) of Table 1.C.1, nonlinear effects are at play, depending on oil market conditions. Specifically, if we focus on energy-related variables, our results show that such nonlinearity mainly concerns gas prices and the nuclear capacity share in the electricity mix. Turning to the other variables, the effect of the urbanization rate on RE deployment also depends on the oil price growth, as it is lower when the latter variable is positive.

Overall, this augmented specification with interaction terms indicates that the conditions on the oil market matter in assessing the effect of the factors that influence solar PV deployment. These findings confirm the interest of estimating a nonlinear model, and emphasize the relevance of our PSTR specification. Indeed, whereas the specification with interaction variables indicates the existence of nonlinearities, they can be quantified by the estimation of the PSTR model—the latter allowing us to estimate the threshold value of oil price growth that matters.

³⁰To facilitate the comparison with the results displayed in **Table 1.3.2**, we report in column (2) of Table 1.C.1 the results with the interaction variables that were in the nonlinear part of the PSTR specification. The results for the estimation with all the variables interacting with oil price growth are similar, and are available upon request to the authors.

1.3.2.3 Sensitivity analysis: accounting for the countries' type

Given that our sample includes both OECD and BRICS countries that are quite heterogeneous, the drivers of solar PV deployment may differ for these two groups of economies. To investigate this possibility, we estimate our PSTR specification over the two panels separately. The corresponding results are reported in Table 1.C.2 in Appendix C.

As shown, the null hypothesis of linearity is rejected at the 5% significance level for the subsample of OECD countries, and the 10% level for BRICS economies when accounting for cross-sectional dependence. Nonlinearity induced by oil market conditions found for the whole sample is thus mainly driven by OECD nations, as corroborated by the estimation results displayed in Table 1.C.2. Indeed, the estimates obtained for OECD countries are very close to those reported in **Table 1.3.2**; the same comments as for the whole sample thus apply for this panel of developed economies.

The main differences with the previous results in **Table 1.3.2** concern the BRICS subsample. Indeed, only four determinants are found to be significant at conventional levels. Foreign electricity trade still exerts a negative effect on solar PV capacities, especially in periods of booming oil prices. Regarding energy and environmental variables, two of them have a significant impact on solar PV deployment in the “normal” regime. An increase in oil production positively impacts the deployment of RE capacities, a finding that we can explain by the fact that some BRICS economies are both important solar PV investors and among the top ten oil producers. This is, for instance, the case of Russia, China, and Brazil, with China ranking first among solar PV investors. Turning to gas prices, an increase in their growth rate is harmful to solar PV deployment, in contrast to OECD countries for which a rise in the prices of fossil energies increases solar PV relative

profitability and, in turn, its deployment. Finally and as expected, the sign of the coefficient associated with the urbanization rate is positive, with a more pronounced impact during the first regime.

To sum up, our findings show that, contrary to OECD economies, oil price growth is not a key driver for solar PV deployment in BRICS countries and, more generally, highlight a weak importance of energy factors. Overall, this result confirms the fact that different factors globally drive OECD and BRICS countries in their RE investment decisions. However, this result should be taken with caution as the number of countries is quite small, which may obviously impact the accuracy of the estimates.

1.4 Conclusion and policy implications

This chapter aims at identifying the determinants of solar PV capacities' deployment, and at investigating their dynamics depending on the conditions on the oil market.

To this end, we estimate a PSTR model on a wide sample of OECD and BRICS countries. Whereas energy-related factors do not play a key role in driving RE investment decisions in BRICS economies, we show that the dynamics of oil prices affect various determinants of solar PV deployment in OECD countries. Interestingly, an increase in oil price growth above 6.7% per annum stimulates solar PV capacities: rising oil prices reduce the relative costs between oil and renewables, making renewable investments relatively more affordable. We also find that energy factor endowments are significant drivers for solar PV development. Foreign electricity trade, oil production variation, and nuclear capacities negatively impact the development of solar PV capacities. CO₂ emissions play a negative role during “normal” conditions on the oil market, which

may be the result of a lesser or insufficient level of environmental commitments from economies during the studied period. However, policy support (FITs) remains essential in the development of renewables, whatever the size of oil price changes.

According to IEA (2017*a*), the share of renewable-based electricity in the world electricity mix has to increase from 23% in 2015 to 59-97% in 2050—depending on the retained scenario—to attain a global warming target of 1.5°C above pre-industrial levels. In its latest report, IEA (2019) estimates in its Sustainable Development Scenario—the only scenario that allows a compatible pathway with global warming below 2°C—that RE investment needs will have to reach \$649 billion per year between 2019 and 2030 and \$807 billion between 2031 and 2040. Among these investments, IEA estimates that those in the solar PV sector alone should represent \$169 billion per year—or 32% of total investments in the electricity sector between 2019 and 2030—and \$189 billion between 2031 and 2040—or more than 35% of total investments in the global electricity sector. Achieving this scenario requires many drivers: reducing global energy intensity by 3% per year (compared to 1.2% in 2018), taking advantage of the lower costs of low-carbon technologies to generate a rapid transition from coal to RE in Asia, and bringing all stakeholders—investors, governments, and companies—to focus their efforts on the fight against global warming. Solar PV—as well as biomass and wind—must then play a major role in the RE electricity generation regardless of the pathway followed.

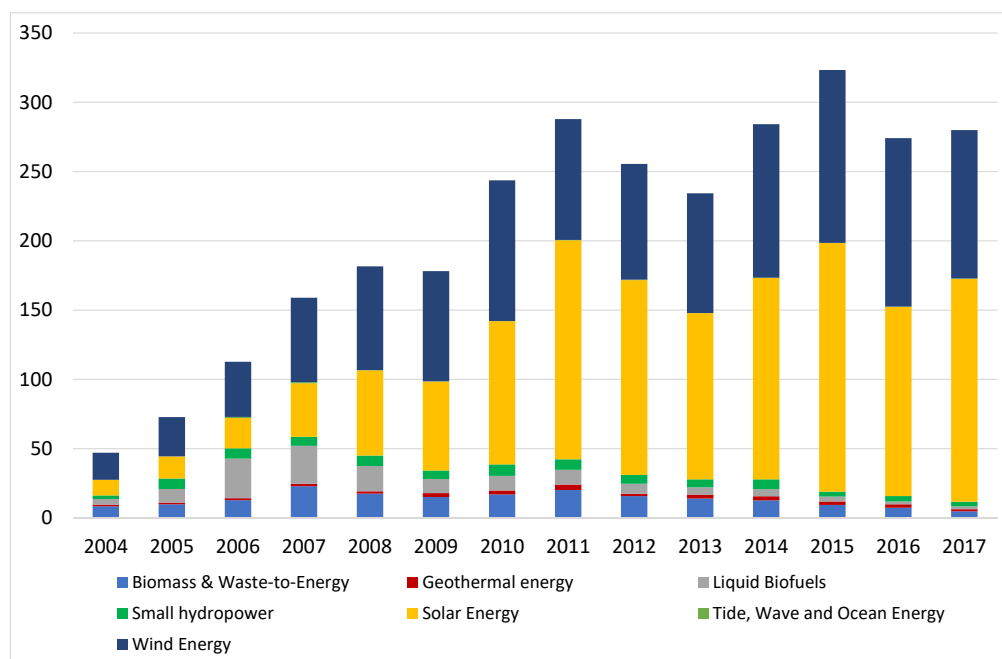
However, despite its significant impact on solar PV deployment, only twelve countries in our panel—i.e., around 30% of our countries—apply a FIT-based policy in 2016. Even if the conditions on the oil market matter for the deployment of solar PV, we show that the role of public

policies is crucial in OECD economies. This role is effective whatever the situation on the oil market, indicating that FITs or other instruments sharing similar targets—such as green certificates, Renewable Electricity Standards (RES), and Renewable Portfolio Standards (RPS)—have to be developed to ensure a continuous fight against climate change. In other words, whereas high oil prices may temporarily contribute to a reduction in CO₂ emissions, only structural reforms based on public policies will help in durably achieving this objective. This is even more true in the current context characterized by geopolitical tensions and difficulties for oil-exporting countries to reach a coordinated production reduction agreement to stem the fall in crude oil prices.

Appendix

Appendix 1.A Data appendix

Figure 1.A.1: Investments in renewable energy (in billion US dollars)



Note: Authors' calculations based on data extracted from IRENA.

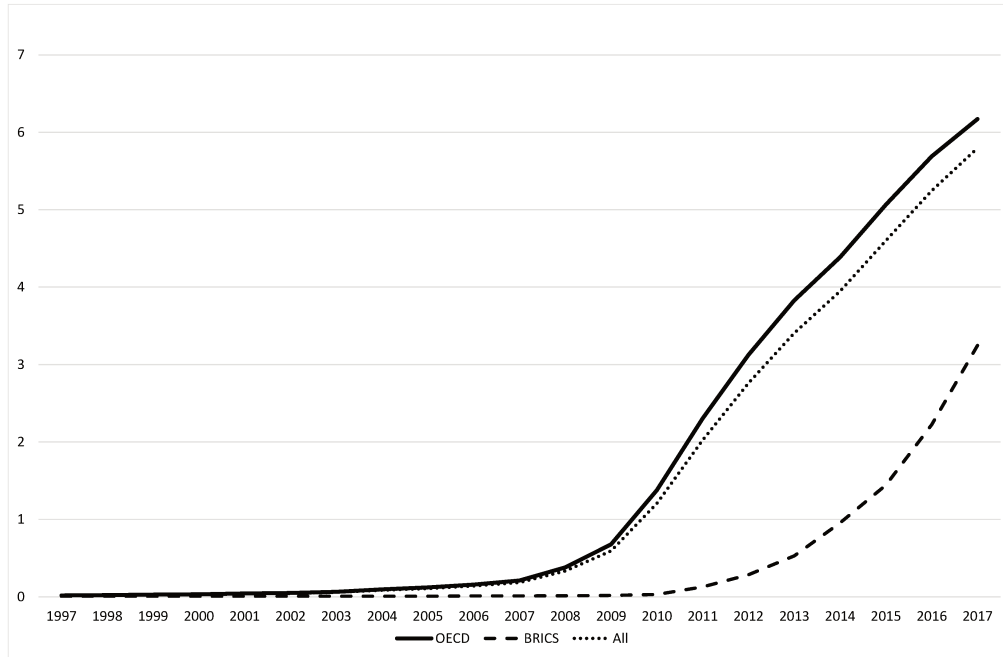
Appendix 1.B List of variables

Table 1.B.1: List of variables

Variable	Unit	Sources
Utility-scale solar PV capacities	MW	Enerdata
GDP per capita growth	constant 2010 US dollar	Enerdata
Foreign elec. trade	GWh	Enerdata
CO ₂ emissions	gCO ₂ per kWh and per capita	Enerdata
Oil production	million barrels per day	Enerdata
Nuclear capacities	MW	Enerdata
Gas price	US dollars per million Btu	BP statistics
Oil price	US dollars per barrel (Brent)	World Bank
Urban rate	%	Enerdata
FIT _t	dummy (1 or 0)	IEA, EIA, OFGEM, NREL, US Department of Energy, California Public Utilities Commission, , Ministry of New and Renewable Energy (India)
Transformed variable	Unit	
Solar PV capacities variation _{i,t}	Percentage points	
GDP per capita growth _{i,t-1}	Lagged GDP per capita growth %	
Foreign elec. trade	GWh	
CO ₂ growth _{i,t-1}	Lagged CO ₂ emissions per capita and per kWh growth (%)	
Oil prod. growth _{i,t}	%	
Nuclear capacities share _{i,t}	%	
Gas price growth _{i,t}	%	
Oil price growth _{i,t}	%	
Urban rate _{i,t}	%	
FIT _{i,t}	dummy (1 or 0)	

Note: Enerdata is an online interactive data tool, which provides various statistics related to the energy industry (such as production, consumption and trade of oil, gas, coal, power and renewables; CO₂ emissions from fuel combustion). Link to Enerdata: <https://yearbook.enerdata.net/>.

Figure 1.B.1: Share of utility-scale solar PV in the total electricity capacities (in %)



Note: Authors' calculations based on data extracted from Enerdata.

Appendix 1.C Robustness checks

Table 1.C.1: Linear model and model with interaction variables estimation results

	Linear	Interacted
	(1)	(2)
	Coefficient	Coefficient
GDP per capita growth $_{i,t-1}$	-2.739***	-2.878***
Foreign elec. trade $_{i,t-1}$	$-8.620 \times 10^{-6**}$	$-8.670 \times 10^{-6**}$
CO ₂ growth $_{i,t-1}$	-0.194	-0.310
Oil prod. growth $_{i,t}$	-0.031	-0.027
Coal prod. growth $_{i,t}$	-0.086	-0.107
Nuclear capacity share $_{i,t}$	-9.279***	-9.506***
Gas price growth $_{i,t}$	0.099	0.232*
Oil price growth $_{i,t}$	-0.150	0.433
Urbanization rate $_{i,t}$	4.721***	4.926***
FIT $_{i,t}$	0.431***	0.446***
Constant	-2.421***	-2.565***
CO ₂ growth $_{i,t-1} \times \Delta OP$		0.846
Coal prod. growth $_{i,t} \times \Delta OP$		0.207
Nuclear capacity share $_{i,t} \times \Delta OP$		0.868
Gas price growth $_{i,t} \times \Delta OP$		-0.747*
Oil price growth $_{i,t} \times \Delta OP$		0.646
Urbanization rate $_{i,t} \times \Delta OP$		-0.964*

Note: The dependent variable is the variation in the share of solar PV capacity in the total electricity capacities (percentage point). *** (resp. **, *) denotes significance at the 1% (resp. 5% and 10%) level based on robust standard errors. The fixed-effect specification is selected using the Hausman test. ΔOP denotes the interaction oil price growth variable. Number of observations: 39 countries over the 1997-2016 period (780 observations).

Table 1.C.2: PSTR estimation results for OECD and BRICS subsamples

	OECD		BRICS	
	Regime 1	Regime 2	Regime 1	Regime 2
GDP per capita growth $_{i,t-1}$	-3.210*	-3.210*	-0.457	-0.457
Foreign elec. trade $_{i,t-1}$	$-8.539 \times 10^{-6**}$	$-8.539 \times 10^{-6**}$	$5.468 \times 10^{-6*}$	$-8.882 \times 10^{-6***}$
CO ₂ growth $_{i,t-1}$	-0.347*	-0.077	-0.051	-0.051
Oil prod. growth $_{i,t}$	-0.047***	-0.047***	0.357***	0.000
Coal prod. growth $_{i,t}$	-0.132	-0.082**	-0.038	-0.038
Nuclear capacity share $_{i,t}$	-9.325***	-8.680***	-7.606	0.115
Gas price growth $_{i,t}$	0.501**	-0.089	-0.433*	-0.058
Oil price growth $_{i,t}$	-0.130	0.711***	0.231	0.231
Urbanization rate $_{i,t}$	5.923***	5.400***	5.398***	4.520***
FIT $_{i,t}$	0.503***	0.503***	-0.188	-0.188
c		0.067***		0.067***
γ		119.3		119.3**
WB Linearity test		0.020		0.269
WCB Linearity test		0.018		0.096
TVP parameters WB test		0.935		0.999
TVP parameters WCB test		0.966		0.970
RNL WB test		0.937		0.999
RNL WCB test		0.966		0.971

Note: The dependent variable is the variation in the share of solar PV capacity in the total electricity capacities (percentage point). *** (resp. **, *) denotes significance at the 1% (resp. 5% and 10%) level based on robust standard errors. WB (resp. WCB) Linearity test is the result of the test checking the null hypothesis of linearity against the PSTR model with residual based wild (resp. wild clustered) bootstrap. The TVP parameters WB and WCB tests check the null hypothesis of our PSTR specification against the alternative hypothesis of time-varying PSTR. The RNL WB and WCB tests mention the results of tests checking the null hypothesis of our PSTR specification against the alternative hypothesis of PSTR with two transition functions. Number of observations: 34 OECD and 5 BRICS countries over the 1997-2016 period (680 and 100 observations, respectively).

Chapter 2

How financial markets react to Total's strategy of becoming a responsible energy major?

2.1 Introduction

“Environmentalism is not a fad, and corporations must respond correctly” said Lee M. Thomas (1992) former Administrator of the United States Environmental Protection Agency from 1985 to 1989. This is even more true in 2020, where climate change has become a crucial matter among political and business decisions. As a matter of fact, implementing corporate environmental initiatives (henceforth CEIs) sounds to be of great priority (Thomas, 1992). Oil and gas companies may thus play an important role in the energy transition and have already become active in low-carbon energy technology markets (Zhong and Bazilian 2018; Pickl 2019). Hence, analyzing the impact of diversification into clean energy seems to be of particular relevance. In this chapter, we focus on Total SE¹ (Total thereafter)—one of the biggest international oil and gas company—and investigate its business diversification as well as environmental commitments as part of its strategy to become the “responsible energy major”. To this end, we analyze the impact of Total’s specific announcements on stock returns, i.e., the valorization of the energy transition by financial markets. We rely on an event study, and compare the announcements linked to upstream oil and gas (core) activities, such as oil discoveries or production start-ups, and those referring to the energy transition and climate strategy of the Group. This allows us to address whether shareholders and financial markets welcome the strategy of Total to become a responsible energy major.

In 2019, more than one-third of all greenhouse gas (GhG) emissions comes from 20 fossil fuel companies.² The latter include (i) state-owned companies such as Gazprom, the National Iranian Oil Company (NIOC), and Saudi Aramco,³ as well as (ii) publicly listed investor-owned companies

¹Total SA has become Total SE following its registration with the Trade and Companies Register of Nanterre as a European Company, which occurred on July 16, 2020

²The Guardian (“Revealed: the 20 firms behind a third of all carbon emissions”, 9/10/2019). Data are based on the Climate Accountability Institute’s report which is not publicly disclosed. These companies include oil, gas and coal companies.

³The company has been listed on the Saudi Stock Exchange (Tadawul) in December 2019 making Saudi Aramco the world’s largest listed company (1.88 USD trillion) before Apple (1.18 USD trillion) and Microsoft Corp. (1.15 USD trillion).

such as BP, Chevron Corporation, ExxonMobil, Royal Dutch Shell, and Total. In this context, paying more attention to oil and gas companies is becoming urgent, especially since they have an important role to play in addressing climate change. According to Dr Faith Birol, executive director of the IEA, “the scale of the climate challenge requires a broad coalition encompassing governments, investors, companies and everyone else who is genuinely committed to reducing emissions,” adding “that effort requires the oil and gas industry to be firmly and fully on board” (January, 2020).⁴ Even though some of them are stepping up climate efforts to become “energy companies” instead of “fossil fuel companies” (Pickl 2019), greater efforts have to be made to reach the Paris Agreement which aims at fighting against climate change by limiting the global temperature rise well below 2°C. The diversification of oil and gas companies to low-carbon technologies is valued by the IEA to only 1% of their capital expenditures, which represents \$2.1 billion in 2019. Half of these expenditures is allocated to solar photovoltaic (PV) projects (\$1.1 billion) followed by onshore wind (\$0.4 billion), offshore wind (\$0.4 billion), carbon capture utilization and storage (\$0.1 billion), and biofuels (\$0.1 billion). However, awareness about global warming emerged earlier for some oil and gas companies (BP, Shell, and Texaco⁵) as mentioned by Kolk and Levy (2001) by using different types of climate measures such as measurement and external monitoring of emissions or renewable investment in the mid-1990s.

Zhong and Bazilian (2018) and Pickl (2019) point Total to be the most ambitious company in terms of diversification towards clean energy technologies. Total's disclosed low-carbon investment calculated as a proportion of total capex including asset finance, mergers and acquisitions, and venture capital spend from 2010 to the third quarter of 2018 reached 4.3%, half going to solar

⁴See <https://www.iea.org/news/oil-and-gas-industry-needs-to-step-up-climate-efforts-now>.

⁵The company merged with Chevron Corporation in February 8, 2002.

PV projects followed by energy smart technologies (BloombergNEF, CDP⁶). Indeed, Total has invested in many strategic firms or innovative start-ups in solar PV such as SunPower in 2011, but also in wind energy (United Wind, 2016), batteries (Saft Group, 2016), energy storage (Octillion, 2019), hydrogen (Sunfire, 2019), or energy efficiency (GreenFlex, 2017). This ranked Total as the first major in terms of low-carbon investments as a proportion of total capex before BP (2.3%), Equinor (1.8%), and Shell (1.3%). Total's portfolio of low-carbon businesses could account up to 20% of its sales by 2040. However, when it comes to renewable energy investment (excluding RandD and clean energy technologies), Total ranks four after Equinor (\$2.1 billion), BP (\$2 billion), and Shell (\$0.7 billion) according to Rystad Energy⁷ (2019). The Group thus invested \$0.5 billion in renewable energy out of \$22.2 billion total spendings on all energy types in 2019. BloombergNEF estimates that major oil companies have totalized a number of 70 deals of clean energy in 2019, which includes 13 deals in the solar sector followed by 11 deals in transport and mobility technology, 10 deals in digital and efficiency, 10 deals in energy storage, and 8 deals in the wind sector.

Comparing to their US counterparts, European majors seem to do better since Bloomberg considers European oil majors having closed seven times more deals (renewable electricity and storage companies) than US majors. BP together with Shell and Total account for 40 deals out of 70 deals in 2019. Indeed, the European majors appear to be more active players in the renewable market compared to their US counterparts which are largely involved in the US shale oil. Furthermore, US majors own much larger pools of oil reserves comparing to their European counterparts (Pickl 2019) which plays in favor of a lesser willingness to renewable energy investments. Total has particularly

⁶“CDP Global is an international non-profit organization comprising of CDP Worldwide Group and CDP North America, Inc. It is directed by a board of trustees and board of directors respectively. As an international organization, CDP receives funding support from a wide range of source.”

⁷Note that Zhong and Bazilian (2018) show different figures taken from Bloomberg (Hirtenstein 2018) : BP (\$0.2 billion), Eni (\$0.2 billion), Shell (\$2 billions), Total (\$0.5 billion) and Statoil (\$0.6 billion). However, also note that figures for Total do not change.

invested in solar technology with 1.7 GW of installed capacities in 2019, the front-runner low-carbon technology of the group. Indeed, renewable energy has become a very attractive technology for many reasons and is expected to capture two-thirds of global power plants investments by 2040 (IEA 2017a): (i) hydrocarbon extraction costs are getting higher due to, for instance, ultra-deep projects (Weijermars et al. 2014), (ii) lower oil prices (on average) since 2014 have made the unit cost per barrel produced harder to offset⁸ and (iii) renewable is an attractive business also because of lower costs. By 2035, power generation costs of renewable should fall by 26% for onshore wind, 35% for offshore wind and up to 60% for solar PV confirming the decrease initiated in recent years. The lower cost of electricity is mainly driven by reductions in total installed costs. Since 2009, solar PV module prices have fallen by 80% and wind turbine prices by 40% according to IRENA (2017). However, as specified by IEA (2020a), electricity cannot be the only solution for the energy sector's transformation. Actions to reduce their environmental footprint can also (to a large extent) be taken by bringing down CO₂ emissions of their core activities. This can be achieved by reducing flaring and methane leaks into the atmosphere and shifting from oil to gas (IEA 2020b).

Total hopes to become the “responsible energy major” as claimed by Patrick Pouyanné,⁹ chief executive officer (CEO) of the Group. The Group's ambition is notably to reduce the carbon intensity of the energy products offer to customers by 15% between 2015 and 2030 and by 40% between 2031 and 2040. Total is also committed – as part of the United Nations Sustainable Development Goals – to offer cleaner, more affordable, and more available energy for people through, among other plans, improving energy efficiency and developing profitable low-carbon electricity businesses. In 2019, Total's net investment reached \$17.4 billion (splitting between \$13.4 billion

⁸Despite the rise in prices in 2016, oil prices have remained lower since 2014 than those observed during the 2010-2014 period.

⁹“We will remain an energy major; our goal is for Total to become the responsible energy major: by which I mean a reliable, affordable and clean energy” said P. Pouyanné in an interview for Pipeline Magazine in November 2016.

in organic¹⁰ investment and \$4.1 billion in net acquisitions) compared to \$15.6 billion in 2018. One-third of the total net investment (\$6.2 billion) is dedicated to the “Integrated Gas, Renewable and Power” segment (iGRP), the new segment implemented in 2019 to the Group’s financial statement. This segment,¹¹ including liquefied natural gas (LNG) and low-carbon electricity businesses has confirmed the Group’s strategy of diversification to non-core activities (non-oil sector). The “Exploration and Production” segment remains first in terms of net investments accounting for \$9.7 billion. In 2019, the Group’s installed gross capacity of electric generation was 1.6 GW of solar (1.0 GW in 2018) and 1.3 GW of wind technologies (0.7 GW in 2018) as well as 0.1 GW of biogas and hydroelectricity. Total is targeting to install 25 GW of renewable electricity generation by 2025 thanks to the support of its subsidiaries Total Solar, Total Eren, Total Quadran and Sun-Power which ranks the Group has as a world leading investor in solar PV. In 2008, Total creates Total Carbon Neutrality Ventures (former Total Energy Ventures), the venture capital arm of the Group. The fund (accounting for 33 start-ups) is focused on investing in high-potential start-ups committed in carbon neutrality activities such as renewables, energy storage, or bio-plastics and recycling. In 2019, Total announces an increase in capital to a cumulative \$400 million over five years for the fund to support its ambition of being a responsible energy major. The fund has already invested more than \$200 million in innovative start-ups and is ranked three among venture capital funds in terms of green energy deals signed in 2016 (BNEF).

Because oil and gas companies play a major role on climate change and some of them have

¹⁰Company’s own investments excluding notably acquisitions and divestments.

¹¹Note that the split between LNG and low-carbon electricity businesses concerning net investments and adjusted net operating income is, as far as we know, not given by Total. However, the LNG part seems to mainly drive the segment as precised in a note in the financial statements of the Group: "Driven by strong LNG sales growth, operating cash flow before working capital changes for the iGRP segment more than doubled in the fourth quarter of 2019 and increased by 81% in 2019. Adjusted net operating income was 794 M\$ in the fourth quarter 2019, an increase of 17%, and 2,389 M\$ in 2019, a decrease of 1%, impacted by lower gas prices in Europe and Asia as well as higher DDA expenses on new projects." ; "Net investments rose to \$17.4 billion and reflect in particular the strategy to strengthen LNG and deep offshore, as shown by the acquisition of Mozambique LNG and the launching of Arctic LNG 2 in Russia and Mero 2 in Brazil".

already started the process of diversification, it is worthy of interest to investigate to what extent shifting from oil companies to energy companies is valued by financial markets. To address this key question, we rely on different types of announcements made by Total and we investigate how they impact Total's stock market returns. To this end, we rely on an event study to examine the market reaction to two main categories of announcements: i) upstream oil and gas strategy, and ii) energy transition and climate strategy. The first category refers to the core activities of the Group such as oil and gas discoveries, development and production start-ups, acquisitions and divestments. The second category focuses on announcements based on Total's commitment in the fight against climate change. This indeed raises the question to what extent financial markets value Total's climate-friendly actions and investments and if those actions can outperform core activities' investments. More specifically, we test if the market positively reacts to Total's strategy to become a responsible energy major. This chapter contributes to the literature as it focuses on the market valuation of the climate strategy of a European oil major, i.e., Total company. Total has publicly expressed its willingness to become the first responsible energy major by investing in non-core activities such as renewable energy. By investing in non-core businesses, Total has initiated a diversification process in favor of the energy transition. This chapter thus analyzes if this diversification process is welcomed (or not) by financial markets.

We apply an event study over 139 announcements from 2010 to 2019 on a daily basis. Our results show that the market significantly and negatively reacts to both the upstream oil and gas strategy and climate strategy of Total. However, the market seems to react more negatively to Total's climate strategy. After an announcement linked to its climate strategy, Total's returns dropped by 44 basic points (bps), while they decrease by 12 bps following an announcement rely-

ing on its upstream oil and gas strategy. As the market may not equally react to each subcategory, we also implement the event study for each subcategory. Over the three-day event window, we find that announcements of oil and gas acquisitions and production start-ups show, on average, negative abnormal returns. Turning to oil and gas development start-ups, results indicate positive average abnormal returns of 59 bps. However, the market seems to well anticipate announcements linked to oil and gas discoveries, divestments and strategic alliances as they are non-significant. Subcategories of the climate strategy also provide interesting results. The market significantly and negatively reacts to both the subcategories of climate commitment and renewable energy and low-carbon transportation. Finally, there is no sign of positive abnormal returns following an announcement linked to Total's climate strategy, whatever the subcategory of interest.

The remainder of this chapter proceeds as follows. Section 2.2 discusses i) the background of the climate strategy of oil and gas companies before investigating ii) the relationship between social and environmental performance as well as iii) the empirical evidence of the link between environmental and financial performance. Section 2.3 presents the data, and Section 2.4 the methodology employed in our empirical investigation. Section 2.5 reports the results from the event study analysis, and Section 2.6 concludes the chapter.

2.2 Background and literature review

In Section 2.2.1, we first analyze the background of the climate strategy of oil and gas companies as well as the context within which the oil and gas industry has integrated climate awareness and actions into its operations. As this study investigates the market reaction to specific announcements of Total with a particular emphasis on climate-friendly activities, we then focus in Section 2.2.2

on the theoretical literature dealing with the relationship between social responsibility and financial performance. Finally, in Section 2.2.3, we present empirical evidences of the link between environmental and financial performance.

2.2.1 Background of the climate strategy of oil and gas companies

Oil and gas companies face today increasing pressures from governments, stakeholders as well as citizens to strengthen their actions in order to limit their environmental footprint. Although climate change has become a very discussed topic since the Paris Agreement in December 2015, oil and gas companies have already taken part in the debate well before. They have initiated climate strategies to address climate change in the late 1990s, but with diverse timing and different strategies. In particular, Kolk and Levy (2001) investigate the climate strategy of different oil companies, including British Petroleum (BP), ExxonMobil, Royal Dutch Shell (Shell), and Texaco. BP and Shell appear to be the first to take the first step towards climate change (May 1997 for BP followed by Shell in September 1997 and Texaco in February 2000). For instance, BP, Shell and Texaco have initiated measurements of emissions and renewable investments (in particular in solar and hydrogen). However, ExxonMobil seems to be very skeptical, raising the lack of conclusive scientific evidence. Kolk and Levy (2001) highlight different company-specific factors which can explain the divergence among the oil industry on climate change:¹² i) locational factors, ii) economic and market position, and iii) internal organizational factors. The first factors put the focus on socio-economic determinants as well as the regulatory context raising the fact that societal awareness on climate change started to be a public debated topic first in the US in 1988¹³ and followed by

¹²In their book *Climate change and the oil industry – Common problem, different strategies*, Skjærseth and Skodvin (2001) highlight the three following factors : i) company-specific features, ii) the political context of corporate activity at the domestic level and iii) the international institutional context in which multinational companies operate.

¹³Note that the Exxon Valdez oil spill occurred in 1989, which contributed to accelerate concerns about conditions of production and extraction of oil. Following this event, environmental reports were published by Exxon and Texaco in 1990, followed by BP in 1995 and Shell in 1997.

Europe in 1992. With particular regard to the second point, which concerns economic factors, the oil industry has experienced different waves of diversification, especially in the mid-1970s. As specified by Fosse et al. (2016), main waves of mergers and acquisitions followed important structural changes implied by, for instance, the oil shocks in 1973/74 or the Asian crisis in 1997. Indeed, the first 1973/74 oil shock leads the industry to a new economic environment marked by uncertainty and, obviously, a weaker oil demand. Grant and Cibin (1996) note that this period experienced two main changes for the oil industry: “increasing competition” and “increasing turbulence”. At the time and until 1970, the “Seven Sisters¹⁴” dominated the petroleum industry. The 1973 oil crisis thus marked a turning point for the Major companies. Between 1973 and 1987, their global oil production share fell from 29.3% to 7.1%, and their global refinery capacity share decreased from 25.5% to 17% (Grant and Cibin 1996; Verleger 1991). The decline of their dominant position was the result of massive waves of nationalization, as well as the increasing development of smaller oil companies and national oil companies. The second factor identified by the authors as an “increasing turbulence” refers to the increasing volatility of oil prices after 1980. Between 1982 and 1991, most of the oil companies experienced important restructuring plans, including divestments of non-core activities,¹⁵ dismissals and acquisitions of core businesses. In this context of diversification and restructuring, Exxon emerges as a strong company exhibiting a return on equity of 12.7% in average during the 1990-1999 period while BP and Shell show a lower return on equity of around 9.5%. As a strong company, Exxon did not need strategy changes. Exxon-Mobil remains today a pure hydrocarbon focus business while BP, Eni, Equinor, Shell and Total have emerged as “energy companies” (Pickl 2019). This wave of restructuring (until late 1990s) is

¹⁴The Seven Sisters included the Anglo-Iranian Oil Company (now BP), Gulf Oil (now merged into Chevron), Royal Dutch Shell, Standard Oil Company of California (now Chevron), Standard Oil Company of New Jersey (Esso, then Exxon and now part of ExxonMobil), Standard Oil Company of New York (Socony, then Mobil and now part of ExxonMobil) and Texaco (merged into Chevron).

¹⁵Non-core activities corresponds to a previous wave of diversification of the industry which invested in alternative sources of energy such as solar power, nuclear energy or oil shales but also in minerals and real-estate. Here, divestments exclude coal, mining, real-estate and solar power.

part of the third component of the oil and gas companies' climate strategy and concerns internal organizational factors. The new internal organization of BP, Shell and Texaco occurs with arrivals of new top managers (Kolk and Levy 2001). Important international meetings such as the Kyoto meeting (1997) and the World Economic Forum (Davos, 1998) have had an important impact on these companies' strategies and raised awareness from the oil and gas companies' CEOs.¹⁶ Furthermore, the 1990s were marked by the rise of a new business model of the oil company, which aims at maximizing shareholder value through growing proven oil reserves and minimizing costs. For Stevens (2016) from the think tank Chatham House, this business model, which still stands as the current business model of the international oil companies,¹⁷ is becoming "increasingly ineffective" as illustrated by the title of the article *International oil companies – The death of the old business*. In his article, Stevens raises different arguments showing that the oil industry's business model is becoming ineffective. First, the industry has shown difficulties in increasing oil reserves, one of the main objectives of the business model since 1990. Second, oil and gas companies have exhibited weak performances on financial markets as well as inflated dividends (through share buybacks to secure the support of shareholders), creating difficulties in evaluating investors sentiment through stock value. Furthermore, the oil and gas industry exhibits a lower return on investment than the other industrial companies. In 2014, the oil and gas industry's return on investment¹⁸ was less than 6% while industrials' one (excluding oil and gas) was 14% (Stevens 2016; Tomorrow Energy 2015). Furthermore, the industry already showed a low profitability a few years before the oil prices plummet in 2014.

As the first oil and gas company to recognize climate change challenges, BP has initiated a

¹⁶J. Browne (BP's CEO), C. Herkströter (Shell's CEO) and P. Bijur (Texaco's CEO).

¹⁷The study focuses on BP, Chevron, ExxonMobil, Shell and Total.

¹⁸Average of US SP500 oil and gas companies and SP500 industrials excluding oil and gas (Tomorrow Energy 2015).

new dynamic among the industry (Kolk and Levy 2001). Today, the oil and gas industry is the subject of various criticisms as it represents around one-third of global GhG emissions. If social and regulatory pressures have led (a part of) the industry to take a step beyond pure hydrocarbon products, i.e., their core businesses, other factors have to be taken into account. Oil and gas companies can play a great part in the new energy landscape to address climate challenges and “no oil and gas company will be unaffected by clean energy transitions” (IEA 2020*b*). According to the IEA, renewable energy is expected to be the fastest-growing primary energy source, led by solar PV. Between 2019 and 2024, renewable energy is expected to grow by 50%, consisting of an increase of 1200 GW. Thanks to cost reductions and digital technology improvements, renewable energy offers great opportunities for investments. In its Sustainable Development Scenario, the IEA considers the share of renewables to reach two-thirds of electricity generation output and 37% of final energy consumption by 2040. The growth potential of the renewable energy sector seems to offer a double opportunity for the industry: a way to show that they are taking some actions in favor of the energy transition, but also a way to make profit and diversify their activities. This is even more true in a context of rising costs of hydrocarbon extraction (Weijermars et al. 2014) and lower oil prices since 2014. As a result of more offshore and deep-water projects as well as unconventional resources, extraction costs have increased. This lead P. Pouyanné to say “oil is no longer a source of long-term growth” (2018). Furthermore, increasing upstream capital expenditure (capex) since 2000 have been supported by rising of oil prices, especially between 2011 and 2014 when oil prices were above \$100/barrel (Weijermars et al. 2014). Lastly, oil companies will also face a decrease in demand growth for gasoline¹⁹ and diesel between 2019 and 2025 due to implemented policies together with a rise in the popularity of electric vehicles (IEA 2020*a*). With regard to this new energy environment, oil and gas companies have initiated a transition from oil

¹⁹Gasoline demand growth represents 2.5 mb/d over the period 2013-19 but is expected to reach 0.5 mb/d over 2019-25.

companies to energy companies (Pickl 2019). In a recent study, Pickl (2019) ranks Shell to be the first oil company in terms of renewable strategy. Different assessment criteria are presented and weighted depending on their importance. Shell obtained a total weighted score of 90% followed by Total (70%). The main difference between the two companies remains in the “capital investment into renewables” section²⁰ as Shell’s renewable investment reaches \$1 billion per year while Total invests \$0.5 billion per year. The analysis also shows that five out of eight oil majors have explicitly formulated a renewable energy strategy and have created dedicated renewable energy teams. Furthermore, six of them have created a venture capital arm. Finally, the author highlights that oil majors’ renewable strategy seems to mainly depend on proven oil reserves. Indeed, oil majors with important proven oil reserves such as Petrobras and ExxonMobil exhibit a very low activity in renewable energy comparing to Shell, Total, Eni or Equinor.

Investment made by oil and gas companies in low-carbon businesses remains very low as it represents less than 1% of their capital expenditures, which corresponds to around \$2 billion (IEA 2020b). In a report of May 2019, the IEA estimated the global upstream oil and gas investment to reach \$497 billion in 2019. As indicated by the report, “there are few signs of a major change in company investment spending”. If the popularity of renewables is increasing, the oil and gas industry can take other actions among its core businesses to bring down GhG emissions. This can be done through methane reductions as well as reducing flaring and venting CO₂ but also shifting from oil to gas. Reducing methane leaks to the atmosphere appears to be the most effective action to take. In its Sustainable Development Scenario, the IEA estimates global emissions intensity of oil and natural gas operations to decrease by 40% in 2030 with methane reductions accounting for around half of the decrease. Methane is indeed considered to be the largest component of the

²⁰This section has a weight of 50%. Other sections have a 5% weight with no exception. Note that this analysis includes hydro, solar, wind energy technologies as well as biofuels, carbon capture and energy storage.

total GhG emissions (IEA, 2020). In 2019, the IEA estimates methane emissions coming from oil and gas operations to be 82 million tones (Mt) and total indirect GhG emissions (from oil and gas operations) to reach 5 200Mt of carbon-dioxide equivalent (CO₂-eq) accounting for 15% of total energy sector GhG emissions.²¹

2.2.2 Background of the link between social responsibility and financial performance

“There is one and only one social responsibility of business — to use its resources and engage in activities designed to increase its profits so long as it stays within the rules of the game, which is to say, engages in open and free competition without deception or fraud”. Originally taken from his book *Capitalism and Freedom* (1962) and then quoted in the *New York Times Magazine* in September 1970, Milton Friedman raised an important debate on the social responsibility of business and inspired many corporate governance theories. For Friedman, the firm’s purpose is to increase profits and reduce other expenditures including corporate social responsibility²² (CSR) that are not necessary as they induce costs and reduce profitability. Since the mid-1970s, particular theoretical and empirical attention has been paid to CSR and several theoretical frameworks have emerged.²³ In this spirit, Ackerman and Bauer (1976) develop a research program called Corporate Social Responsiveness at the Harvard Business School, considered as the first to analyze different tools and approaches of corporates to manage social responsibility. Salzmann et al. (2005) survey the literature²⁴ on the theoretical link between environmental and social performance and financial performance. Interestingly, they highlight different frameworks based on the typology of Preston and O’bannon (1997). While Friedman (1962, trade-off hypothesis) shows the negative

²¹Energy related CO₂ emissions reached 33Gt in 2019.

²²McWilliams and Siegel (2001) have defined CSR as “actions that appear to further some social good, beyond the interest of the firm and that which is required by law”. However, note that there is no very clear and unified definition of CSR in the literature.

²³Other authors of the 70s and the 80s have studied this relationship. Among others, we can cite Carroll (1979), Davis (1973), Frederick (1978), Freeman (1984), Miles (1986), Preston and Post (1975) and Wartick and Cochran (1985).

²⁴For another literature review on the link between social responsibility and financial performance see Allouche and Laroche (2005)

impact of environmental and social performance on financial performance, Preston and O'bannon (1997, managerial opportunism hypothesis and negative synergy) highlight the reverse causality that financial performance negatively causes environmental and social performance. According to McWilliams and Siegel (2001, supply and demand theory of the firm), there is no relationship between environmental and social performance and financial performance. In 1984, Freeman detailed the stakeholder theory opposed to Friedman's theory and argues that a firm has to create value for every stakeholder and not only shareholders. A positive link from environmental and social performance to financial performance is also found by Cornell and Shapiro (1987, social impact hypothesis) as well as Waddock and Graves (1997*a,b*, available funds hypothesis or slake resource theory and the "virtuous circle").

Turning to empirical studies, Vance (1975) and Posner and Schmidt (1992) find a negative link between CSR and CSP, whereas Pava and Krausz (1996), Preston and O'bannon (1997), McGuire et al. (1990) and Moore (2001) raised evidence of a positive link between these variables. Anderson and Frankle (1980) and Aupperle (1982) highlight neutral empirical evidence. More recently, Lin et al. (2019) investigate the causality link between CSR and corporate financial performance (CFP). Their main results show that better CFP leads to better CSR, but the reciprocal is not necessarily true. These findings are in line with the trade-off theory,²⁵ according to which firms socially responsive tend to have weaker financial performance measures. However, a majority of analyses²⁶ in the last decades claim for a positive relationship. Orlitzky et al. (2003) conduct a meta-analysis including 52 studies over 30 years and show a positive impact of social investment on profitability. Rettab et al. (2009) use a survey data from 280 firms in Dubai and find a positive

²⁵Modigliani and Miller (1963).

²⁶See Van Beurden and Gössling (2008), Galbreath and Shum (2012), Margolis et al. (2007), Shen and Chang (2009), Alafi and Hasonah (2012), Galbreath and Shum (2012) and Saeidi et al. (2015).

relationship on three measures of organizational performance, i.e., financial performance, employee commitment and corporate reputation.

Different mechanisms are at stake to explain that social responsibility, including environmental management, can impact firm value. In the spirit of Arlow and Gannon (1985), Klassen and McLaughlin (1996) argue that CSR (including environmental management²⁷) is part of corporate duty. McGuire et al. (1988) raise different theoretical arguments in favor of a link between CSR and financial performance. Although environmental performance implies higher costs, several benefits are at stake: companies can improve the morale and productivity of their employees but also reduce other costs and increase revenues by minimizing their environmental footprint. Klassen and McLaughlin (1996) show that environmental performance can thus influence financial performance through market gains and cost reductions. Indeed, a firm can realize revenues gains through environmental performance by i) extending its position in existing market as it can eliminate competitors who fail in setting up environmental management, and ii) entering new markets as costumers tend to show preferences for firms taking environmental initiatives and providing eco-friendly products. As shown by Dowell et al. (2000), the recognition of environmental performance can positively influence firm value through positive reputation effects. Looking to the cost side and as mentioned by Klassen and McLaughlin (1996), investing in environmental management can have significant financial advantages: i) preventing potential spills or environmental liabilities which can avoid costs or penalties, ii) reducing material and energy consumption which can lead to a greater productivity, and iii) setting up industry-wide standards for technology and management practices which can create a strong competitive positioning.

²⁷Klassen and McLaughlin (1996) show in a figure that environmental management (as part of corporate strategy) leads to environmental performance which then leads to financial performance.

2.2.3 Empirical evidence of the relationship between environmental and financial performance

The impact of environmental performance on financial performance emerges today to be of great interest to companies. Even though the hypothesis whereby environmental performance positively impacts financial returns seems to prevail today, this relationship appears to be relatively complex (Wood and Jones 1995, Corbett and Klassen 2006). The empirical evidence of the relationship between environmental and financial performance has been analyzed in different ways, but studies highlighted in the literature, however, do not seem to have reached a consensus.

As mentioned above, Friedman (1962) reminds us that a firm's purpose is to be profitable. In other words, investors can value corporate environmental initiatives (CEIs thereafter), but they have to remain profitable. However, many studies seem to support the hypothesis that CEIs have positive effects on financial performance. Stevens (1984) studies manufacturing firms and highlights that firms with low pollution control costs experience higher returns than those with high pollution control costs. Hamilton (1995) investigates the impact of Toxics Release Inventory²⁸ (TRI) data releases on TRI covered firms' returns by using an event study methodology. The day of the first release of the TRI report seems to result in negative abnormal returns for firms covered by the program. The average loss is estimated to be \$4.1 million in stock value. Capelle-Blancard and Laguna (2010) show, by testing the market reaction to chemical disasters (using an event study methodology), that polluting accidents are more sanctioned by the markets than non-polluting ones for the petrochemical industry. Looking at the particular relationship between emission reductions and financial performance, Hart and Ahuja (1996) examine a sample of 127

²⁸As defined by the US Environmental Protection Agency, « The Toxics Release Inventory (TRI) is a resource for learning about toxic chemical releases and pollution prevention activities reported by industrial and federal facilities ». The TRI is a mandatory program.

SP500 firms, especially manufacturing and mining industries. In their empirical investigation, they measure financial performance using return on equity (ROE). In their multiple regression analysis, they also add control variables such as research and development intensity, capital intensity, advertising intensity and leverage. Their results show that “it does indeed pay to be green”. In particular, firms need to wait about two years to benefit from improvements in financial performance (ROE) after engaging emission reduction efforts. A recent study of Gonenc and Scholtens (2017), also using regression analyses, investigates the interaction between environmental and financial performance of fossil fuel firms (oil, gas, coal and chemicals) from 2002 to 2013. They analyze a large international sample of firms and test the causality between the two variables as the stakeholder theory suggests that social performance is positively linked to profitability. They find a significant relationship between the two variables for fossil fuel companies, especially for Tobin's Q. Turning to the direction of causality, environmental performance positively impacts Tobin's Q which gives support to the stakeholder hypothesis. Looking to the relationship where environmental performance is the dependent variable, a negative relationship is found, in line with the trade-off hypothesis. They also find that industry-specifics, i.e., chemicals, coal or oil and gas companies matter, and highlight some heterogeneity regarding the results. When investigating the relationship where financial performance is the dependent variable, no relationship is evidenced for chemical companies at all levels. For coal companies, there is a very little negative and significant effect on Tobin's Q and return on equity. However, for oil and gas industries, the results differ from those of the previous industries. There is a positive impact on Tobin's Q which holds in favor of the stakeholder hypothesis, but a negative impact on stock returns (which stands for the trade-off hypothesis). Besides, oil and gas companies seem to be associated with lower risk. Finally, the study shows that financial performance has a negative impact on environmental performance

whatever firms' industry-specifics as it implies more emissions.

The literature relies on different methodologies to analyze the relationship between environmental and financial performance such as regression analyses,²⁹ portfolios analyses³⁰ and event studies. In this chapter, we focus on the third methodology i.e. the event study methodology which is widely used in the literature to analyze the market reaction following a specific environmental initiative announcement. In this methodology, financial performance is proxied by stock market returns as they are supposed to reflect all the available and public information, in line with the semi-strong form of the efficient capital market hypothesis. This methodology is particularly relevant in our study since we want to investigate how financial markets react following Total's specific announcements i.e. upstream oil and gas activities (core activities) and climate-friendly businesses (non-core activities).

Klassen and McLaughlin (1996) use this methodology to investigate the impact of environmental performance awards (especially investments in environmentally friendly products and processes) between 1985 and 1991, as well as environmental crises (spills, explosions, leaks for oil, gas, and chemical industries) from 1898 to 1990 for both manufacturing and service industries. Firms' environmental awards seem to be most welcome by the market as they result in positive abnormal returns. Unsurprisingly, significant and negative abnormal returns are reported following environmental crises. Gilley et al. (2000) worked on a database of 71 announcements of CEIs splitting into 39 process-driven and 32 product-driven environmental initiatives. They also apply an event study methodology and find no significant relationship between environmental initiatives and anticipated

²⁹For positive relationship see Cormier et al. (2011), Hart and Ahuja (1996), Russo and Fouts (1997), Kolk and Levy (2001). For negative relationship, see Jaggi and Freedman (1992), Clarkson et al. (2004) and Molloy et al. (2002).

³⁰See White (1996), Geczy et al. (2005) and Ziegler and Nogareda (2009).

economic performance. However, after proceeding to a more detailed analysis of the sample, they found that announcements of process-driven environmental initiatives result in negative market reaction. As mentioned by the authors, one explanation for this negative result is the punitive character induced by this type of initiative because greening processes are often mandated by governments' agencies. In other words, those processes which are not based on a voluntary step do not seem to be supported by investors. Turning to product-driven environmental initiatives, the market reacts positively. By introducing environmental-friendly new products, firms improve their environmental perceived reputation and benefit from a kind of "virtuous circle". The introduction of environmental-friendly new products has positive implications for process-driven environmental initiatives, which will, in turn, marginally supports the firm reputation. Halme and Niskanen (2001) focus on environmental investments made by all Finnish forest industries listed on the Helsinki Stock Exchange. They find that the market immediately reacts negatively following the announcement. However, they also find stock prices to recover very quickly after exhibiting negative behavior. Jacobs et al. (2010) worked on the market reaction after two categories of environmental announcements from 2004 to 2006: CEI³¹ (417 announcements) and Environmental Awards and Certifications³² (EACs, 363 announcements). They investigate the market reaction to the full sample, but also analyze subcategories of CEIs and EACs. Even though they conclude CEIs and EACs (full sample) to be not significant, they find two subcategories - voluntary GhG reductions and environmental philanthropy - to be significant. Voluntary emission reductions are associated with negative returns, which, according to the authors, is a result of shareholders' uncertainty about the positive impact on revenues. However, environmental philanthropy results in

³¹Self-reported corporate efforts to reduce their environmental footprint. They split the sample of EICs into 7 subcategories: environmental business strategies, environmental philanthropy, voluntary emission reductions, eco-friendly products, renewable energy, recycling and miscellaneous.

³²Environmental efforts reported by a third-party. The EACs subcategories are: ISO 14001 certifications, Leadership in Energy and Environmental Design (LEED, a certification for high environmental norms for building processes) certifications, federal awards, state/local government awards and non-governmental awards.

positive effects as it can improve the firm's reputation, thereby leading to higher gains. Turning to EACs, ISO 14001 certification (international standard of environmental commitment) appears to be positively significant, while non-government awards are negatively significant. The market does not react to other subcategories. Another study of Fisher-Vanden and Thorburn (2011) investigates through an event study the effects of voluntary CEIs referring to both EPA's Climate Leader and Ceres programs on shareholders wealth. They study companies' announcements of being new members in the EPA's Climate Leaders program (commitment to reducing greenhouse gas emissions) and find negative abnormal returns for firms entering this program. However, for those concerning the Ceres program more focused on general environmental commitments, abnormal returns are non-significant. Thus, firms' announcements of committing in GhG emissions reduction tend to reveal negative effects on their stocks.

2.3 Sample and data description

As stressed above, we aim at analyzing the stock market reaction to specific events coming from two main categories that rely on Total's strategy. In particular, we focus on its upstream oil and gas strategy, as well as its climate strategy in the scope of the energy transition. Analyzing both Total's upstream oil and gas and climate strategy allows us to investigate whether the market is more sensitive to core or non-core activities. In particular, we want to examine if the market positively reacts to Total's climate strategy to become the responsible energy major.

Announcements are extracted from Total press releases³³ from 2009 to 2019. Each announcement is identified and classified in a subcategory belonging to one of the two general categories

³³Note that using announcements from Total press release avoids to capture any feeling that can be created by news papers. Analyzing investor sentiment is not the objective of this chapter.

mentioned above. In **Table 2.3.1** we provide a definition for each subcategory together with the sub-sample size denoted as N . One interesting feature regarding Total press releases' headlines is the special wording used by the press team which allows (with only a few exceptions) an easy classification of each event. Our final sample consists of 139 announcements splitting into (i) 90 announcements for the upstream oil and gas strategy (Panel A), and (ii) 49 announcements for the climate strategy (Panel B). As an illustration, **Table 2.3.1** provides some examples of announcements for each subcategory.

Table 2.3.1: Subcategory description

Panel A: Upstream Oil and Gas Strategy subcategories (90 announcements)

	N	Description
Acquisitions	27	Acquisition of stakes in exploration licenses / concession licenses / competitor's assets
Discoveries	15	Discovery of new oil and gas plants
Development start-ups	11	Launch of the development phase
Production start-ups	17	Launch of the production phase
Strategic Alliances	10	Memorandum / Agreements signed with competitors
Divestments	10	Sale of licence interests / operatorship sale / equity sale

Panel B: Climate Strategy subcategories (49 announcements)

Acquisitions of innovative start-ups or strategic companies	10	Acquisition of innovative start-ups through Total Carbon Neutrality Venture. Strategic companies are other companies which do not belong to TCNV.
Renewable energy and transportation	13	Activities relying on renewable energy and low-carbon transportation.
Climate change commitments	26	Other announcements excluding acquisitions of innovative start-ups and strategic companies as well as renewable energy and transportation activities. This section more specifically includes CEO's speeches, conferences, international projects and Total's positioning on climate change.

To manage confounding events, we remove from the sample announcements occurring at the

Table 2.3.2: Examples of announcements by subcategory

Panel A

Acquisitions		“Total obtains a 30% interest in the giant Al-Shaheen field concession for 25 years” ; “Philippines - Total acquires a 75% interest in offshore Block SC56”.
Discoveries		“Total discovers oil in deep offshore Ivory Coast”; “USA: Total announces major deep-water discovery in the Gulf of Mexico”.
Development start-ups		“Russia: launch of the giant Artic LNG 2 development”; “Total launches Tempa Rossa field development in Italy”.
Production start-ups		“Total starts up production from Dalia Phase 1A on deep offshore Block 17”; “Bolivia - Start-up of production from Itaú Phase 2”.
Strategic alliances	Al-	“Total and China National Petroleum sign a strategic cooperation agreement”; “Total signs a memorandum of understanding with the state of Papua New Guinea on the key terms of the gas agreement of the Papua LNG project and launches engineering studies”.
Divestments		“Total sells equity in India’s Hazira terminal and signs LNG sales agreement with Shell”; “Nigeria - Total announces the sale of its participating interest in the offshore OML 138”.

Panel B

Acquisitions of innovative start-ups or strategic companies		“Total Energy Venture invests in smart grids with Autogrid”; “Total and SunPower partner to create a new global leader in solar industry (success of Total’s all-cash tender on SunPower)”.
Renewable energy and transportation		“Total starts up its second solar power plant in Japan”; “Total and Amyris renewable jet fuel ready for use in commercial aviation”.
Climate change commitments		“United Nations climate summit: Total partners with five major oil companies to launch the oil and gas climate initiative”; “Total presents proposed new organization to achieve its ambition to become the responsible energy major”.

same time, one trading day before or one trading after any other public announcement.³⁴ In other words, if an announcement of interest is disclosed together with another event (for instance, a dividend announcement) the same day or one day before or after, then the announcement of interest is removed from the sample.

To analyze the market reaction to Total's strategy, we run an event study using the CAC 40 as the market portfolio. Total and CAC 40 stock prices are extracted from Yahoo Finance on a daily basis from 2009 to 2019. Then, returns are calculated for each day as the growth rate of prices. For stock prices, we use the adjusted closed prices for both Total and the CAC 40.

2.4 Methodology

To investigate the impact of each category of announcements (together with their respective sub-categories) on Total's stock returns we perform an event study methodology. Around the event date, stock returns can be abnormally high depending on investors' behavior. Abnormal returns, defined as the difference between the observed returns and the estimated expected returns, provide us useful information about the market reaction to specific announcements. In particular, this methodology allows answering the question about the way financial markets respond to Total's climate strategy. The expected returns can be estimated through different models, among which the most popular are the market model (Fama et al. 1969) and the Capital Asset Pricing Model (CAPM) introduced by Sharpe (1964), Lintner (1965) and Black (1992). Consistent with the literature, expected returns are estimated through the market model, commonly used for short event windows.

³⁴See Gilley et al. (2000) and McWilliams and Siegel (1997).

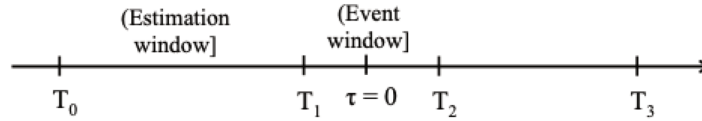
The principle of this method consists in determining i) the announcements of interest, ii) the period during which we analyze the potential abnormal returns called the event window, and iii) the estimation window to estimate the predicted returns. Turning to the event window, it is common to use a short event window in order to capture as precisely as possible the effects of the event of interest and control for potential confounding events. To this end, we choose a three-day event window (day -1, day 0 and day +1 where day 0 is the event day) since it can be hard to identify the precise trading day of the market's reaction.³⁵ Using a three-day event window allows us to screen for potential persisting effects after the event day, but also early warning signs the day before the announcement. Indeed, the announcement effect can be persisting around the event day, which means that the market needs time to adjust. However, if there is no effect on the event day, then the market has well anticipated the announcement. As a matter of fact, an analysis of daily stock returns implies to check whether the day of the event is a trading day or not and occurs during the opening of the stock exchange market.³⁶ The impact of an announcement occurring after the closing of the market must be analyzed on the trading day after (day +1). On the one hand, extending the event window to one day prior to the event allows us to capture potential information linkage. On the other hand, extending the event window to one day after is necessary as the event can occur after the closing of the market. Note that using a short event window also limits the problem of overlapping event windows. The absence of any overlap in the calendar time allows assuming that abnormal returns will be independent across securities (MacKinlay 1997).

Consistent with Capelle-Blancard and Laguna (2010), Gilley et al. (2000) and Jacobs et al. (2010) the estimation window is set over days -211 to -11 prior to the announcement day (i.e.,

³⁵The solution would have been to use time-stamped announcements and intraday stock prices. Unfortunately, access to such data has not been possible. Furthermore, stock returns using intraday data are more willing to contain market noise.

³⁶Opening of Euronext (CAC 40): 9am-5:30pm from Monday to Friday with the exception of banking holidays.

Figure 2.4.1: Timeline for an event study (Mackinlay, 1997)



day 0). Ending the estimation window several days, i.e., ten days prior to the event avoids capturing any effect of the announcement (Jacobs et al. 2010; Capelle-Blancard and Laguna 2010). Before estimating abnormal returns, some precisions about the notations are given. As in MacKinlay (1997), we define $\tau = 0$ as the event day. Thus, $\tau = T_1 + 1$ to $\tau = T_2$ corresponds to the event window and $\tau = T_0 + 1$ to $\tau = T_1$ corresponds to the estimation window where T_0 is the first day of the estimation window. We also define the length of the estimation window as $L_1 = T_1 - T_0$ and the length of the event window as $L_2 = T_2 - T_1$ (see **Figure 2.4.1** for an illustrated timeline).

Once the announcements, the event and estimation windows defined, we can identify the existence or not of abnormal returns. For this purpose, expected returns are estimated through the market model in line with the literature. In our study, market portfolio's returns refer to the CAC 40 and securities' returns to Total's returns. Thus, the market model (that links firms' stock returns with the market portfolio's returns) is defined as follows:

$$R_{i,t} = \alpha_i + \beta_i R_{m,t} + \epsilon_{i,t} \quad (2.4.1)$$

Where $R_{i,t}$ is the return of stock i (Total) at time t , $R_{m,t}$ is the market return (proxied by CAC 40) at time t , α_i is the intercept, β_i is the slope parameter and $\beta_i R_{m,t}$ is the proportion of stock i 's returns attributable to the market movements. Finally, $\epsilon_{i,t}$ is the error term which contains information that cannot be explained by the market movements, i.e., which captures the potential effects of the announcements of interest. α_i , β_i and the variance of the error term $\epsilon_{i,t}$

are estimated using Ordinary Least Squares (OLS). Thus, abnormal returns are obtained as the difference between the observed returns $R_{i,\tau}$ and the expected returns $\widehat{\alpha}_i + \widehat{\beta}_i R_{m,\tau}$:

$$AR_{i,\tau} = R_{i,\tau} - (\widehat{\alpha}_i + \widehat{\beta}_i R_{m,\tau}) \quad (2.4.2)$$

Where $AR_{i,\tau}$ are the abnormal returns for firm i in the event window. The cumulative abnormal returns (CAR_i) from τ_1 to τ_2 where $T_1 < \tau_1 \leq \tau_2 \leq T_2$ corresponds to the sum of abnormal returns for security i :

$$CAR_i(\tau_1, \tau_2) = \sum_{\tau=\tau_1}^{\tau_2} AR_{i,\tau} \quad (2.4.3)$$

We also calculate the average abnormal returns (AAR_τ) for day τ in the event window:

$$AAR_\tau = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^I AR_{i,\tau} \quad (2.4.4)$$

Where N is the number of announcements and I the number of firms. After calculating AAR_τ for each day in the event window, it is possible to aggregate the AAR_τ over the event window, i.e., from τ_1 to τ_2 where $T_1 < \tau_1 \leq \tau_2 \leq T_2$. We thus obtained the aggregated average abnormal return ($AAR_{[\tau_1; \tau_2]}$) for security i :

$$AAR_{[\tau_1; \tau_2]} = \sum_{\tau=\tau_1}^{\tau_2} AAR_\tau \quad (2.4.5)$$

Then, we calculate the significance of AAR_τ for day -1, day 0 and day 1, as well as the significance of the $AAR_{[\tau_1; \tau_2]}$ from $\tau_1 = -1$ to $\tau_2 = 1$. The test statistics are calculated as follows:

$$TEST_{\tau} = \frac{\sum AR_{\tau}}{\sigma_{\epsilon i}} \frac{1}{\sqrt{K}} \quad (2.4.6)$$

$$TEST_{[\tau_1; \tau_2]} = \frac{\sum_{\tau=\tau_1}^{\tau_2} AR_{\tau}}{\sigma_{\epsilon i}} \frac{1}{\sqrt{K}} \quad (2.4.7)$$

where K is the number of days in the event window³⁷ and $\sigma_{\epsilon i}$ the standard deviation of abnormal returns in the sample of interest.

For the sake of completeness, we also run a non-parametric t -test which does not rely on the Normal distribution, namely the Wilcoxon signed-rank test. This test uses ranked data, and tests for the statistical significance of the median abnormal return. In particular, the test statistic takes into account both the sign and the magnitude of abnormal returns (Brown and Warner 1980). It is worth mentioning that the number of abnormal returns being always higher than 30, the distribution of the Wilcoxon statistics tends to be Normal and test values can be then converted into a z-score. Furthermore, note that for all tests we report one-tailed p -value since we hypothesize that abnormal returns are negative for the upstream oil and gas category and positive for Total's climate strategy. For core-activities, negative returns may be expected since hydrocarbon businesses play a significant role in GhG emissions. For non-core activities, we expect positive abnormal returns because these activities are part of the energy transition process and can improve Total's reputation.

³⁷For more details about the calculation of test statistics, see <https://dss.princeton.edu>. The event study is running under Stata using the code from Princeton.

2.5 Results and discussion

In this section, we analyze the market reaction to Total's upstream oil and gas strategy (Section 2.5.1), and to Total's climate strategy (Section 2.5.2). We examine overall results as well as results for each subcategory as the market can value the subcategories differently.

2.5.1 Market reaction to Total's upstream oil and gas strategy

Let us investigate the market reaction to Total's upstream oil and gas strategy, which corresponds to 90 announcements. For the overall category, results are presented for the day before the announcement (day -1), the day of the announcement (day 0), and the day after the announcement (day 1), but also over the three-day event window from day -1 to day 1.

The results are presented in **Table 2.5.1**.³⁸ The average abnormal returns over the three-day event window ($AAR_{[\tau_1; \tau_2]}$) amount to -0.12% and significant at the 1% level. Turning to the average abnormal returns for each day in the event window (AAR_τ) for $\tau = -1, 0, 1$, the results indicate that they are all significant at the 1% level. Especially, we notice that average abnormal returns for the first day in the event window are different from zero and negative. The day preceding an announcement of upstream oil and gas activities, Total's returns dropped by 28 basic points (bps), which corresponds to a significant negative reaction of the market. Furthermore, for day 0 and day 1, average abnormal returns increase and become marginally positive to 0.11% and 0.06%, respectively. From day -1 to day +1, the significance of average abnormal returns significantly decreases, but they remain significant at the 1% level, which means that the market progressively integrates the information.

³⁸Note that for each category and subcategory in Section 2.5, β_i is significant at the 1% level.

The persistence of the announcement around the event day can be the result of the high volatility and uncertainty on the oil market. Since 2008, the oil market has indeed experienced a “recurring volatility” which has been “extreme” in 2018 according to D. Houssin, former president of IFP Énergies nouvelles. As mentioned by Pindyck (1990), higher oil price volatility can affect investment decisions as it creates uncertainty about energy input. Furthermore, Favero et al. (1992) and Mohn and Misund (2009) have shown a negative impact of oil price volatility on investments in oil and gas companies.

As mentioned in Section 2.1, the oil and gas companies' business model closely depends on oil and gas market conditions: for instance, the 1998 oil price collapse has led to a wave of mergers and acquisitions among the industry, and the 2014 oil price plummeting to major cuts in spending as well as a more selective investment to increase margins. A recent study of the Boston Consulting Group (*Winning back investors' trust - Value Creation in Oil and Gas 2019*) shows that the oil and gas sector has outperformed over the five-year period (from January 2014 to December 2018) in terms of total shareholder return³⁹ (TSR), raising a lack in investors' confidence. The oil and gas industry exhibits the worst median five-year TSR among fifteen industries including retail, technology, chemicals, insurance or banks. As a matter of fact, the consulting company highlights the oil price uncertainty to be the first factor of low TSR. The oil price uncertainty is mainly driven by US unconventional oil production as well as a potential change in oil demand (in a context of global warming highly associated with oil consumption). Another argument raised by the consulting company is the geopolitical uncertainty sustained by tensions between China and the US which have created uncertainty about the long-term economic growth and global trade. Finally, the BCG raises doubts among investors about the way the oil and gas industry manages

³⁹A measure of the total return generated by a stock to investors including capital gains and dividends.

costs (a lack of “capital-discipline rigor”) and maximizes shareholder returns, highlighting a lack in the industry’s credibility.

Turning to the non-parametric test for the three-day event period, the results are non-significant, meaning that median abnormal returns are not different from zero. However, the median abnormal returns in day -1 (0.17%) and day 0 (0.26%) are statistically different from zero at the 5% and 10% level, respectively. The results of the non-parametric test give thus support to the *t*-test for day -1 and day 0. Initially used to address the issue of misspecification of the *t*-test, Brown and Warner (1980) show that non-parametric tests may also suffer from such a problem because they assume the distribution of a security-specific performance measure to be symmetric. However, the literature (Fama et al. 1969) has demonstrated that abnormal returns (estimated through the market model) are skewed to the right, meaning that negative performance measures are more willing to happen than positives ones. Brown and Warner (1980) also precise that even a small degree of asymmetry can lead to a problem of misspecification, adding that “it is not obvious that the (non-parametric) tests would be more powerful (against alternative hypotheses) than the *t*-tests, particularly since the *t*-tests, with their additional restrictions, seem reasonably specified”.

Let us now check for potential differences among the subcategories as it can be possible that some subcategories are not equally valued by the market. Results by subcategory are presented in **Table 2.5.1** for the three-day event window only (because there are less than 30 observations by subcategory). Results indicate that only three subcategories out of six exhibit significant average abnormal returns: acquisitions (-0.30%), development start-ups (0.59%), and production start-ups (-0.65%). The negative reaction to upstream oil and gas acquisitions and production

Table 2.5.1: Results for the upstream oil and gas strategy

Upstream oil and gas strategy category				
	Day -1	Day 0	Day 1	Day -1 to Day 1
Average abnormal returns	-0.28%	0.11%	0.06%	-0.12%
<i>t</i> -statistics	-18.92***	7.24***	3.80***	-4.55***
Median abnormal returns	-0.17%	0.26%	0.01%	-0.04%
Wilcoxon signed-rank Z statistics	-2.09**	-1.36	-0.20	-0.32

Upstream oil and gas subcategories from Day -1 to Day 1				
	Average abnormal returns	<i>t</i>-statistics	Median abnormal returns	Wilcoxon signed-rank Z statistics
Acquisitions	-0.30%	-4.93***	-0.03%	-0.32
Discoveries	0.20%	1.47	0.00%	-0.15
Development start-ups	0.59%	2.79***	0.05%	-0.74
Production start-ups	-0.65%	-4.65***	-0.04%	-0.44
Divestments	0.20%	0.57	-0.20%	-0.36
Strategic alliances	-0.05%	-0.22	-0.08%	-0.11

Note: *** (resp. **, *) denotes significance at the 1% (resp. 5% and 10%) level.

start-ups is significant at the 1% level. However, financial markets seem to positively react by 59 bps (significant at the 1% level), following an oil and gas development start-up. This step in the oil and gas exploration and production process is essential as it determines the funding of the field production. The development start-up of an oil or gas field sends thus positive signals to investors because it implies a potential future oil or gas production. This is obviously a very expected announcement for shareholders to know whether the project will be funded or not, as it can be the result of long discussions between the different actors involved in the drilling. The negative reaction of the market by 65 bps to the production start-ups subcategory could rely on costs. In our dataset, production start-ups often concern offshore and deep-water plants, such as the Kaombo deep offshore project in Angola or the Moho deep offshore project⁴⁰ in Congo. Deep offshore projects are well-known to require higher extraction costs. However, the negative market reaction to oil and gas acquisitions may be closely linked to the explanations we gave in light

⁴⁰Note that Total operates in four important deep-water offshore projects: Egina (Nigeria), Moho Nord (Congo), Kaombo (Angola) and West of Shetland (UK).

of the overall results we obtain for the oil and gas upstream category. Turning to the last three subcategories, our results indicate there is no reaction of the market to oil and gas discoveries, divestments and strategic alliances, meaning that they are well anticipated. Oil research projects led by oil companies are more willing to be well anticipated as the geological composition and data collected are analyzed in detail before drilling. Exploration licenses also gave early warning signals about the oil production potential of the field. Furthermore, our results highlight that the market does not react to strategic alliances. Those alliances are often based on a former relationship or just represent an acknowledgment of partnership, which can be thus well anticipated by the financial markets. Finally, divestments can also be well anticipated since figures in financial statements are publicly available, and they can be expected as a result of internal strategy.

2.5.2 Market reaction to Total's climate strategy

As in Section 2.5.1, results for the overall category are presented in **Table 2.5.2** for day -1, day 0, day 1, as well as for the whole event window from day -1 to day 1. Results for each subcategory are also displayed in **Table 2.5.2** for the three-day event window only. The climate strategy of Total seems to be unwelcome by shareholders as we find a significant and negative overall effect of Total's climate strategy on stock returns. Over the three-day event window, abnormal returns decrease on average by 44 bps and are significant at the 1% level. The median abnormal return of -0.11% is also significant, but at the 10% level. Furthermore, with a particular look to each day in the event window, results indicate a certain persistence of negative average abnormal returns around the event date. For day -1, day 0 and day 1, abnormal returns are respectively -0.12%, -0.18% and -0.15%, all significant at the 1% level. It is possible that the market partially anticipates climate strategy linked to announcements and, therefore, takes time to adjust around the event day. As this type of news relies on non-core activities, the market may need time to integrate the information which is

quite different from the usual activities of a pure oil major. Furthermore, for each day in the event window, all average abnormal returns are negative and significant, whatever the day in the event window, meaning that investors do not welcome Total's climate strategy at all. As a result, the market does not seem to support the overall climate strategy of Total. However, one may say that the negative reaction of the market may be more the result of a sanction rather than an "unwanted" strategy. The current situation of global warming has raised awareness among financial markets and an increasing number of investors is now pushing the oil industry to act in favor of the energy transition. Traditional business models do not stand anymore, and shifts in corporate strategy are required. ExxonMobil, the US supermajor known to have maintained strong lobbying against climate change, is now facing growing pressure from investors to take climate actions. Last but not least, some investors may want the oil industry to go further in terms of low-carbon investments. As stressed above, low-carbon energy investments remain very low even though some majors, especially European majors, stand out. This negative result can also be interpreted as a manner for investors to express their request for Total to strengthen its actions in favor of the energy transition.

Table 2.5.2: Results for the climate strategy

Climate strategy category				
	Day -1	Day 0	Day 1	Day -1 to Day 1
Average abnormal returns	-0.12%	-0.18%	-0.15%	-0.44%
<i>t</i> -statistics	-4.66***	-7.16***	-5.97***	-10.27***
Median abnormal returns	-0.07%	-0.19%	-0.13%	-0.11%
Wilcoxon signed-rank Z statistics	-0.73	-0.94	-0.79	-1.36*
Climate strategy subcategories from Day -1 to Day 1				
	Average abnormal returns	<i>t</i>-statistics	Median abnormal returns	Wilcoxon signed-rank Z statistics
Climate commitment	-0.38%	-4.85***	-0.10%	-0.69
Green acquisitions	-0.04%	-0.13	0.11%	-0.07
RE and Transportation	-0.87%	-6.38***	-0.38%	-1.97**

Note: *** (resp. **, *) denotes significance at the 1% (resp. 5% and 10%) level.

When it comes to subcategories of Total's climate strategy, results (see **Table 2.5.2**) show that two subcategories out of three are significant at the 1% level. In particular, announcements of climate commitment, as well as renewable energy and low-carbon transportation, lead to negative average abnormal returns statistically significant at the 1% level. In the subcategory of renewable energy and transportation, we highlight a strong and negative reaction of the market of 87 bps. A deeper analysis of our data shows that Total, one of the biggest investor in solar energy, seems to have prioritized solar potential rather than fiscal incentives since solar (photovoltaic and concentrated solar) power plants are mainly located in countries⁴¹ where there is no public policy to support the development of renewable energy for large scale projects (with the exception of the U.S and Japan). Nevertheless, public policies are known to play a major role in supporting renewable energy development. It is then possible that the absence of any fiscal incentive has hampered the potential support of shareholders, generating costs that could have been avoided. Furthermore, this result may also give support to the fact that Total has to go further in terms of investments in low-carbon energy to reduce GhG emissions. Turning to the market reaction to the climate commitment subcategory, which mainly concerns speeches and Total's attendance at conferences, the market also seems to react negatively. This negative reaction could rely on the fact that investors may want more tangible actions about climate change. The third subcategory, which concerns green acquisitions, emphasizes the lack of market reaction to such acquisitions of innovative start-ups or strategic companies dedicated to low-carbon technologies. This may result in a better-anchored activity of Total in mergers and acquisitions as Total Neutrality Carbon Ventures was created in 2008. Finally, we found no sign of positive returns linked to the climate strategy of Total to become the responsible energy major, whatever the kind of green activities.

⁴¹Total operates several solar power plants in the U.S through SunPower (700 MW), in the United Arab Emirates (100 MW) and through Total Solar International in South Africa (75 MW), Chile (70 MW) and Japan (27 MW). With Total Eren, Total intends to operate in emerging countries.

Total's initiatives in favor of the energy transition are not positively valued by financial markets.

2.6 Conclusion

This chapter investigates the market reaction to announcements linked to core and non-core activities of Total. In particular, we examine how financial markets react to the climate strategy of the Group as well as its upstream oil and gas strategy. To this end, we built a dataset made up of 139 announcements from 2009 to 2019 extracted from Total press release, and perform an event study to analyze the market reaction to such announcements.

Our results show that over the three-day event-window, the market reaction to announcements relying on Total's climate strategy as well as its upstream oil and gas strategy is significant and negative. Furthermore, our findings highlight that the market reacts more negatively to announcements of Total's climate strategy. In average, abnormal returns decrease by 12 bps following an announcement based on the upstream oil and gas sector, and dropped by 44 bps when it comes to an announcement linked to non-core activities such as investments in low-carbon technologies. This finding shows no positive valuation of Total's commitment in terms of the energy transition. On the contrary, those actions seem to be not welcome by shareholders at all.

Consistent with the trade-off hypothesis of Friedman (1962), we found that environmental-friendly actions do not lead to positive financial performance. As mentioned by Friedman, investments in eco-friendly activities such as low-carbon activities may lead to additional costs. However, one may say that with a particular look at the current climate situation, investors should be more sensitive to climate commitment. One possibility for this negative reaction is the very recent di-

versification of the Group. Indeed, the “take off” of the energy transition among the oil industry is slow and, perhaps, has to be stronger and better anchored among the public opinion to be positively valued by the financial markets. If Hart and Ahuja (1996) showed that “it pays to be green”, they also specify that it takes time before benefiting from improvements in financial performance. It is also possible that Total’s environmental actions are perceived as not enough by investors as investments in low-carbon activities remain very low compared to oil and gas activities. Those actions are considered to be too weak and do not generate enough returns of scale for the Group. The BCG considers investors to worry about environmental actions that do not go far enough to mitigate risks of climate change. To this end, it should be interesting to investigate if this negative reaction will continue in the coming years or, on the contrary, will turn positive. Another interpretation of these results may stand for the possible investors’ lack of interest in low carbon energy. In this spirit, it should be possible that two classes of investors emerge: pro-environmental investors and those who don’t care about environment and the energy transition. Furthermore, our results indicate that green acquisitions are not significant, meaning that the market does not react so such announcements. In other words, this kind of announcement may be well anticipated by the market as they are closely linked to financial figures. Those activities seem to be better anchored in the non-core business since Total has invested in low-carbon businesses through Total Carbon Neutrality Ventures (created in 2008).

This chapter can be extended in various ways. First, it would be interesting to consider all majors. For instance, clusters of majors, i.e., energy majors versus pure hydrocarbon focus majors - such as ExxonMobil and Chevron - could be examined. Extending the panel of companies could indeed provide further information about the financial valorization of the climate strategy of oil

majors. Second, a promising extension would be to investigate whether the US market reacts differently from the European market. To this end, the CAC 40 should be replaced by the Nasdaq, and the US quotation of Total should be used. Third, it may be interesting to extend the methodology using a Fama-French three-factor model. These extensions are left for future researches.

Chapter 3

Can crowdfunding accelerate the energy transition in France?*

*This chapter is based on a joint paper written with Benoît Cheze, Emmanuel Hache and Valérie Mignon.

3.1 Introduction

Financing issues are central to the development of renewable energy (RE) projects (Painuly 2001*b*). In France, the Ministry of Environment considers crowdfunding—a tool for increasing capital through citizens’ or individual investors’ collective effort—to be an innovative instrument to raise funds to sustain and encourage the energy transition. The recent French law for the energy transition to support green growth (*Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte*, 2015) attributes a green label “*Financement participatif pour la croissance verte*” (crowdfunding for green growth) to businesses that meet specific criteria in terms of transparency and environmental quality of RE projects. Beyond the pure financial dimension, crowdfunding is also a way for citizens to save money in local operations, and facilitate social acceptance of RE projects. Furthermore, the Covid-19 pandemic has boosted French households’ saving, which amounts to €181,9 billion in the second quarter of 2020, an increase by €27,9 billion compared to the second quarter of 2019 (source: Bank of France). In this context, crowdfunding can be viewed as an opportunity to invest these additional savings in local projects to produce green electricity.

Crowdfunding has developed strongly in France over the last past few years. According to the French association Finance Participative France (FPF) in collaboration with Mazars (FPF and Mazars 2019), it reached €629 million in 2019 (+ 33% between 2018 and 2019), which consolidates the country’s lead in this sector. The economic sector represented €576 million in 2019, lead by the real estate sector (57%) and followed by the RE sector (17%). In the first half of 2020, crowdfunding in France has grown by 34% compared to the first half of 2019 (€329 million in 2019) to reach €320 million.¹ This kind of funding instrument has become very popular in France

¹Data based on statements coming from 52 French crowdfunding platforms.

as the amounts collected through crowdfunding platforms have been multiplied by eight since 2015.

Various factors may explain the success of this type of financing. In particular, Robano (2018) puts forward the diversity of benefits in using crowdfunding, including (i) financial benefits, such as being a quicker means to raise funds (comparatively to bank loans) or helping people marginalized by the traditional financial system, and (ii) non-financial benefits, such as increasing interactions between investors and entrepreneurs and, thus, improving the business growth by accumulating knowledge and experience from founders. Furthermore, the sustained growth of crowdfunding is also supported by the recently implemented French policy framework: the Greenfin label (2015) and the recent PACTE law launched in 2019 to boost small and medium businesses in France. In particular, the PACTE law pushed forward the current framework for the direct use of generated electricity.

As stressed above, crowdfunding appears to be a key tool to finance the energy transition in France. Accounting for only €120,000 in 2014, RE crowdfunding doubled between 2016 and 2017 to reach €20.5 million lead by solar photovoltaic (PV) installations (45%) and onshore wind power projects (45%) (Rüdinger 2019). The sustained growth of RE crowdfunding has continued to strengthen, as it reached €39 million in 2018, €67 million in 2019, and €92 million in 2020 (source: data published by the association Financement Participatif France in collaboration with the consulting group Mazars). Overall, RE crowdfunding stands out as the most dynamic sector of the crowdfunding market.

Acknowledging this sustained dynamic, this chapter aims at identifying the factors that moti-

vate the French citizens to participate in the financing of RE in France. Regarding the existing literature, various studies have shown a positive willingness-to-pay (WTP) for green energy electricity (Zarnikau 2003; Gossling et al. 2005; Borchers et al. 2007). Furthermore, according to the barometer of Vasileiadou et al. (2019), 97% of French people might support at least one type of RE technology (32% for solar PV and 31% for wind turbines), which may encourage the motivation of using crowdfunding to foster the development of renewables in France. However, the literature also highlights a significant lack of social acceptance for renewables and, in particular, for wind turbines (Jobert et al. 2007; Nadaï 2007; Nadaï and Van Der Horst 2010; Roques et al. 2010; IEA 2010).

Falling into this strand of the literature, we aim at analyzing the different modes of financing the energy transition in France, paying particular attention to crowdfunding. To this end, we rely on choice experiments and conduct a survey on a panel of 1020 people representative of the French population in January 2021. More specifically, we use the Discrete Choice Experiment (DCE) methodology, which allows us to measure the relative weights of various factors that influence French people's choice to voluntary finance—or not—RE in France. This is the main contribution of the present chapter as, to the best of our knowledge, we are the first to use the DCE methodology to analyze French people's preferences to finance RE projects in France using crowdfunding.

We obtain several significant and original results that can be summarized as follows. The estimation of a Random Parameter Logit (RPL) model underlines substantial heterogeneity in respondents' preferences. Our findings also show a significant infatuation of French people for crowdfunding as an alternative mode of financing to traditional finance to develop RE. Indeed,

52% of the respondents are willing to rely on crowdfunding to fund RE projects, while only 27% are familiar with this mode of financing, and only 3% have already invested in such projects. Finally, we find that French people are reluctant to finance onshore wind projects compared to solar photovoltaic installations—the latter appearing as the preferred renewable technology.

The rest of the chapter is organized as follows. Section 3.2 reviews the literature. Section 3.3 describes our experimental design, the survey, and the main characteristics of our panel. Section 3.4 outlines the DCE methodology, together with the various specifications. The estimation results and related comments are reported in Section 3.5. Finally, Section 3.6 concludes the chapter, and draws policy implications from our findings.

3.2 Literature review

The crowdfunding of RE projects is a relatively new phenomenon (Martínez-Climent et al. 2018), but the literature has already shown the potential of this type of alternative financing in the RE sector. Indeed, crowdfunding can be a way to face many challenges in funding RE projects and move towards a sustainable society (Testa et al. 2019). As Bonzanini et al. (2016), Candelise (2018) highlights the benefits of crowdfunding in financing European RE projects (through crowdfunding platforms): increasing local social acceptance, reducing the “Not In My Backyard” (NIMBY) problem, allowing a larger pool of investors to access to RE projects but also, redistributing revenues in the region affected by the project. Besides, several studies investigating the WTP for renewables (Zarnikau 2003; Gossling et al. 2005; Borchers et al. 2007) show a positive WTP for electricity.

Beyond the pure financial dimension, crowdfunding also appears as a way to address the prob-

lem of local social acceptance of projects by involving local communities and citizens (Bourcet et al. 2019). Enevoldsen and Sovacool (2016) note that wind power projects have known difficulties to develop in France due to the importance of nuclear energy in the electricity mix, the nature of the land in Southern and Eastern France, as well as the potential impact of wind turbines on wildlife and humans. However, they show that local social acceptance is the most important factor that may explain the lack of wind projects in France.

Local social acceptance is of particular relevance in the case of RE projects and appears to be a great challenge for wind power developers, especially due to the visual impact of wind turbines. In this vein, Jobert et al. (2007) investigate the determinants of wind energy projects' success in France and Germany. They consider three French case studies² between 2002 and 2004, and find four factors of success. They show that the visual impact is of particular relevance, as it constitutes the main reason for opposition to wind energy projects, in line with the literature (Walker 1995; Devlin 2005; Wolsink 2007). They also find that the quality of communication with the citizens (Krohn and Damborg 1999; O'Bryant 2002; Maillebouis 2003) and public participation in the planning process for wind energy parks (Wolsink 2007) are relevant factors. Finally, they show that ownership (territory owned by the commune or not) is a significant driver. Furthermore, according to De Crescenzo et al. (2020), crowdfunding is a means to overcome the NIMBY syndrome,³ which is of particular importance in the case of wind turbines. Indeed, the latter are visible in the landscape (Nadaï and Van Der Horst 2010), and this visual nuisance should be strengthened in the future as wind turbines' size is expected to increase (Manwell et al. 2010). Hence, crowdfunding could be a way to favor projects' local social acceptance (Bourcet and Bovari 2020), and to involve

²They also conduct interviews with scientists, representatives of the wind-energy federation and the wind-turbine industry, politicians, and developers.

³See also Jobert (1998), Krohn and Damborg (1999), and Wolsink (2000).

citizens in the energy transition (Vasileiadou et al. 2016).

In a report belonging to the CrowdfundRES project,⁴ Bergmann et al. (2016a) present the results of three online surveys conducted in 2015 in the European Union to assess the public’s perception of crowdfunding RE projects. The first survey is based on European citizens’ perception of crowdfunding RE projects (see Bergmann et al. (2021)). The second survey deals with crowdfunding platforms in general, and outlines a lack of transparency from project developers. The third survey looks at the perception RE project developers⁵ may have on crowdfunding (among other financing instruments). RE project developers who experienced crowdfunding have a favorable opinion regarding this type of financing, and indicate that its main advantages are that (i) it is a “simpler and faster process” to finance projects, and (ii) it improves public acceptance. However, financing costs of crowdfunding have not been addressed in this survey. If several studies have investigated crowdfunding benefits to finance RE projects, only a few have focused on investors’ motivation (Bergmann et al. 2016b; Vasileiadou et al. 2016; Bourcet and Bovari 2020; Bergmann et al. 2021).

Turning to the French case, Bourcet and Bovari (2020) recently investigated French citizen’s motivation to crowdfund RE projects. Using a probit regression analysis, and data from YouGov France for FPF and the French Ministry of Ecological Transition in 2019, they show that French people support the RE sector. As in the survey carried out by YouGov, they analyze two categories of respondents, i.e., (i) the crowdfunders who have at least invested once in a RE project, and (ii) a contrast group representative of the French citizens. They find that the French people’s

⁴This project has received funding from the European Union’s Horizon 2020 research and innovation program (grant agreement N° 646435). See <http://www.crowdfundres.eu/index.html> for more information.

⁵RE projects developers come from the Netherlands, Germany, Sweden, Spain and France.

perception of the RE sector, its durability, and the transparency of its investment opportunities, together with the perception of the risk associated with RE crowdfunding, are important drivers of investing in RE crowdfunding.

Regarding the European case, the survey from Bergmann et al. (2016b) investigates how crowdfunding platforms can increase private investments from European Union citizens into RE projects. Using a DCE methodology, they retain four attributes: (i) the type of project (company bonds or loans, project bonds or loans, equity (company shares) or community shares (donation to community)), (ii) the type of technology (small hydroelectric, small wind, solar PV (community-wide) or biomass boiler (community-wide)), (iii) the phase of the project (start-up, start of construction, end of construction or operational), and (iv) the rate of return (3%, 5%, 7% or 9%). The respondents of this survey (private investors, mainly from the Netherlands, France, and the UK) are generally aware of both crowdfunding and the RE sector, and have a high financial literacy level. Their findings show that the return rate is a significant driver of investment decision, which is also the case—but to a lower extent—for the type of technology, the development phase of the project, and the investment instrument’s structure. More recently, Bergmann et al. (2021)⁶ have provided the first large-scale analysis of the European public’s perception of the viability of crowdfunding as an investment instrument for RE projects. Their study is based on the opinion of 473 respondents coming from 30 nations. They found supportive results to use crowdfunding as a financial vehicle for RE projects: (i) the propensity to invest in RE projects *via* crowdfunding is high for those who have experienced crowdfunding, but even higher for those who have already invested in RE projects through crowdfunding, (ii) crowdfunding of RE projects stands as a viable alternative to traditional finance, (iii) crowdfunding of RE projects’ growth is likely to be significantly higher than for

⁶This study echoed the authors’ project of May 2016, published by CrowdfundRES.

other types of projects, (iv) moral and ethical issues are significant drivers of crowdfunding, and (v) there is no primary concern or limitation about investing in RE projects *via* crowdfunding, but investors awareness may emerge when it comes to the funding sources. Overall, beyond the key perspective offered by crowdfunding in the RE sector underlined by Bergmann et al. (2021), this type of financing appears to be of particular relevance for citizens with prior experience of this financing means.

Compared to these previous studies, the present chapter aims to fill a gap in the literature by assessing French people’s preferences regarding (voluntary) finance RE projects. To this end, we rely on the DCE methodology, and propose different RE financing tools to the panel of respondents, including crowdfunding and share purchases which are compared to the tax currently existing in France.⁷ Let us now describe our methodology.

3.3 The choice experiment

We use a discrete choice experiment (DCE),⁸ a quantitative methodology that relies on the consumer choice economic theory and a non-market valuation. Our study aims at eliciting preferences from French people without directly asking them for their preferred option to finance—or not—RE in France. To this end, we conduct a survey, and respondents are asked to state their preferences over hypothetical alternative scenarios, i.e., to choose between different options to finance the development of renewables (solar photovoltaic and onshore wind) in France. Various attributes describe each option (with different levels); one of them typically represents the respondent’s monetary contribution. Hence, respondents’ answers will allow us to evaluate the extent to which the

⁷This tax corresponds to €22.5/MWh.

⁸See Section 3.4.1.

attributes significantly influence preferences.

3.3.1 Choice of attributes and their levels

The DCE methodology consists of choosing the attributes and their different levels. Consistent with Bateman et al. (2002) and thanks to the results of a focus group, we finally select five attributes (along with their associated levels): (i) the technology, i.e., solar photovoltaic or onshore wind, (ii) the monetary contribution, (iii) the average return of this contribution, (iv) the distance between the place of residence and the RE project, and (v) the power supply of the project. Note that we voluntarily choose to exclude attributes linked to RE's negative externalities, in particular visual and noise impacts. Respondents were informed of our choice to omit those variables since we want to focus on other characteristics for the development of renewables. As shown in **Table 3.3.1**, we consider the following attributes:

1. *The technology type* developed in the project, i.e., solar photovoltaic or onshore wind turbines.

2. *The monetary contribution* paid by each French citizen. Money is held for four years. At the end of this retention period, money is given back plus the interests. The minimum level of this attribute is fixed to €10 to avoid squeezing potential low-income investors. This attribute takes the following values: €0 (only for the *status quo*), €10, €50, €300, and €1000.

3. *The average return* corresponds to the yearly averaged return of this contribution. It takes the following possible values: 0% (*status quo*), 0.5%, 2%, and 4%. Note that 0.5% corresponds to the return of the savings book “Livret A” in France.

4. *The distance* between the place of residence and the RE project. This attribute takes the following values: 0 km (for the *status quo* only), between 2 and 10 kms ($2 \text{ kms} < \dots \leq 10 \text{ kms}$), between 10 and 100 kms ($10 \text{ kms} < \dots \leq 100 \text{ kms}$), and above 100 kms ($> 100 \text{ kms}$).

5. *The power supply* of the project is expressed as the number of French people who can be supplied with electricity. This attribute is expressed as the equivalent of the power in MW of the RE project, as follows: 0 person (0 MW, *status quo*), 4 500 persons (5 MW), 18 000 persons (20 MW), and 27 000 persons (30 MW).

Figure 3.3.1 provides an example of a choice card.

Table 3.3.1: Attributes and their levels

Attribute	Description	Levels
Technology type	Type of RE technology developed in the project.	None (only SQ); solar panels; onshore wind turbines
Monetary contribution	Amount paid by each citizen in euros as an investment in the project. This amount is frozen during 4 years.	€0 (only SQ); €10; €50; €300; €1000
Average return	Yearly averaged return of the investment.	0% (SQ); 0.5%; 2%; 4%
Distance	Distance between the place of residence and the project.	None (only SQ); 2 kms < ... ≤ 10 kms; 10 kms < ... ≤ 100 kms; > 100 kms
Power supply	Number of French people who can be supplied in electricity thanks to the RE project.	0 person (only SQ); 4 500 persons; 18 000 persons; 28 000 persons

Note: “SQ” refers to levels in the *status quo* (but also possible in the other options), and “only SQ” concerns levels only possible in the *status quo* option.

Figure 3.3.1: Example of a choice card

	Crowdfunding	Share purchase	Statu Quo
Technology type	Onshore wind turbines	Solar panels	None
Monetary contribution	300 €	1 000 €	0 €
Average return	2 % /year	0.5 % /year	0 % /year
Localisation	2 kms < ... ≤ 10 kms	10 kms < ... ≤ 100 kms	None
Power supply	27 000 persons	18 000 persons	0 person

3.3.2 Experimental design

Setting up an experimental design is an important stage of DCE because all scenarios can not be presented to the respondents.⁹ It allows selecting the optimal combination of attributes and their levels into sets of alternatives, i.e., choosing the most relevant choice sets which will be submitted to the respondents. To do so, we use the D-optimality (or D-efficiency) criterion to measure statistical efficiency. We then obtain two blocks, each composed of 10 choice cards randomly assigned. Note that we also performed a pre-test of 60 respondents to ensure our questionnaire’s clarity and understanding.

Finally, the experimental design consists of 20 different choice sets divided into two groups of randomly assigned respondents. Hence, 10 choice cards were presented to each group of respondents.

⁹The total number of scenarios consists in $2 \times 3^2 \times 4^3 = 288$, which is definitely too high to be submitted to the respondents.

3.3.3 The survey

The online survey was conducted in January 2021 by a professional company using a representative sample of the French population which consists of 1020 respondents aged from 18 to 75 years.

The first part of the questionnaire was dedicated to general questions about the respondents' socio-professional status (gender, age, income level, level of education, place of residence ...) followed by a very brief context of our study on the financing of RE in France. Consistent with Johnston et al. (2017), it was indicated to the respondents that the survey results would be communicated to policymakers. The second part consists of presenting the different financing options (crowdfunding, share purchase, and a *status quo*) together with the five attributes. At this stage of the questionnaire, we also provided a practical illustration of a choice card for each financing option. The ten choice sets were then presented in random order. The last part of the questionnaire was dedicated to several questions about preferences, risk aversion, knowledge about RE, behavior, and the respondents' financial skills. The questionnaire lasted less than 20 minutes (see Appendix A for more details about the survey).

Table 3.3.2 reports the main socio-demographic characteristics of both our sample and the French population for comparison purposes. As shown, the values taken by the various characteristics in the two columns are pretty close, illustrating our sample's representativeness.

Table 3.3.2: Comparison of selected characteristics of our sample with the French population

	French population*	Sample
Size	67,422,241	1,020
Gender (% woman)	51.7%	52.9%
Age		
Young (18 to 29)	19.5%	17.5%
Young adult (30 to 44)	26.4%	28.1%
Adult (45 to 59)	28.2%	31.5%
Old (60 to 75)	25.9%	22.8%
Professional activity		
Top socio-professional category	20.4%	15.6%
Middle socio-professional category	42.9%	45.4%
Low socio-professional category	21.0%	20.2%
Retired	21.7%	18.5%
Inactive	10.9%	13.1%

* Based on census data provided by The National Institute of Statistics and Economic Studies (INSEE).

3.4 The Discrete Choice Experiment (DCE) approach and the different econometric models

We first describe the theoretical foundations of the DCE approach before presenting the three most used econometric models in the literature to analyze discrete choice data.

3.4.1 Theoretical foundations of the DCE approach

The DCE modeling framework relies on Lancaster's characteristics of value theory (Lancaster 1966) as well as random utility theory (McFadden 1974). This section presents both the use of the Random Utility Model in DCEs, and how the indirect utility functions are usually specified.

3.4.1.1 Random Utility Model in DCE

Since a good may be described by a set of characteristics (Lancaster 1966), its value becomes the sum of the values of all its characteristics. According to the DCE approach, an alternative $i \in [1; I]$

can then be described by a set of K observable characteristics, called attributes, as denoted by $X_i = (x_{i,1}, \dots, x_{i,k}, \dots, x_{i,K})'$. An individual $n \in [1; N]$ is described by A economic and attitudinal characteristics, called socioeconomic variables, denoted $Z_n = (z_{n,1}, \dots, z_{n,a}, \dots, z_{n,A})'$. The (indirect) utility $V_{n,i}$ is thus given by:

$$V_{n,i} = V(X_i, Z_n) \text{ for } n \in [1; N] \text{ and } i \in [1; I] \quad (3.4.1)$$

McFadden (1974) considered that individuals make choices according to a deterministic component based on both their measured characteristics Z and attribute alternatives X , along with some degree of randomness ϵ . The random utility $U_{n,i}$ of an alternative $i \in [1; I]$ for respondent $n \in [1; N]$ is therefore composed of a deterministic part, i.e., the (indirect) utility $V_{n,i} = V(X_i, Z_n)$, and the stochastic element, $\epsilon_{n,i}$, thereby capturing the unsystematic and unobserved random element of respondent n 's choice (Louviere et al. 2000).

$$U_{n,i} = V(X_i, Z_n) + \epsilon_{n,i} \quad (3.4.2)$$

Assuming the rationality of individuals, respondents choose the alternative i from a finite set of I alternatives, if its utility, $U_{n,i}$, is greater than the utility derived from any other alternatives j , $U_{n,j}$:

$$U_{n,i} > U_{n,j} \Rightarrow V_{n,i} + \epsilon_{n,i} > V_{n,j} + \epsilon_{n,j} \quad \forall j \neq i ; (i, j) \in [1; I]^2 \quad (3.4.3)$$

The probability that a respondent chooses alternative i is the same as the probability that the utility of alternative i is greater than the utility of any other alternative in the choice set

(Adamowicz et al. 1998). Following Train (2009), this probability is given by:

$$P_{n,i} = P \left\{ U_{n,i} > U_{n,j} \quad \forall j \neq i; (i, j) \in [1; I]^2 \right\} \quad (3.4.4)$$

$$\Leftrightarrow P_{n,i} = P \left\{ V_{n,i} + \epsilon_{n,i} > V_{n,j} + \epsilon_{n,j} \quad \forall j \neq i; (i, j) \in [1; I]^2 \right\} \quad (3.4.5)$$

$$\Leftrightarrow P_{n,i} = P \left\{ \epsilon_{n,j} < V_{n,i} - V_{n,j} + \epsilon_{n,i} \quad \forall j \neq i; (i, j) \in [1; I]^2 \right\} \quad (3.4.6)$$

3.4.1.2 Specification of the indirect utility functions

According to Equation (3.4.2), the random utility $U_{n,i}$ is composed of a deterministic component, $V_{n,i} = V(X_i, Z_n)$, and a stochastic element, $\epsilon_{n,i}$. Before estimating an econometric model, the deterministic part of the utility function $V_{n,i} = V(X_i, Z_n)$ must be specified. The linear specification is often chosen in the literature for the sake of simplicity. Thus, we have introduced the column vector of parameters $\beta_n = (\beta_{1,n}, \dots, \beta_{K,n})$, which are the coefficients quantifying the (linear) influence of the K attributes on utility that individual n associates with the I available alternatives.

An Alternative Specific Constant term is usually introduced to capture the effect of unobserved influences (i.e., omitted variables) on the utility function for the i -th alternative (ASC_i). It is a dummy variable assuming a value 1 if the i -th alternative, and 0 otherwise. In its most general form, the model is specified such that the utility of an alternative is expressed as follows:

$$U_{n,i} = (\eta_i + \phi_n Z_n) ASC_i + \beta_n X_i + (X_i)' \Gamma Z_n + \epsilon_{n,i} \quad (3.4.7)$$

where $\phi_n = (\phi_{n,1}, \dots, \phi_{n,A})$ are the coefficients representing the direct influence of the A socio-economic and psychological variables on the utility of the N individuals for alternative I . The matrix Γ of size $(K \times A)$, is composed of coefficients $\gamma_{k;a}$; it captures the effect of individuals' characteristics $z_{n,a}$ on attribute $x_{i,k}$.

3.4.2 Econometric models

Different econometric models can be used to analyze discrete choice data. Indeed, the heterogeneity of preferences can be modeled to different degrees, depending on (i) assumptions made on the distribution of the column vector of parameters $\beta_n = (\beta_{1,n}, \dots, \beta_{K,n})$, and (ii) the way socioeconomic variables are introduced. This section presents Conditional Logit (CL), Random Parameter Logit (RPL), and Latent Class (LC) models.

3.4.2.1 Conditional Logit (CL) models

The Conditional Logit (CL) model is a cornerstone for analyzing discrete choice data, and has been widely used in DCEs. This model has however several well-known limits. An important drawback is that it assumes homogeneous preferences across respondents, meaning that the probability that an agent n chooses alternative i in a choice set S , is considered fixed across all individuals ($\beta_n = \beta$, $\Gamma_n = \Gamma$ for all n), while we can expect the preferences to vary. Two other important drawbacks are (i) uncorrelated unobserved components, and (ii) the hypothesis of the independence of irrelevant alternatives (*IIA*).

IIA implies that the relative probabilities of the two options being chosen are unaffected by introducing or removing other alternatives. The (multinomial) logit probability that a respondent n chooses a particular alternative i is:

$$P_{n,i} = \frac{e^{V_{n,i}}}{\sum_j e^{V_{n,j}}} \quad (3.4.8)$$

The hypothesis of irrelevant alternatives implies that the relative probabilities of two options being chosen are unaffected by the introduction or removal of other alternatives. This is an

underlying assumption of the CL as shown by Equation (3.4.9):

$$\frac{P_{n,i}}{P_{n,k}} = \frac{\frac{e^{V_{n,i}}}{\sum_j e^{V_{n,j}}}}{\frac{e^{V_{n,k}}}{\sum_j e^{V_{n,j}}}} = \frac{e^{V_{n,i}}}{e^{V_{n,k}}} \quad (3.4.9)$$

If the *IIA* property is violated, then the CL model does not fit the data. Results will be biased, leading to unrealistic predictions, and hence a discrete choice model that does not require the *IIA* property should be used. Moreover, it does not use the information that the same individual makes several choices; thus, it cannot be as accurate as a model considering this supplementary information.

3.4.2.2 Random Parameter Logit (RPL) models

Compared to the CL model, the Random Parameter Logit (RPL) model (Mcfadden and Train 2000; Train 2009) relaxes the *IIA* hypothesis and can take the heterogeneity of preferences into account. Indeed, the preferences parameters β are allowed to vary randomly across respondents, in allowing for the fact that different decision-makers may have different preferences: $\beta_n \neq \beta_m \quad \forall n \neq m ; (n, m) \in [1; N]^2$. As such, conditional on the individual-specific parameters and error components, we can define the (multinomial) logit probability¹⁰ that respondent n chooses a specific alternative i for a given β :

$$P_{n,i}|\beta = L_{n,i}(\beta) = \frac{e^{V_{n,i}(\beta)}}{\sum_j e^{V_{n,j}(\beta)}} \quad (3.4.10)$$

Without taking into account the cross-effects of socio-demographic characteristics, the individ-

¹⁰As the error term is assumed to be *iid* Type I Extreme Value.

ual specific utility is simply modeled by:

$$U_{n,i} = \beta_n X_i + \epsilon_{n,i} \quad (3.4.11)$$

where $\epsilon_{n,i} \sim iid$ extreme value type I, and $\beta_n \sim g(\beta|\Omega)$.

Since β_n is not known, the unconditional choice probability of person n choosing alternative i is the integral of $P_{n,i}|\beta$ over the distribution of β :

$$P_{n,i} = \int L_{n,i}(\beta) f(\beta|\Omega) d\beta \quad (3.4.12)$$

$f(\beta|\Omega)$ is the density describing the distribution of preferences across individuals. Ω is a vector of the true parameters of the taste variation, e.g., fixed parameters of the distribution representing the mean and standard deviation of β_n within the population. The true distribution remains unknown, so, in theory, any distribution could be applied (Hensher and Greene 2003a). A common assumption made in the literature is to assume that random parameters are normally distributed,¹¹ but the one associated with the monetary attribute. The latter is usually kept fixed or supposed to follow a log-normal distribution to avoid a “wrong” sign (i.e., negative) for a share of respondents.

The choice probability in Equation (3.4.12) cannot be calculated exactly because the integral does not have a closed-form solution in general. This integral is approximated through simulations. For a given value of the parameters Ω , a value of β is drawn from its distribution. Using this draw, the logit formula in (3.4.10) is calculated. This process is repeated for many draws, and the mean

¹¹Random parameters are generally supposed to be normally distributed in the RPL model because it is the most easily applied distribution allowing for both negative and positive preferences.

of the resulting $L_{n,i}(\beta)$ is taken as the approximate choice probability yielding equation (3.4.13):

$$SP_{n,i} = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R L_{n,i}(\beta_r) \quad (3.4.13)$$

where R is the number of draws of β , and SP is the simulated probability that an individual n chooses alternative i .

3.4.2.3 Latent Class (LC) models

Another way to relax the hypothesis of the *IIA* and to account for the heterogeneity in respondents' preferences is to estimate a Latent Class (LC) model. In the latter, each respondent is sorted into a number of classes C in which preferences are assumed to be homogeneous with respect to attributes. Preferences are allowed to be heterogeneous between each latent class segment $c \in C$.

Compared to Equation (3.4.10), the logit probability that respondent n prefers a specific alternative i over alternatives j is no more defined for a given β but becomes conditional on class c . Indeed, the β 's are now assumed to follow a discrete distribution and belong to one class c of C classes. Thus, the conditional probability that respondents who are members of class c choose alternative i is:

$$P_{n,i}|\beta_c = \frac{e^{V_{n,i}(\beta_c)}}{\sum_j e^{V_{n,j}(\beta_c)}} \quad \forall c \in [1, \dots, C] \quad (3.4.14)$$

where β'_c is the vector of preferences parameters specific to each class c , representing the average importance of each attribute for respondents belonging to c .

The unconditional probability of individual n selecting choice option i can be expressed as:

$$P_{n,i} = \sum_{c=1}^C (\Pi_{n,c} P_{n,i} | \beta_c) = \sum_{c=1}^C (\Pi_{n,c} \frac{e^{\beta_c X_i}}{\sum_j e^{\beta_c X_j}}) \quad (3.4.15)$$

where $\Pi_{n,c}$ is the probability of membership of respondent n in class c :

$$\Pi_{n,c} = \frac{e^{\phi_c Z_n}}{\sum_h e^{\phi_h Z_n}} \quad (3.4.16)$$

where Z_n is the vector of psychometric constructs and socioeconomic characteristics, and ϕ is the vector of parameters associated with Z_n (Boxall and Adamowicz 2002).

According to Equation (3.4.16), the probability of belonging to a class c depends on the respondents' social, economic, and attitudinal characteristics. Combining Equation (3.4.15) and Equation (3.4.16), it comes that the LC model assumes that respondent's characteristics affect her choice indirectly through their impact on segment membership. Note that ϕ_c includes $C - 1$ class membership parameters, with ϕ_C being normalized to zero for identification. All other coefficients ϕ_c are thus interpreted relative to this normalized class.

3.5 Accounting for respondents' heterogeneous preferences: estimation results

3.5.1 The RPL specifications

We account for respondents' heterogeneous preferences by first estimating a RPL specification.¹² **Table 3.5.1** reports the corresponding estimation results, in which all attributes are modeled as dummy-coded variables¹³ except for the monetary contribution attribute specified as a continuous variable. As mentioned in the literature (Hensher and Greene 2003b), it is common to assume that coefficients associated with the monetary attribute are log-normally distributed, whereas others follow a Normal distribution. The log-normality hypothesis of the monetary contribution is logical, since it is a positive and quantitative attribute. Furthermore, all RPL models (with and without interactions with socioeconomic variables) are estimated using a full covariance matrix structure in which the random coefficients are assumed to be correlated.

Specifically, we consider two versions of the RPL model: (i) the RPL model without interactions with socioeconomic variables (**Table 3.5.1**), and (ii) the RPL model with interactions with socioeconomic variables (**Table 3.5.2**) where rows correspond to the attributes and columns to the socioeconomic variables. We specify (i) *ASC – Crowdfunding* as the alternative specific constant corresponding to the crowdfunding alternative, and (ii) *ASC – Share purchase* as the alternative specific constant referring to the share purchase alternative.

¹²For the sake of completeness, we also estimated a conditional logit (CL) model. The corresponding results are reported in Appendix C.

¹³Note that each value of these attributes is encoded as a dummy variable. For instance, the technology attribute is encoded as follows: (i) solar panels is a dummy variable taking the value 1 if the attribute corresponds to the solar photovoltaic technology and 0 otherwise, and (ii) onshore wind turbines is also a dummy-coded variable taking the value 1 if the technology type refers to wind turbines and 0 otherwise.

As we are interested in investigating whether or not crowdfunding is acclaimed by respondents as an alternative mode of financing to develop new RE projects, socioeconomic variables are not crossed with attributes but with both *ASC – Crowdfunding* and *ASC – Share purchase*. To be more precise, Equation (3.4.7) becomes respectively Equation (3.5.1) in **Table 3.5.1**, and Equation (3.5.2) in **Table 3.5.2**:

$$U_{n,i} = (\eta_i)ASC_i + \beta_n X_i + \epsilon_{n,i} \quad (3.5.1)$$

$$U_{n,i} = (\eta_i + \phi_n Z_n)ASC_i + \beta_n X_i + \epsilon_{n,i} \quad (3.5.2)$$

with $i = \{Crowdfunding; Share purchase\}$.

3.5.1.1 RPL model without interactions with socioeconomic variables

The estimation results of the RPL model without interactions with socioeconomic variables disclosed in **Table 3.5.1** are presented as follows: the first column of the table first shows the two financing alternatives—ASC-Crowdfunding and ASC-Share purchase—as well as the five attributes. For the records, technology type refers to solar panels and onshore wind turbines. It is worth mentioning that, due to the dummy trap issue, results for the attributes are presented with $(n - 1)$ dummies—i.e., the dummy with the smaller value is not reported in the tables (see **Table 3.3.1**). Here, only the “wind turbines” type is displayed to settle this dummy trap’s problem, i.e., the coefficient of wind turbines has to be compared to the missing value of the attribute which is here the solar panels. This rule is thus applied to all attributes. The second column reports the estimated coefficients together with their standard deviation in brackets. The last column of the table refers to the coefficients of the standard deviations. As shown, all standard deviations are

highly significant (at the 1 % level), meaning that the RPL model is definitely more relevant than the CL model: respondents' preferences are highly heterogeneous.¹⁴

All attributes are significant at conventional statistical levels. The alternative specific constant corresponding to the crowdfunding alternative is significantly positive, as well as the alternative specific constant corresponding to the share purchase alternative: choosing crowdfunding or share purchase alternatives positively affects respondents' utility compared to the *status quo* scenario. Furthermore, the coefficient associated with the ASC-Crowdfunding is higher than the one for the share purchase, meaning that respondents' utility is higher for the crowdfunding alternative.

Turning to the technology type, financing onshore wind turbines hurts respondents' utility compared to solar panels. In other words, French people prefer to finance solar panels. Besides, this finding supports our survey results: we asked respondents to identify their favorite RE technology, and solar panels appear to be the most preferred technology of French people (36.7 % for solar panels against 12.1 % for onshore wind turbines).

The monetary contribution is negative and significant at the 1 % level, which indicates that respondents do not want to invest a high amount of money. Looking at the standard deviation, the large value of the coefficient confirms a substantial heterogeneity among the respondents for this attribute, which indicates that some people may be more inclined to invest a large amount of money than others. The dummy variables associated with the average return are positive and highly significant, and their coefficient increases with the average return level. Hence, the higher the average return, the higher the respondents' utility.

¹⁴The superiority of the RPL specification over the CL model is confirmed by the values taken by CAIC and BIC criteria (see Table 3.C.1).

The dummy variables associated with the localization attribute are all negative and highly significant. Compared to the missing value of the localization attribute (“10 kms < . . . ≤ 100 kms”), the negative impact of localization on French people’s utility may result in the fact that they prefer to finance a renewable project close to their home, rather than a very distant project. In other words, they are more prone to fund a project for their department compared to a project developed in their region or beyond. Turning to the power supply, its effect on utility is positive compared to the “4 500 persons” dummy variable, and the coefficients of both dummy variables (“18 000 persons” and “27 000 persons”) are strongly statistically significant. We notice that big projects,¹⁵ but also projects closed to respondents’ place of residence, have a positive effect on French people’s decision. These interesting findings may come from the fact that respondents were aware that we do not consider negative externalities of RE projects (in particular, visual and noise nuisance) in this survey. Especially, when isolating the NIMBY effect, people agree to finance bigger projects and closed to where they live.

Finally, it is worth mentioning that standard deviations are all strongly statistically significant, meaning that our sample is highly heterogeneous. This result also supports the RPL model compared to the CL model, the former providing a better representation of respondents’ preferences.

¹⁵The power supply attribute was initially coded otherwise. In the focus group, this attribute was called “project size” and the associated values were “5 MW”, “10 MW”, and “20 MW”. However, the estimations showed that this attribute was not significant. We finally decided to express this attribute as the power supply of the project (number of persons who can be supplied in electricity).

3.5.1.2 Role of interactions with socioeconomic variables

We present in **Table 3.5.2** the results of the extended RPL (reduced) models taking into account interactions of the two ASC (crowdfunding and share purchase) with potential socioeconomic variables. Estimating such RPL models allows us to identify the potential origin of respondents' heterogeneity when choosing crowdfunding or share purchase rather than the *status quo* alternative. Using a stepwise regression procedure, we tested the significance of the interactions between the two ASC and potential socioeconomic regressors, and we retain significant ones. In all, five extended RPL models are reported, each one including one socioeconomic variable crossed with both ASCs.¹⁶

We retain four variables depending on the possible answers: (i) acceptability of the French government's goal to reach 35 % of RE in the electricity mix by 2030, (ii) environmental awareness, (iii) the intention to invest in RE projects (REPs), and (iv) the reason why respondents may choose to invest in crowdfunding. Testing such interactions may help us to better assess and understand heterogeneity among respondents. More specially, it can help us to categorize clusters of respondents according to socioeconomic criteria. In **Table 3.5.2**, attribute coefficients of the RPL models with interactions are closed to those of the RPL model presented in **Table 3.5.1**.¹⁷

Turning to the significance of interactions between socioeconomic variables and the two ASC (end of the table), the coefficient associated with the acceptability of the French government's objective to reach 35 % of RE in the electricity mix by 2030 is positive and strongly significant:

¹⁶We can not present all socioeconomic variables in a single extended RPL model as each of the five variables would be crossed with both ASCs, yielding to the well-known multicollinearity problem.

¹⁷Note that for three socioeconomic variables (acceptability of the French government's goal, environmental awareness and purpose of crowdfunding (not interested in)), the two ASC are non significant. Actually, this is not necessary a problem since the non-significance of the ASC can be the result of the interaction with the socioeconomic variable. The interaction may have captured the heterogeneity. Indeed, when the RPL model is estimated without any such interaction, the ASC captures the heterogeneity of the sample. However, we are not able to know where this heterogeneity comes from.

the more the respondents agree with this objective, the more they choose the crowdfunding and share purchase alternatives. For the environmental awareness variable, the same effect is at play, meaning that “pro-environment” respondents with a positive opinion on renewables are more prone to choose voluntary funding than other people. Regarding finance RE projects *via* crowdfunding, respondents who have no intention to invest in such projects are, as expected, not interested in choosing the crowdfunding or share purchase alternatives. However, those who are planning to invest in such projects are more willing to accept voluntary funding. Turning to the motivation of investing in crowdfunding, citizens who are not interested in (20 % of the respondents) obviously not intend to invest in crowdfunding.¹⁸

¹⁸Note that other possible answers for this question in our survey were “a return” and “a citizen gesture”. However, those answers were not significant when crossed with the two ASC.

Table 3.5.1: Results of the RPL model without socioeconomic interactions

Attributes:	RPL Model	
	Coefficient (S.E)	Coeff. Std. (S.E)
<i>.ASC-Crowdfunding*</i>	1.001*** (0.113)	- -
<i>.ASC-Share purchase*</i>	0.717*** (0.116)	- -
<i>.Technology type:</i>		
<i>Wind turbines</i>	-0.356*** (0.066)	0.476** (0.208)
<i>.Monetary contribution</i>	-7.837*** (0.225)	5.597*** (0.285)
<i>.Average return:</i>		
0.5%	0.390*** (0.106)	1.138*** (0.11)
2%	1.708*** (0.15)	1.249*** (0.1)
4%	2.525*** (0.215)	1.856*** (0.15)
<i>.Localization:</i>		
10 kms <... ≤ 100 kms	-0.184*** (0.06)	0.809*** (0.063)
>100 kms	-0.188*** (0.067)	0.889*** (0.085)
<i>.Power supply:</i>		
18 000 persons	0.698*** (0.09)	0.963*** (0.096)
27 000 persons	0.611*** (0.083)	1.135*** (0.097)
N (ind.)	1 020	
N (obs.)	30 600	
Log Likelihood	-7 942	

The RPL model is estimated with a full covariance matrix structure in which the random coefficients are assumed to be correlated.

* ASC-Crowdfunding: Alternative Specific Constant corresponding to the crowdfunding alternative. ASC-Share purchase: Alternative Specific Constant corresponding to the share purchase alternative.

*** indicates significance at 1 %, ** at 5 % and * at 10 %.

Table 3.5.2: Results of RPL models with socioeconomic interactions

. Socio-economic variables	Acceptability of the French government's goal		Environmental awareness		Planning to invest in REPs via crowdfunding				Purpose of crowdfunding	
	Coefficient (S.E)	Coeff. Std. (S.E)	Coefficient (S.E)	Coeff. Std. (S.E)	No		Maybe		Not interested in	
Attributes:	Coefficient (S.E)	Coeff. Std. (S.E)	Coefficient (S.E)	Coeff. Std. (S.E)	Coefficient (S.E)	Coeff. Std. (S.E)	Coefficient (S.E)	Coeff. Std. (S.E)	Coefficient (S.E)	Coeff. Std. (S.E)
<i>.ASC-Crowdfunding</i>	-1.591 (1.174)	- -	-0.716 (0.484)	- -	0.991*** (0.130)	- -	0.80*** (0.153)	- -	0.919 (0.665)	- -
<i>.ASC-Share purchase</i>	-1.309 (1.099)	- -	-0.676 (0.463)	- -	0.658*** (0.130)	- -	0.538*** (0.149)	- -	0.608 (0.642)	- -
<i>.Technology type:</i>										
<i>Wind turbines</i>	-0.295*** (0.057)	0.65*** (0.167)	-0.332*** (0.054)	0.607*** (0.105)	-0.172*** (0.048)	0.501*** (0.093)	-0.228*** (0.063)	0.43*** (0.171)	-0.272* (0.1551)	0.521 (0.591)
<i>.Monetary contribution</i>	-7.421*** (0.253)	4.301*** (0.459)	-7.157*** (0.153)	4.381*** (0.164)	-7.172*** (0.165)	3.414*** (0.093)	-7.408*** (0.251)	4.797*** (0.155)	-7.473*** (0.528)	3.131*** (0.158)
<i>.Average return:</i>										
0.5%	0.77*** (0.188)	1.215*** (0.172)	0.77*** (0.11)	1.034*** (0.199)	0.564*** (0.104)	1.046*** (0.109)	0.535*** (0.117)	0.987*** (0.118)	0.457** (0.227)	0.924 (1.157)
2%	2.072*** (0.298)	2.382*** (0.213)	1.934*** (0.146)	2.141*** (0.199)	1.971*** (0.134)	1.541*** (0.129)	1.715*** (0.125)	1.672*** (0.131)	1.732*** (0.125)	1.54*** (0.618)
4%	2.80*** (0.341)	3.113*** (0.302)	2.612*** (0.196)	2.90*** (0.183)	2.80*** (0.166)	2.136*** (0.143)	2.462*** (0.155)	2.286*** (0.136)	2.551*** (0.148)	2.152*** (0.167)
<i>.Localisation:</i>										
10 kms < . . . ≤ 100 kms	-0.146** (0.068)	0.399*** (0.12)	-0.19** (0.078)	0.404** (0.166)	-0.196*** (0.066)	0.746*** (0.072)	-0.222*** (0.077)	0.687*** (0.094)	-0.216 (0.177)	0.776*** (0.155)
>100 kms	-0.144 (0.116)	0.435*** (0.139)	-0.207** (0.09)	0.47*** (0.179)	-0.212*** (0.76)	0.671*** (0.07)	-0.258*** (0.092)	0.776*** (0.122)	-0.247 (0.156)	0.838*** (0.097)
<i>.Power supply:</i>										
18 000 persons	0.58*** (0.113)	0.60* (0.332)	0.503*** (0.091)	0.564*** (0.107)	0.704*** (0.087)	0.998*** (0.095)	0.487*** (0.09)	0.853*** (0.09)	0.563*** (0.303)	0.901* (0.543)
27 000 persons	0.569*** (0.119)	0.785*** (0.261)	0.521*** (0.079)	0.804*** (0.102)	0.663*** (0.078)	1.156*** (0.089)	0.499*** (0.08)	0.924*** (0.098)	0.506*** (0.179)	1.064*** (0.231)
Crossed with ASC-Crowdfunding	0.667** (0.321)	0.72*** (0.105)	0.478*** (0.105)	0.727*** (0.075)	-1.419*** (0.203)	5.136*** (0.461)	1.004*** (0.264)	2.701*** (0.572)	-1.333*** (0.228)	6.22*** (1.632)
Crossed with ASC-Share purchase	0.528* (0.292)	0.725*** (0.096)	0.403** (0.118)	0.683*** (0.053)	-1.201*** (0.172)	4.455*** (0.405)	0.934*** (0.25)	2.848*** (0.541)	-0.886*** (0.528)	5.718*** (0.549)
Log-likelihood	-7 543		-7 519		-7 615		-7 730		-7 763	

The RPL model is estimated with a full covariance matrix structure in which the random coefficients are assumed to be correlated.

* ASC-Crowdfunding: Alternative Specific Constant corresponding to the crowdfunding alternative. ASC-Share purchase: Alternative Specific Constant corresponding to the share purchase alternative.

*** indicates significance at 1 %, ** at 5 % and * at 10 %.

3.5.2 Two latent class model

The estimation results of the two latent class¹⁹ model are reported in **Table 3.5.3**. Each class gathers the respondents depending on their specific preferences. As shown in **Table 3.5.3**, depending on the class, the ASC-Crowdfunding and ASC-Share purchase do not have the same coefficient sign and are all significant at the 1 % level: class 1 is characterized by negative ASCs, while they are positive for class 2.

Turning to the sign and significance of the attributes for class 2—the most representative class (79.2 % of respondents)—we highlight strong similarities with the results of the RPL model presented in Table 3.5.1. The coefficients of each attribute exhibit the same sign and significance (except the “>100 kms” level, which is not statistically significant).

Regarding class 1, we find important differences in the sign and significance of the attributes compared to class 2. The technology type (namely wind turbines, compared to solar panels) and power supply attributes are non-significant. However, as in **Table 3.5.1**, the monetary contribution is highly significant and negative, as well as the localization attribute which exhibits the same coefficient sign (except the “>100 kms” level). We also obtain the same sign for the average returns’ coefficients, but respondents are more sensitive to high average returns. Indeed, the coefficient associated with the “4 %” level is higher and significant at the 1 % level, while the “2 %” level is half as high as the “4 %” level and significant at the 5 % level. Lastly, the “0.5 %” level is non-significant, meaning that this attribute positively affects respondents’ utility only for high

¹⁹We estimated a latent class model which includes socioeconomic variables proved to be statistically significant in the stepwise regression procedure used to obtain the five extended RPL models presented in **Table 3.5.2**. We choose to model a two latent class model as two different categories of respondents seem to emerge in our sample. This choice to estimate and present a two latent class model is more based on economic motivations rather than statistical ones (see in Appendix E for further information about statistical criteria).

levels of return.

Turning to interactions based on crowdfunding's motivations²⁰ (second part of the table), respondents who maybe plan to invest in RE projects through crowdfunding prefer to be in class 2 compared to class 1 where people choose to invest in crowdfunding for financial motivations rather than environmental ones. However, those who are not interested in crowdfunding obviously prefer to be in class 1 as the associated coefficient is positive and highly significant.

Overall, the two latent class model supports our assumption that there are (at least) two categories of respondents in our sample: those who are sensitive to the environment (class 2), and those who do not care (class 1) and are more sensitive to financial attributes (average return and monetary contribution).

²⁰The use of latent class specifications allows us to tackle down the multicollinearity problem which arose in extended RPL models presented in the previous section (see footnote 16). Thanks to this modeling it is now possible to include all the five socioeconomic variables in a single (reduced) model. Compared to RPL models, latent class models synthesize results in a way where respondents' preferences remain heterogeneous between classes but homogeneous within each class.

Table 3.5.3: Results of the two latent class model

Attributes :	Latent class model with 2 latent classes	
	Class 1	Class 2
	Coefficient (S.E)	Coefficient (S.E)
<i>.ASC-Crowdfunding</i>	-2.081*** (0.216)	0.958*** (0.085)
<i>.ASC-Share purchase</i>	-2.086*** (0.223)	0.779*** (0.084)
<i>.Technology type</i> <i>Wind turbines</i>	0.01 (0.135)	-0.211*** (0.031)
<i>.Monetary contribution</i>	-0.002*** (0.00)	-0.001*** (0.00)
<i>.Average return:</i>		
0.5%	0.321 (0.209)	0.329*** (0.053)
2%	0.543** (0.223)	0.982*** (0.065)
4%	1.178*** (0.217)	1.4*** (0.063)
<i>.Localisation:</i>		
10 kms ... <100 kms	-0.345** (0.146)	-0.066* (0.039)
>100 kms	-0.161 (0.147)	-0.064 (0.043)
<i>.Power supply:</i>		
18 000 persons	0.111 (0.167)	0.354*** (0.044)
27 000 persons	0.196 (0.148)	0.389*** (0.04)

Segment function: respondents' social and economic characteristics		
.Constant	0.327 (0.39)	- -
.Acceptability of the French government goal	-0.427*** (0.093)	- -
.Planning to invest in REPs via crowdfunding maybe	-0.887*** (0.219)	- -
.Purpose of crowdfunding not interested in	1.306*** (0.209)	- -
N (ind.)	212	808
N (obs.)	6365	24235
Class share (%)	20.8	79.2
Log likelihood	-8 868	

3.6 Conclusion and policy implications

This chapter analyzes the financing of RE projects in France by paying particular attention to crowdfunding. To this end, we use a discrete choice experiment methodology to investigate French people's preferences in terms of RE projects' voluntary financing compared to a *status quo* scenario where they do not change their habits. We thus pay particular attention to the monetary issue that citizens face when making an investment decision.

Estimating a RPL model, we find evidence of substantial heterogeneity in respondents' preferences. We show that French people are prone to voluntary finance RE projects, but through crowdfunding rather than share purchase. This result highlights that crowdfunding may be viewed as a promising financing vehicle for the energy transition. Specifically, we find that 52 % of French people will be willing to invest in RE projects *via* crowdfunding, whereas only 27 % of them are familiar with this financing instrument, and only 3 % have already invested in such projects through crowdfunding. We show that citizens are more prone to invest in solar panels than onshore wind

turbines regarding the type of RE. They are also sensitive to the project's localization—preferring financing installations close to their home—and its size—big projects being preferred to small ones.

Even if we find that French citizens are ready to invest in financing the energy transition, some barriers remain, such as the lack of (i) transparency of the projects, and (ii) information regarding financing tools. In this regard, crowdfunding has a key role to play as it is of particular relevance for citizens with prior experience of this financing means (Bergmann et al. 2021). Indeed, well-informed citizens who benefit from a high financial literacy are more prone to be crowdfunders than others. Policymakers should use this conclusion to disseminate information better, and raise awareness of crowdfunding as a way to finance the energy transition.

Appendix

Appendix 3.A Survey

Figure 3.A.1: Survey presented to respondents

Une équipe de chercheurs d'IFP Énergies nouvelles et du laboratoire EconomiX-CNRS de l'Université Paris Nanterre réalise une enquête sur le financement du développement des énergies renouvelables en France.

Cette enquête ne demande aucune connaissance particulière et vise à recueillir l'opinion des Français. La durée totale du questionnaire est inférieure à 15 minutes. Vos réponses seront traitées de façon anonyme et confidentielle.

Les résultats de cette enquête seront communiqués aux décideurs publics et pourraient ainsi influencer leurs choix.

1. Êtes-vous ? **1 seule réponse possible**

- Une femme
- Un homme

2. Quelle est votre année de naissance ? **4 chiffres**

|_|_|_|

3. Quel est le code postal de votre résidence principale ? **5 chiffres**

|_|_|_|_|

4. Habitez-vous dans un appartement ou dans une maison ? 1 seule réponse possible

- Maison
- Appartement

5. De combien de personnes se compose votre ménage ? 1 seule réponse possible

- 1
- 2
- 3
- 4 et plus

6. Quel est votre plus haut diplôme obtenu ? 1 seule réponse possible

- Aucun diplôme, CEP
- BEPC/BEP/CAP
- Baccalauréat/BP/BT
- BAC+2 (BTS, DUT, DEUG)
- BAC+3 (Licence, Licence pro, Bachelor, etc)
- BAC+4/+5 (Master, Maîtrise, DEA, DESS, école d'ingénieur, grandes écoles)
- BAC+8 (Doctorat)

7. Actuellement, exercez-vous une activité professionnelle ? 1 seule réponse possible

- Oui*
- Non

*Congé parental et arrêt maladie sont exclus.

8. Si non, quelle est votre activité ? 1 seule réponse possible

- Sans activité professionnelle / au foyer
- Retraité
- Chômeur
- En arrêt maladie
- En congé parental
- Étudiant

9. Si oui, quelle est votre profession ? **1 seule réponse possible**

- Artisan, commerçant, chef d'entreprise
- Profession intermédiaire
- Ouvrier
- Agriculteur, exploitant agricole
- Cadre, enseignant, professions intellectuelles
- Employé
- Autre

10. Quel est le revenu mensuel net moyen de votre ménage ? **1 seule réponse possible**

- Moins de 500 €
- De 500 € à moins de 1 000 €
- De 1 000 € à moins de 1 500 €
- De 1 500 € à moins de 2 000 €
- De 2 000 € à moins de 2 500 €
- De 2 500 € à moins de 3 000 €
- De 3 000 € à moins de 3 500 €
- De 3 500 € à moins de 4 000 €
- De 4 000 € à moins de 5 000 €
- De 5 000 € à moins de 6 000 €
- Plus de 6 000 €

Le gouvernement prévoit que d'ici 2030, **32 % de l'énergie consommée par la France soit produite à partir d'énergies renouvelables**. Aujourd'hui, cette part ne représente que 16 %.

Dans cette enquête, nous nous intéressons au développement :

- Des **éoliennes terrestres** (“*onshore*”)
- Du **solaire photovoltaïque** (panneaux solaires)

Source : Ministère de la transition écologique et solidaire

11. Êtes-vous favorable avec cet objectif d'augmentation de la part des énergies renouvelables (32 %) dans la production d'énergie consommée en France ? **1 seule réponse possible**

- Pas du tout d'accord
- Plutôt pas d'accord
- Ni d'accord, ni pas d'accord
- Plutôt d'accord
- Tout à fait d'accord

Dans cette enquête, trois options de financement des énergies renouvelables vous seront proposées :

1. **le financement participatif***, ou *crowdfunding*, est un échange de fonds entre individus en dehors des circuits financiers institutionnels, afin de financer un projet *via* une plateforme en ligne ;
2. **le don** ;
3. **l'achat d'actions*** *via* les marchés financiers (par le biais d'un intermédiaire financier comme votre banquier dans le cadre d'un plan d'épargne par exemple).

Aujourd'hui, chaque ménage Français paye en moyenne sur sa facture d'électricité une taxe annuelle d'environ 100 € (22,5 € le mégawatt/heure). Cette taxe permet de financer le développement et la mise en réseau des énergies renouvelables en France.

*Comme tout investissement, le financement participatif et l'achat d'actions présentent des risques de perte en capital et de liquidités.

Sources : Ministère de l'Économie, des Finances et de la Relance et Enerfip.

Nous allons désormais vous présenter **une série de 10 cartes de choix**. Dans chaque carte de choix, vous devez choisir une option parmi trois (un seul choix possible) :

- **deux options de financement** des projets d'énergies renouvelables (financement participatif ou achat d'actions dans l'entreprise porteuse du projet) ;
- **une option où vous ne changez rien par rapport à vos pratiques habituelles** (qui comprend la taxe que vous payez actuellement sur votre facture d'électricité).


À chaque option correspond : 1) un type de technologie, 2) une contribution financière, 3) un rendement moyen de cette contribution, 4) la localisation du projet et 5) l'alimentation électrique correspondante.

Caractéristiques des options


1. **Type de technologie** : le type d'énergie renouvelable qui sera développé dans le projet (éolien ou solaire).
2. **Contribution financière** : la somme d'argent que vous souhaitez investir dans le projet d'énergie renouvelable. Cette somme est « bloquée » pendant une durée de 4 ans.
3. **Rentabilité moyenne** : ce que vous rapporte, en moyenne chaque année, la somme que vous avez versée.
4. **Localisation** : localisation du projet d'énergie renouvelable (distance par rapport à votre domicile principal).
5. **Alimentation électrique** : la capacité d'alimentation électrique du projet exprimée en termes de nombre de personnes. Par exemple, un projet de 20 mégawatts (MW) correspond environ à la consommation électrique moyenne de 18 000 personnes par an.

Prenons un exemple fictif pour bien comprendre.


Dans le choix qui vous est présenté, quelle option préférez-vous entre :
 l'option « Financement participatif » ;
 l'option « Achat d'actions » ;
 le Statu Quo (prenant en compte la taxe que vous payez actuellement sur votre facture d'électricité).



	Financement participatif	Achat d'actions	Statu Quo	
Type de technologie	Éolien terrestre	Panneaux solaires	Aucun	Dans l'option « Financement participatif » le citoyen investit dans le projet d'énergie renouvelable <i>via</i> le financement participatif : <ul style="list-style-type: none"> • Le citoyen finance comme énergie renouvelable l'éolien terrestre. • Il investit 300 euros. • La somme versée lui rapporte en moyenne 2 % brut par an pendant 4 ans. • Le projet est localisé entre 2 kms et 10 kms de son domicile. • Le projet permet d'alimenter 18 000 personnes en électricité.
Contribution financière	300 €	1 000 €	Aucune	
Rentabilité moyenne	2 % /an	4 % /an	0 % /an	
Localisation	2 kms < ... ≤ 10 kms	> 100 kms	Aucune	
Alimentation électrique	18 000 personnes	4 500 personnes	0 personne	



	Financement participatif	Achat d'actions	Statu Quo	
Type de technologie	Éolien terrestre	Panneaux solaires	Aucun	Dans l'option « Achat d'actions » le citoyen investit dans le projet d'énergie renouvelable <i>via</i> l'achat d'actions : <ul style="list-style-type: none"> • Le citoyen finance comme énergie renouvelable le solaire photovoltaïque (panneaux solaires). • Il investit 1 000 euros. • La somme versée lui rapporte en moyenne 4 % brut par an pendant 4 ans. • Le projet est développé à plus de 100 kms de son domicile. • Le projet permet d'alimenter 4 500 personnes en électricité.
Contribution financière	300 €	1 000 €	Aucune	
Rentabilité moyenne	2 % /an	4 % /an	0 % /an	
Localisation	2 kms < ... ≤ 10 kms	> 100 kms	Aucune	
Alimentation électrique	18 000 personnes	4 500 personnes	0 personne	



	Financement participatif	Achat d'actions	Statu Quo	
Type de technologie	Éolien terrestre	Panneaux solaires	Aucun	Dans l'option Statu Quo : <ul style="list-style-type: none"> • Aucune technologie n'est financée. • Pas de contribution financière supérieure au montant de la taxe actuelle. • Pas de rendement. • Pas de choix possible de localisation du projet. • Pas de choix possible concernant la capacité d'alimentation électrique du projet. Autrement dit, je ne souhaite pas contribuer davantage au développement de ces énergies renouvelables <i>via</i> un financement volontaire, je paye déjà une taxe.
Contribution financière	300 €	1 000 €	Aucune	
Rentabilité moyenne	2 % /an	4 % /an	0 % /an	
Localisation	2 kms < ... ≤ 10 kms	> 100 kms	Aucune	
Alimentation électrique	18 000 personnes	4 500 personnes	0 personne	

Spécificités de l'enquête

Nous choisissons volontairement d'omettre comme énergies renouvelables la biomasse (principalement utilisée pour la production de chaleur), l'éolien en mer (capacités des projets trop importantes, peu comparables avec les projets à terre), la géothermie (trop spécifique, localisation géographique trop importante) et l'hydraulique (production saturée en France et limitée par le réseau fluvial).

Nous nous intéressons à des projets de moyenne et grande échelle. Plus spécifiquement, nous ne nous intéressons pas à l'implantation d'un projet spécifique dans une commune. Par conséquent, l'impact visuel et sonore des éoliennes et des panneaux solaires photovoltaïques n'est pas traité dans cette analyse. Nous sommes conscients que de tels facteurs pourraient avoir un impact sur vos choix, mais nous souhaitons concentrer notre analyse sur d'autres facteurs.

À vous de jouer maintenant !

Vous aurez une série de 10 choix à faire.

Pour chacun d'eux, vous êtes invité(e) à choisir une des trois options de financements proposées.

[\[Cartes de choix à mettre ici\]](#)

12. Y a-t-il une ou plusieurs(s) caractéristique(s) que vous n'avez pas prise(s) en compte ? **Une seule réponse possible**

- Oui
- Non

13. Si oui, la (les)quelle(s) ? **Plusieurs réponses possibles**

- Type de technologie
- Contribution financière
- Rentabilité moyenne
- Localisation
- Alimentation électrique

14. **[À poser si le choix est systématiquement le Statu Quo]** Pourquoi ne souhaitez-vous pas payer davantage pour le développement des énergies renouvelables ? **Plusieurs réponses possibles**

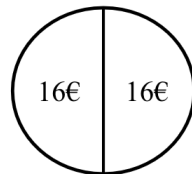
- Je n'ai pas assez de revenus
- Je ne crois pas au changement climatique
- Les énergies renouvelables ne changeront rien
- Je n'ai pas à payer plus car je paye déjà une taxe
- Je pense que c'est à l'État de le faire en augmentant les impôts
- Je préférerais financer un projet pour ma commune (coopérative, etc.)
- L'éolien terrestre et les panneaux solaires ne sont pas la bonne solution technologique
- Autre

Nous allons maintenant vous demander de faire un choix parmi les cinq choix affichés ci-dessous. Chaque choix correspond à un jeu de pile ou face qui offre deux gains possibles. Nous vous demandons donc de choisir quel jeu de pile ou face vous préférez entre les cinq jeux proposés ci-dessous.

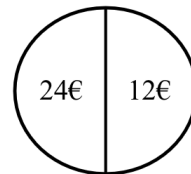
Par exemple :

- si je fais le choix A, je gagne 16 € que ce soit pile ou face ;

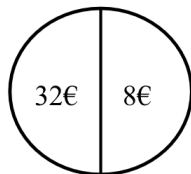
- si je fais le choix C, j'ai une chance sur deux de gagner 32 € et une chance sur deux de gagner 8 €.



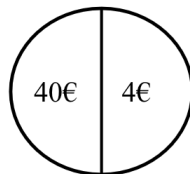
A



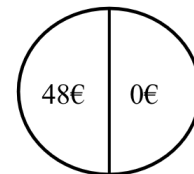
B



C



D



E

16. Quel jeu de pile ou face préférez-vous : **1 seul choix possible**

- A
- B
- C
- D
- E

Nous allons maintenant vous demander de répondre à une série de questions se présentant sous la forme de propositions pour lesquelles vous devrez donner votre opinion. Il n'y a ni bonnes ni mauvaises réponses, seul votre avis nous intéresse. Choisissez les réponses se rapprochant le plus de votre opinion.

17. Quelle énergie bas carbone préférez-vous ? **1 seule réponse possible**

- L'énergie solaire photovoltaïque
- L'énergie éolienne terrestre (« *onshore* »)
- L'énergie éolienne en mer (« *offshore* »)
- La biomasse*
- L'énergie géothermique
- L'énergie hydraulique
- L'énergie nucléaire

*Combustibles issus du bois ou des cultures agricoles employés pour la production de chaleur, d'électricité ou encore de carburants.

18. Que pensez-vous de la phrase « L'environnement est un sujet d'une importance capitale » : **1 seule réponse possible**

- Pas du tout d'accord
- Plutôt pas d'accord
- Ni d'accord, ni pas d'accord
- Plutôt d'accord
- Tout à fait d'accord

19. Sur les cinq dernières années, avez-vous été membre ou donateur d'une association environnementale ? **1 seule réponse possible**

- Oui
- Non

20. Concernant les énergies renouvelables, j'ai un avis : **1 seule réponse possible**

- Très négatif
- Négatif
- Ni négatif, ni positif
- Positif
- Très positif

21. Concernant les panneaux solaires, j'ai un avis : **1 seule réponse possible**

- Très négatif
- Négatif
- Ni négatif, ni positif
- Positif
- Très positif

22. Possédez-vous des panneaux solaires photovoltaïques pour produire votre électricité ? **1 seule réponse possible**

- Oui
- Non

23. Concernant les éoliennes, j'ai un avis : **1 seule réponse possible**

- Très négatif
- Négatif
- Ni négatif, ni positif
- Positif
- Très positif

24. Seriez-vous prêt à **acheter** une maison par les fenêtres desquelles des éoliennes seraient visibles ? **1 seule réponse possible**

- Oui
- Non

25. Seriez-vous prêt à **louer** une maison par les fenêtres desquelles des éoliennes seraient visibles ? **1 seule réponse possible**

- Oui
- Non

26. Une partie des éoliennes implantées sur le territoire national requiert des matériaux critiques (terres rares notamment) produits majoritairement en Chine pour leur fonctionnement. Considérez-vous que cela puisse être un frein à votre intention d'investir dans un projet éolien ? **1 seule réponse possible**

- Pas du tout d'accord
- Plutôt pas d'accord
- Ni d'accord, ni pas d'accord
- Plutôt d'accord
- Tout à fait d'accord

27. Les panneaux photovoltaïques requièrent des matériaux critiques (silicium notamment) produits majoritairement en Chine pour leur fonctionnement. Considérez-vous que cela puisse être un frein à votre intention d'investir dans un projet solaire photovoltaïque ? **1 seule réponse possible**

- Pas du tout d'accord
- Plutôt pas d'accord
- Ni d'accord, ni pas d'accord
- Plutôt d'accord
- Tout à fait d'accord

28. Les technologies éolienne et photovoltaïque requièrent une quantité de cuivre supérieure aux technologies de génération d'électricité classiques. Considérez-vous que cela puisse être un frein à votre intention d'investir dans ces technologies ? **1 seule réponse possible**

- Pas du tout d'accord
- Plutôt pas d'accord
- Ni d'accord, ni pas d'accord
- Plutôt d'accord
- Tout à fait d'accord

29. À votre avis, la majorité des éoliennes implantées en France est fabriquée par des entreprises : **1 seule réponse possible**

- Françaises
- Européennes
- Chinoises
- Autres

30. À votre avis, la majorité des panneaux photovoltaïques implantés en France est fabriquée par des entreprises : **1 seule réponse possible**

- Françaises
- Européennes
- Chinoises
- Autres

31. De manière générale, êtes-vous sensible à la problématique des matériaux stratégiques (lithium, cobalt, terres rares) dans la transition énergétique ? **1 seule réponse possible**

- Pas du tout sensible
- Plutôt pas sensible
- Ni sensible, ni pas sensible
- Plutôt sensible
- Tout à fait sensible

32. Une entreprise suédoise vise la commercialisation de mâts d'éoliennes en bois dès 2022 pour limiter l'empreinte carbone de la fabrication des éoliennes. Seriez-vous favorable à une généralisation de ce procédé ? **1 seule réponse possible**

- Pas du tout favorable
- Plutôt pas favorable
- Ni favorable, ni pas favorable
- Plutôt favorable
- Tout à fait favorable

33. Vous trouverez ci-dessous une liste de propositions. Pour chacune des propositions suivantes, veuillez indiquer votre degré d'accord en cochant la case correspondant le plus à votre opinion, sur une échelle allant de « Pas du tout d'accord » à « Tout à fait d'accord ». **1 seule réponse par ligne**

		Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Ni d'accord, ni pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
1	Adopter des comportements respectueux de l'environnement me définit bien					
2	Je suis le genre de personne qui agit en faveur de l'environnement					
3	Je me considère comme une personne respectueuse de l'environnement					

34. Vous trouverez ci-dessous une liste de propositions. Pour chacune des propositions suivantes, veuillez indiquer votre degré d'accord en cochant la case correspondant le plus à votre opinion, sur une échelle allant de « Pas du tout d'accord » à « Tout à fait d'accord ». **1 seule réponse par ligne**

		Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Ni d'accord, ni pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
1	Mon avis sur ces projets d'énergies renouvelables peut peser sur le résultat de cette enquête					
2	Je suis intéressé(e) par ces projets d'énergies renouvelables					
3	Ces projets d'énergies renouvelables sont très importants pour la France					
4	Les résultats de cette enquête vont influencer la décision de mettre en place des projets d'énergies renouvelables					
5	Les résultats de cette enquête vont influencer la décision de favoriser des modes de financement alternatifs aux impôts pour développer les investissements dans les énergies renouvelables					

35. Êtes-vous familier avec le financement participatif ? **1 seule réponse possible**

- Oui
 Non

36. Avez-vous déjà investi dans des projets d'énergies renouvelables *via* le financement participatif ? **1 seule réponse possible**

- Oui
 Non

37. Avez-vous déjà investi *via* le financement participatif dans d'autres projets (innovation, financement de société, films, projets technologiques ...) ? **1 seule réponse possible**

- Oui
 Non

38. Avez-vous l'intention d'investir dans des projets d'énergies renouvelables *via* le financement participatif ? **1 seule réponse possible**

- Oui
- Non
- Peut-être

39. Qu'attendez-vous du financement participatif ? **1 seule réponse possible**

- Un rendement
- Un geste citoyen
- Cela ne m'intéresse pas

40. Parmi les enjeux suivants, quels sont les trois qui vous préoccupent le plus à titre personnel ? **3 réponses obligatoires parmi les 9 réponses possibles**

- Le niveau de délinquance
- L'avenir du système social (santé, retraite ...)
- La protection de l'environnement
- Les difficultés en termes de pouvoir d'achat (salaires, impôts ...)
- Le niveau de l'immigration
- La montée des inégalités sociales
- La menace terroriste
- Le taux de chômage
- L'avenir du système scolaire

41. Pour chacune des propositions suivantes, veuillez indiquer votre degré d'accord en cochant la case correspondant le plus à votre opinion, sur une échelle allant de « Pas du tout d'accord » à « Tout à fait d'accord ». **1 seule réponse par ligne**

		Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Ni d'accord, ni pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
1	La Covid-19 va favoriser le développement des énergies renouvelables en France					
2	La Covid-19 va permettre une réduction des émissions de CO2 en France					
3	La Covid-19 réduit ma capacité d'épargne					

Appendix 3.B Choice cards

Figure 3.B.1: Choice cards - Block 1

Carte de choix 1

	Financement Participatif	Achat d'actions	Statu Quo
Type de technologie	Panneaux solaires	Éolien terrestre	Aucun
Contribution financière	300 €	10 €	Aucune
Rentabilité moyenne	0 % /an	0,5 % /an	0 % /an
Localisation	10 kms < ... ≤ 100 kms	2 kms < ... ≤ 10 kms	Aucune
Alimentation électrique	27 000 personnes	18 000 personnes	0 personne

Carte de choix 2

	Financement Participatif	Achat d'actions	Statu Quo
Type de technologie	Éolien terrestre	Panneaux solaires	Aucun
Contribution financière	50 €	10 €	Aucune
Rentabilité moyenne	0,5 % /an	0 % /an	0 % /an
Localisation	2 kms < ... ≤ 10 kms	10 kms < ... ≤ 100 kms	Aucune
Alimentation électrique	4 500 personnes	27 000 personnes	0 personne

Carte de choix 3

	Financement Participatif	Achat d'actions	Statu Quo
Type de technologie	Éolien terrestre	Panneaux solaires	Aucun
Contribution financière	300 €	1 000 €	Aucune
Rentabilité moyenne	2 % /an	0,5 % /an	0 % /an
Localisation	2 kms < ... ≤ 10 kms	10 kms < ... ≤ 100 kms	Aucune
Alimentation électrique	27 000 personnes	18 000 personnes	0 personne

Carte de choix 4

	Financement Participatif	Achat d'actions	Statu Quo
Type de technologie	Panneaux solaires	Éolien terrestre	Aucun
Contribution financière	10 €	300 €	Aucune
Rentabilité moyenne	0 % /an	2 % /an	0 % /an
Localisation	> 100 kms	2 kms < ... ≤ 10 kms	Aucune
Alimentation électrique	27 000 personnes	4 500 personnes	0 personne

Carte de choix 5

	Financement Participatif	Achat d'actions	Statu Quo
Type de technologie	Panneaux solaires	Éolien terrestre	Aucun
Contribution financière	50 €	300 €	Aucune
Rentabilité moyenne	0 % /an	2 % /an	0 % /an
Localisation	10 kms < ... ≤ 100 kms	> 100 kms	Aucune
Alimentation électrique	18 000 personnes	4 500 personnes	0 personne

Carte de choix 6

	Financement Participatif	Achat d'actions	Statu Quo
Type de technologie	Panneaux solaires	Éolien terrestre	Aucun
Contribution financière	1 000 €	10 €	Aucune
Rentabilité moyenne	4 % /an	2 % /an	0 % /an
Localisation	> 100 kms	10 kms < ... ≤ 100 kms	Aucune
Alimentation électrique	18 000 personnes	4 500 personnes	0 personne

Carte de choix 7

	Financement Participatif	Achat d'actions	Statu Quo
Type de technologie	Panneaux solaires	Éolien terrestre	Aucun
Contribution financière	300 €	50 €	Aucune
Rentabilité moyenne	2 % /an	0 % /an	0 % /an
Localisation	10 kms < ... ≤ 100 kms	> 100 kms	Aucune
Alimentation électrique	4 500 personnes	18 000 personnes	0 personne

Carte de choix 8

	Financement Participatif	Achat d'actions	Statu Quo
Type de technologie	Éolien terrestre	Panneaux solaires	Aucun
Contribution financière	1 000 €	50 €	Aucune
Rentabilité moyenne	4 % /an	0 % /an	0 % /an
Localisation	10 kms < ... ≤ 100 kms	2 kms < ... ≤ 10 kms	Aucune
Alimentation électrique	4 500 personnes	18 000 personnes	0 personne

Carte de choix 9

	Financement Participatif	Achat d'actions	Statu Quo
Type de technologie	Éolien terrestre	Panneaux solaires	Aucun
Contribution financière	10 €	50 €	Aucune
Rentabilité moyenne	2 % /an	4 % /an	0 % /an
Localisation	2 kms < ... ≤ 10 kms	> 100 kms	Aucune
Alimentation électrique	27 000 personnes	4 500 personnes	0 personne

Carte de choix 10

	Financement Participatif	Achat d'actions	Statu Quo
Type de technologie	Panneaux solaires	Éolien terrestre	Aucun
Contribution financière	50 €	1 000 €	Aucune
Rentabilité moyenne	0,5 % /an	4 % /an	0 % /an
Localisation	> 100 kms	2 kms < ... ≤ 10 kms	Aucune
Alimentation électrique	18 000 personnes	27 000 personnes	0 personne

Figure 3.B.2: Choice cards - Block 2

Carte de choix 1

	Financement Participatif	Achat d'actions	Statu Quo
Type de technologie	Panneaux solaires	Éolien terrestre	Aucun
Contribution financière	300 €	1 000 €	Aucune
Rentabilité moyenne	0 % /an	4 % /an	0 % /an
Localisation	> 100 kms	2 kms < ... ≤ 10 kms	Aucune
Alimentation électrique	18 000 personnes	27 000 personnes	0 personne

Carte de choix 2

	Financement Participatif	Achat d'actions	Statu Quo
Type de technologie	Éolien terrestre	Panneaux solaires	Aucun
Contribution financière	50 €	300 €	Aucune
Rentabilité moyenne	4 % /an	0,5 % /an	0 % /an
Localisation	> 100 kms	10 kms < ... ≤ 100 kms	Aucune
Alimentation électrique	27 000 personnes	18 000 personnes	0 personne

Carte de choix 3

	Financement Participatif	Achat d'actions	Statu Quo
Type de technologie	Panneaux solaires	Éolien terrestre	Aucun
Contribution financière	1 000 €	10 €	Aucune
Rentabilité moyenne	0,5 % /an	4 % /an	0 % /an
Localisation	2 kms < ... ≤ 10 kms	> 100 kms	Aucune
Alimentation électrique	27 000 personnes	18 000 personnes	0 personne

Carte de choix 4

	Financement Participatif	Achat d'actions	Statu Quo
Type de technologie	Éolien terrestre	Panneaux solaires	Aucun
Contribution financière	300 €	50 €	Aucune
Rentabilité moyenne	0,5 % /an	2 % /an	0 % /an
Localisation	> 100 kms	2 kms < ... ≤ 10 kms	Aucune
Alimentation électrique	27 000 personnes	4 500 personnes	0 personne

Carte de choix 5

	Financement Participatif	Achat d'actions	Statu Quo
Type de technologie	Panneaux solaires	Éolien terrestre	Aucun
Contribution financière	50 €	10 €	Aucune
Rentabilité moyenne	4 % /an	2 % /an	0 % /an
Localisation	10 kms < ... ≤ 100 kms	2 kms < ... ≤ 10 kms	Aucune
Alimentation électrique	4 500 personnes	27 000 personnes	0 personne

Carte de choix 6

	Financement Participatif	Achat d'actions	Statu Quo
Type de technologie	Éolien terrestre	Panneaux solaires	Aucun
Contribution financière	1 000 €	10 €	Aucune
Rentabilité moyenne	0,5 % /an	0 % /an	0 % /an
Localisation	10 kms < ... ≤ 100 kms	> 100 kms	Aucune
Alimentation électrique	27 000 personnes	18 000 personnes	0 personne

Carte de choix 7

	Financement Participatif	Achat d'actions	Statu Quo
Type de technologie	Éolien terrestre	Panneaux solaires	Aucun
Contribution financière	10 €	300 €	Aucune
Rentabilité moyenne	0 % /an	0,5 % /an	0 % /an
Localisation	10 kms < ... ≤ 100 kms	2 kms < ... ≤ 10 kms	Aucune
Alimentation électrique	4 500 personnes	27 000 personnes	0 personne

Carte de choix 8

	Financement Participatif	Achat d'actions	Statu Quo
Type de technologie	Panneaux solaires	Éolien terrestre	Aucun
Contribution financière	10 €	1 000 €	Aucune
Rentabilité moyenne	4 % /an	2 % /an	0 % /an
Localisation	2 kms < ... ≤ 10 kms	10 kms < ... ≤ 100 kms	Aucune
Alimentation électrique	4 500 personnes	18 000 personnes	0 personne

Carte de choix 9

	Financement Participatif	Achat d'actions	Statu Quo
Type de technologie	Panneaux solaires	Éolien terrestre	Aucun
Contribution financière	1 000 €	50 €	Aucune
Rentabilité moyenne	2 % /an	4 % /an	0 % /an
Localisation	> 100 kms	10 kms < ... ≤ 100 kms	Aucune
Alimentation électrique	4 500 personnes	27 000 personnes	0 personne

Carte de choix 10

	Financement Participatif	Achat d'actions	Statu Quo
Type de technologie	Éolien terrestre	Panneaux solaires	Aucun
Contribution financière	300 €	1 000 €	Aucune
Rentabilité moyenne	2 % /an	0,5 % /an	0 % /an
Localisation	10 kms < ... ≤ 100 kms	> 100 kms	Aucune
Alimentation électrique	18 000 personnes	4 500 personnes	0 personne

Appendix 3.C Additional results

Table 3.C.1: Latent class models, RPL models and conditional logits criteria (log likelihood, AIC, CAIC and BIC)

Latent class models	llf	AIC	CAIC	BIC
2 classes	-8 950	17 946	18 082	19 059
3 classes	-8 451	16 971	17 179	17 144
4 classes	8 079	16 252	16 530	16 483
5 classes	-7 906	14 931	16 280	16 222
6 classes	-7 707	15 555	15 976	15 905
RPL models without interactions	-7 942	15 996	-	16 463
RPL model with interaction				
(1)	-7 742	15 243	-	15 901
(2)	-7 519	15 195	-	15 853
(3)	-7 615	15 388	-	16 046
(4)	-7 730	15 620	-	16 278
(5)	- 7 763	15 684	-	16 343
Conditional logit	-10 445	20 911	-	21 003

Note: these models correspond to the models we refer to in our analysis.

Table 3.C.2: Results of the conditional logit with the average return attribute as a dummy-coded variable (1) and as a continuous variable (2)

Attributes	Conditional logit	Conditional logit
	(1)	(2)
	Coefficient	Coefficient
	(S.E)	(S.E)
<i>.ASC-Crowdfunding</i>	0.063 (0.061)	0.236*** (0.081)
<i>.ASC-Share purchase</i>	-0.095 (0.060)	0.076 (0.047)
<i>.Technology type:</i>		
<i>Wind turbines</i>	-0.165*** (0.029)	-0.107*** (0.027)
<i>.Monetary contribution</i>	-0.001*** (0.00)	-0.001*** (0.00)
<i>.Average return:</i>	-	0.28*** (0.011)
0.5%	0.272*** (0.049)	-
2%	0.816*** (0.057)	-
4%	1.233*** (0.054)	-
<i>.Localisation:</i>		
<i>10 kms <... ≤ 100 kms</i>	-0.092*** (0.036)	-0.146** (0.034)
<i>>100 kms</i>	-0.098*** (0.03)	-0.174*** (0.036)
<i>.Power supply:</i>		
<i>18 000 persons</i>	0.30*** (0.04)	0.244*** (0.039)
<i>27 000 persons</i>	0.339*** (0.037)	0.271*** (0.034)
N (ind.)	1 020	1 020
N (obs.)	30 600	30 600
Log Likelihood	-10 445	-10 457

* ASC-Crowdfunding: Alternative Specific Constant corresponding to the crowdfunding alternative.
ASC-Share purchase: Alternative Specific Constant corresponding to the share purchase alternative.
*** indicates significance at 1 %, ** at 5 % and * at 10 %.

Conclusion générale

L'efficacité énergétique et les énergies renouvelables sont aujourd'hui considérées comme les deux piliers majeurs de la transition énergétique permettant de répondre à l'objectif principal de l'accord de Paris de limitation de la hausse moyenne de la température mondiale « bien en-deçà » de 2 °C. Dans son scénario le plus ambitieux (*Net Zero Emissions by 2050 scenario*, NZE2050) d'une neutralité carbone atteinte d'ici à 2050, l'Agence internationale de l'énergie (AIE) estime que les émissions de CO₂ doivent diminuer de 45 % entre 2010 et 2030. En particulier, les émissions de CO₂ du secteur de l'énergie devront être réduites d'environ 60 % dans le scénario NZE2050 entre 2019 et 2030 et la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité devra croître de 27 % en 2019 à 60 % en 2030. Cela nécessiterait ainsi de tripler les investissements dans le secteur de la production d'électricité pour atteindre 2 200 milliards de dollars en 2030. Si la pandémie de Covid-19 a fortement impacté le secteur de l'énergie, les conséquences sur la transition énergétique ne peuvent encore être analysées avec précision. Selon le rapport de l'AIE (IEA 2020c), il est encore trop tôt pour estimer si cette pandémie servira de « catalyseur » à la transition énergétique ou si, au contraire, celle-ci aura pour effet de ralentir la dynamique. Par ailleurs, la crise sanitaire a réaffirmé l'importance du secteur électrique dans les économies modernes (IEA 2020c), un secteur clé de la transition énergétique. En particulier, le secteur des énergies renouvelables s'est avéré particulièrement résilient durant la crise puisqu'il s'agit de la seule source d'énergie dont la croissance

a été positive en 2020. À l'horizon 2050, les énergies renouvelables pourraient représenter 86 % de la génération totale d'électricité parmi lesquelles le solaire et l'éolien atteindraient respectivement 8 519 GW et 6 044 GW, soit environ les deux tiers des capacités mondiales totales (IRENA 2020a). La question du financement des énergies renouvelables apparaît donc comme une problématique fondamentale des scénarii de transition énergétique. Cela nous a ainsi conduit à **étudier la question du déploiement, de la valorisation par les marchés financiers et du financement des énergies renouvelables dans la perspective de la transition énergétique mondiale.**

Notre thèse permet de mettre en exergue trois contributions principales. **Une première contribution consiste à identifier les déterminants du déploiement du solaire photovoltaïque sur un panel de 39 pays en prenant en compte leurs interactions potentielles avec les prix du pétrole.** Elle constitue l'objet du premier chapitre dans lequel nous recourons à l'estimation d'un modèle *Panel Smooth Transition Regression* (PSTR) afin de mettre en évidence les potentiels effets (positifs ou négatifs) des prix du pétrole sur les déterminants du développement du solaire photovoltaïque. Le modèle PSTR nous permet ainsi d'étudier l'impact de la dynamique des prix du pétrole sur les déterminants *via* la détermination d'un seuil critique. Nous estimons la valeur de ce seuil à 6,7 %, signifiant qu'une augmentation annuelle des prix du pétrole supérieure à 6,7 % tend à stimuler le développement des capacités en solaire photovoltaïque. En effet, une hausse des prix du brut réduit le coût relatif entre le pétrole et les énergies renouvelables, favorisant ainsi les investissements dans ces dernières qui deviennent dès lors plus rentables. Par ailleurs, nous montrons que les dotations factorielles des pays en ressources énergétiques jouent un rôle important sur le déploiement du solaire photovoltaïque indépendamment du niveau des prix du pétrole. Tel est le cas du commerce extérieur d'électricité, de la variation de la produc-

tion pétrolière et des capacités en énergie nucléaire qui impactent négativement le déploiement des énergies renouvelables. Enfin, les politiques publiques de tarifs de rachat préférentiels (*feed-in tariffs*), dont la construction de la base de données constitue une deuxième contribution de ce chapitre, jouent un rôle prépondérant et ce, quelque soit le niveau de croissance des prix du pétrole.

La deuxième contribution de notre thèse porte sur la valorisation de la transition énergétique par les marchés financiers et elle constitue le deuxième chapitre. Plus spécifiquement, nous nous intéressons à la réaction des marchés suite aux récentes évolutions de Total SE – l’une des entreprises les plus diversifiées du secteur de l’énergie – souhaitant s’engager davantage dans la transition énergétique en développant des activités liées à sa stratégie climat. Ainsi, nous portons notre attention sur la réaction des investisseurs vis-à-vis de la stratégie climat de Total de devenir une « entreprise de l’énergie responsable ». Plusieurs types d’annonces sont considérées et classées en deux catégories principales : les activités de l’amont pétrolier et gazier du groupe (activités *upstream*) et ses activités dites bas carbone, s’inscrivant dans un objectif de décarbonation de sa production d’énergie. Cette base de données constituée de 139 annonces de Total entre 2009 et 2019 fournit une première contribution de ce chapitre. Notre analyse, qui s’appuie sur la méthodologie des études d’évènements, révèle que la réaction du marché faisant suite à ces deux grandes catégories d’annonces est significative et négative. Toutefois, nos résultats montrent que le marché réagit davantage aux annonces liées à la stratégie climat du groupe. En effet, suite à une annonce relative à la stratégie climat de Total, les rendements anormaux du groupe diminuent de 44 points de base contre 12 points de base concernant les annonces liées aux activités amont. Nous mettons ainsi en exergue la réaction négative des investisseurs quant à la diversification de Total en lien avec sa stratégie climat. Cette réaction négative peut toutefois être interprétée de deux

manières différentes. D'une part, il est possible qu'une classe d'investisseurs soit peu sensible à la cause environnementale, mettant en avant d'autres objectifs pour l'entreprise, en lien avec l'hypothèse de *trade-off* de Friedman (1962). D'autre part, une deuxième classe d'investisseurs pourrait, au contraire, pénaliser l'entreprise pour laquelle la diversification serait encore trop faible pour répondre aux objectifs de transition énergétique et, en particulier, de production d'énergie bas carbone.

La troisième contribution de notre thèse réside dans une analyse socio-économique des différents modes de financement de la transition énergétique en France prenant en compte la question monétaire et portant une attention particulière au financement participatif. L'application de la méthode des préférences déclarées (*Discret Choice Experiment*, DCE) sur un panel de 1020 personnes représentatif de la population française montre que le financement participatif constitue un mode de financement alternatif prometteur de la transition énergétique. Ce mode de financement, qui connaît une croissance considérable, supérieure à 50 % depuis quelques années (62 % en 2020 en France selon Financement Participatif France), a conquis une majeure partie des Français pour lesquels l'environnement constitue désormais un sujet d'une importance primordiale. Notre étude expérimentale, basée sur la présentation de dix cartes de choix à un panel de répondants représentatif, fournit plusieurs résultats significatifs et originaux. D'une part, l'estimation d'un modèle *Random Parameter Logit* (RPL) confirme l'existence d'une forte hétérogénéité des préférences des répondants. D'autre part, en lien avec la littérature récente (Bergmann et al. 2021 ; Bourcet et Bovari 2020), nos résultats confirment un engouement significatif de la part des Français pour le financement participatif comme mode de financement alternatif à la finance traditionnelle pour développer les énergies renouvelables sur le territoire. En d'autres

termes, nos résultats montrent que les Français seraient prêts à investir dans la transition énergétique *via* le financement participatif. Dans notre échantillon, 52 % de nos répondants seraient prêts à recourir au financement participatif pour financer des projets d'énergies renouvelables, alors que seulement 27 % sont familiers avec ce mode de financement et que seuls 3 % ont déjà investi dans de tels projets. Enfin, les résultats du modèle RPL montrent que les Français semblent peu enclins à financer des projets d'éolien terrestre comparativement au solaire photovoltaïque, qui apparaît comme étant la technologie renouvelable préférée des Français, devant l'éolien en mer et la géothermie. De plus, les Français sont sensibles à la taille du projet (plus le projet est grand et plus cela les satisfait), ainsi qu'à sa localisation : ils préfèrent financer un projet proche de chez eux afin d'en bénéficier localement. À notre connaissance, l'analyse réalisée dans ce troisième chapitre constitue la première étude expérimentale dédiée au financement participatif des énergies renouvelables prenant en compte la question monétaire. Nous montrons ainsi que les Français sont enclins à participer à la transition énergétique par le biais de financements volontaires (achat d'actions ou financement participatif), et que cet engouement est davantage prononcé pour le financement participatif.

Au total, grâce au recours à des méthodologies variées et à l'utilisation de données originales, notre thèse a permis de mettre en avant plusieurs résultats nouveaux et significatifs relatifs au développement, à la valorisation et au financement des énergies renouvelables. Au-delà de nos diverses contributions, plusieurs extensions peuvent être proposées pour chacun des trois chapitres, constituant ainsi des pistes de recherche pour des travaux futurs. Le premier chapitre accorde une attention particulière aux politiques publiques de tarifs de rachat. Si ce type de politique publique s'avère effectivement être dominant sur la période étudiée (1997-2016), un prolongement possible

serait d'étudier d'autres dispositifs de soutien aux énergies renouvelables tels que les certificats verts et les systèmes d'enchères devenus désormais plus attractifs que les tarifs de rachat. S'agissant du deuxième chapitre, nous utilisons un modèle de Fama-French à un facteur pour mettre en évidence la réaction des investisseurs suite à certaines annonces de Total. Plusieurs prolongements peuvent être proposés. Tout d'abord, notre analyse dédiée à la *major* pétrolière Total pourrait être étendue à toutes les « *supermajors* » de l'industrie pétrolière (BP, Chevron, ExxonMobil et Royal Dutch Shell). Cela permettrait d'obtenir une analyse globale de la réaction des marchés aux récentes diversifications de certaines *majors* pétrolières, en particulier européennes, mais également de réaliser des *clusters* afin de pouvoir éventuellement dégager des différences entre les *majors* pétrolières pures telles qu'ExxonMobil et Chevron et les « *energy majors* » auxquelles appartiennent BP, Shell et Total (Pickl 2019). Par ailleurs, notre méthodologie reposant sur l'utilisation de l'indice CAC 40, nous portons dans ce chapitre notre attention sur le marché européen. Dans l'optique de réaliser une analyse comparative, il serait également pertinent d'appliquer notre modèle au marché américain en utilisant l'indice du Nasdaq et la cotation américaine de Total. Une dernière extension prometteuse consisterait à étendre notre modélisation à un modèle de Fama-French à trois facteurs. Pour finir, plusieurs prolongements à l'étude expérimentale menée dans le troisième chapitre sont envisageables et pourraient ainsi faire l'objet de nouveaux axes de recherche. Une première extension serait d'appliquer notre analyse à un échantillon de répondants ayant une culture financière avérée, ce qui permettrait d'introduire un nouvel attribut dédié aux différents instruments du financement participatif tels que les actions, les obligations ou encore les minibons (Bergmann et al., 2016) – ces derniers étant des bons de caisse spécifiques au secteur du financement participatif, consistant en des titres nominatifs et non négociables comportant l'engagement par l'émetteur de payer à échéance déterminée, délivrés en contrepartie d'un prêt. Un

deuxième prolongement consisterait à augmenter le nombre de technologies proposées pour l'attribut technologie en considérant, par exemple, l'éolien en mer ou la biomasse. Une troisième piste de recherche serait d'intégrer la possibilité de financer des projets locaux d'énergies renouvelables *via* une analyse au niveau régional faisant appel à un panel constitué de résidents de cette région.

Bibliographie

Ackerman, R. W. and Bauer, R. A. (1976), *Corporate social responsiveness : The modern dilemma*, Reston.

Adamowicz, W., Boxall, P. C., Williams, M. and Louviere, J. (1998), 'Stated preference approaches for measuring passive use values : Choice experiments and contingent valuation', *American Journal of Agricultural Economics* **80**(1).

Aguirre, M. and Ibikunle, G. (2014), 'Determinants of renewable energy growth : A global sample analysis', *Energy Policy* **69**, 374–384.

Alafi, K. and Hasoneh, A. B. (2012), 'Corporate social responsibility associated with customer satisfaction and financial performance a case study with housing banks in Jordan', *International Journal of Humanities and Social Science* **2**(15), 102–115.

Alagappan, L., Orans, R. and Woo, C.-K. (2011), 'What drives renewable energy development?', *Energy policy* **39**(9), 5099–5104.

Allouche, J. and Laroche, P. (2005), 'A meta-analytical investigation of the relationship between corporate social and financial performance'.

Anderson, J. C. and Frankle, A. W. (1980), 'Voluntary social reporting : An iso-beta portfolio analysis.', *Accounting Review* pp. 467–479.

- Apergis, N. and Payne, J. E. (2010), 'Renewable energy consumption and economic growth : evidence from a panel of oecd countries', *Energy policy* **38**(1), 656–660.
- Arlow, P. and Gannon, M. J. (1985), 'Social responsiveness, corporate structure, and economic performance.', *Academy of Management Review* **7**(2), 235–241.
- Aupperle, K. E. (1982), 'An empirical inquiry into the social responsibilities as defined by corporations, unpublished doctoral dissertation', *University of Georgia, Georgia* .
- Awerbuch, S. and Sauter, R. (2006), 'Exploiting the oil–gdp effect to support renewables deployment', *Energy Policy* **34**, 2805–2819.
- Bachmeier, L. J. and Griffin, J. M. (2006), 'Testing for market integration : crude oil, coal, and natural gas', *The Energy Journal* **27**(2).
- Baldwin, E., Carley, S., Brass, J. N. and MacLean, L. M. (2017), 'Global renewable electricity policy : a comparative policy analysis of countries by income status', *Journal of Comparative Policy Analysis : Research and Practice* **19**(3), 277–298.
- Bateman, I. J., Carson, R. T., Day, B., Hanemann, M., Hanley, N., Hett, T., Jones-Lee, M., Loomes, G., Mourato, S., Pearce, D. W. et al. (2002), 'Economic valuation with stated preference techniques : a manual.'
- BCG (n.d.), 'Value creation in oil and gas 2019'.
- Belleflamme, P., Omrani, N. and Peitz, M. (2015), 'The economics of crowdfunding platforms', *Information Economics and Policy* **33**, 11–28.
- Bergmann, A., Burton, B. and Klaes, M. (2016a), 'Crowdfunding for renewable energy : Survey results on public perceptions and the views of crowdfunding platforms and project developers'.

- Bergmann, A., Burton, B. and Klaes, M. (2016b), ‘Survey of personal investment choices : Characteristics of economic agents’ decisions in the crowdfunding marketplace’.
- Bergmann, A., Burton, B. and Klaes, M. (2021), ‘European perceptions on crowdfunding for renewables : Positivity and pragmatism’, *Ecological Economics* **179**, 106852.
- Bergmann, A., Hanley, N. and Wright, R. (2006), ‘Valuing the attributes of renewable energy investments’, *Energy policy* **34**(9), 1004–1014.
- Best, R. (2017), ‘Switching towards coal or renewable energy? the effects of financial capital on energy transitions’, *Energy Economics* **63**, 75–83.
- Best, R. and Burke, P. J. (2018), ‘Adoption of solar and wind energy : The roles of carbon pricing and aggregate policy support’, *Energy Policy* **118**, 404–417.
- Bird, L., Bolinger, M., Gagliano, T., Wiser, R., Brown, M. and Parsons, B. (2005), ‘Policies and market factors driving wind power development in the United States’, *Energy Policy* **33**, 1397–1407.
- Black, F. (1992), ‘Beta and return’, *Journal of portfolio management* **1**.
- Blanchard, O. J. and Gali, J. (2007), The macroeconomic effects of oil shocks : Why are the 2000s so different from the 1970s? NBER Working Paper w13368, National Bureau of Economic Research.
- Bonzanini, D., Giudici, G. and Patrucco, A. (2016), The crowdfunding of renewable energy projects, *in* ‘Handbook of environmental and sustainable finance’, Elsevier, pp. 429–444.
- Borchers, A. M., Duke, J. M. and Parsons, G. R. (2007), ‘Does willingness to pay for green energy differ by source?’, *Energy policy* **35**(6), 3327–3334.

- Bosley, P. and Bosley, K. (1988), ‘Public acceptability of california’s wind energy developments : three studies’, *Wind Engineering* pp. 311–318.
- Bourcet, C. (2020), ‘Empirical determinants of renewable energy deployment : A systematic literature review’, *Energy Economics* **85**, 104563.
- Bourcet, C. and Bovari, E. (2020), ‘Exploring citizens’ decision to crowdfund renewable energy projects : Quantitative evidence from france’, *Energy Economics* p. 104754.
- Bourcet, C., Cézanne, C., Rigot, S. and Saglietto, L. (2019), ‘Le financement participatif de projets d’énergies renouvelables (enr) : éclairages sur le modèle économique et les risques d’une plateforme française’, *Innovations* (2), 151–177.
- Boxall, P. C. and Adamowicz, W. L. (2002), ‘Understanding Heterogeneous Preferences in Random Utility Models : A Latent Class Approach’, *Environmental and Resource Economics* **23**(4), 421–446.
- Brown, S. J. and Warner, J. B. (1980), ‘Measuring security price performance’, *Journal of financial economics* **8**(3), 205–258.
- Brown, S. P. and Yücel, M. K. (2002), ‘Energy prices and aggregate economic activity : an interpretative survey’, *The Quarterly Review of Economics and Finance* **42**(2), 193–208.
- Buchner, B., Padraig, O., Xueying, W., Cameron, C., Chavi, M. and Frederico, M. (2017), ‘Global landscape of climate finance 2017’, *Climate Policy Initiative* .
- Bürer, M. J. and Wüstenhagen, R. (2009), ‘Which renewable energy policy is a venture capitalist’s best friend ? Empirical evidence from a survey of international cleantech investors’, *Energy Policy* **37**, 4997–5006.

- Butler, L. and Neuhoff, K. (2008), 'Comparison of feed-in tariff, quota and auction mechanisms to support wind power development', *Renewable Energy* **33**, 1854–1867.
- Cadoret, I. and Padovano, F. (2016), 'The political drivers of renewable energies policies', *Energy Economics* **56**, 261–269.
- Candelise, C. (2018), The application of crowdfunding to the energy sector, *in* 'Sustainable Development : Concepts, Methodologies, Tools, and Applications', IGI Global, pp. 1680–1701.
- Capelle-Blancard, G. and Laguna, M.-A. (2010), 'How does the stock market respond to chemical disasters?', *Journal of Environmental Economics and Management* **59**(2), 192–205.
- Carley, S. (2009), 'State renewable energy electricity policies : An empirical evaluation of effectiveness', *Energy Policy* **37**, 3071–3081.
- Carley, S., Baldwin, E., MacLean, L. M. and Brass, J. N. (2017), 'Global expansion of renewable energy generation : An analysis of policy instruments', *Environmental and resource economics* **68**(2), 397–440.
- Carroll, A. B. (1979), 'A three-dimensional conceptual model of corporate performance', *Academy of management review* **4**(4), 497–505.
- CEER (2018), 'Report on investment conditions in european countries'.
- Chang, T.-H., Huang, C.-M. and Lee, M.-C. (2009), 'Threshold effect of the economic growth rate on the renewable energy development from a change in energy price : Evidence from OECD countries', *Energy Policy* **37**, 5796–5802.
- Chassot, S., Hampl, N. and Wüstenhagen, R. (2014), 'When energy policy meets free-market capitalists : The moderating influence of worldviews on risk perception and renewable energy investment decisions', *Energy Research and Social Science* **3**, 143–151.

- Chien, T. and Hu, J.-L. (2008), ‘Renewable energy : An efficient mechanism to improve gdp’, *Energy Policy* **36**, 3045–3052.
- Clarkson, P. M., Li, Y. and Richardson, G. D. (2004), ‘The market valuation of environmental capital expenditures by pulp and paper companies’, *The accounting review* **79**(2), 329–353.
- Coady, D., Parry, I., Sears, L. and Shang, B. (2017), ‘How large are global fossil fuel subsidies?’, *World development* **91**, 11–27.
- Corbett, C. J. and Klassen, R. D. (2006), ‘Extending the horizons : environmental excellence as key to improving operations’, *Manufacturing and Service Operations Management* **8**(1), 5–22.
- Cormier, D., Ledoux, M.-J. and Magnan, M. (2011), ‘The informational contribution of social and environmental disclosures for investors’, *Management Decision* .
- Cornell, B. and Shapiro, A. C. (1987), ‘Corporate stakeholders and corporate finance’, *Financial management* pp. 5–14.
- Couture, T. and Gagnon, Y. (2010), ‘An analysis of feed-in tariff remuneration models : Implications for renewable energy investment’, *Energy Policy* **38**, 955–965.
- Crago, C. L. and Chernyakhovskiy, I. (2017), ‘Are policy incentives for solar power effective? Evidence from residential installations in the Northeast’, *Journal of Environmental Economics and Management* **81**(C), 132–151.
- Criqui, P. and Mima, S. (2012), ‘European climate—energy security nexus : A model based scenario analysis’, *Energy Policy* **41**, 827–842.
- Dalby, P. A. O., Gillerhaugen, G. R., Hagspiel, V., Leth-Olsen, T. and Thijssen, J. J. J. (2018), ‘Green investment under policy uncertainty and bayesian learning’, *Energy* **161**, 1262–1281.

- Davis, K. (1973), 'The case for and against business assumption of social responsibilities', *Academy of Management journal* **16**(2), 312–322.
- De Crescenzo, V., Baratta, R. and Simeoni, F. (2020), 'Citizens' engagement in funding renewable and energy efficiency projects : a fuzzy set analysis', *Journal of Cleaner Production* p. 124060.
- del Río, P. and Bleda, M. (2012), 'Comparing the innovation effects of support schemes for renewable electricity technologies : A function of innovation approach', *Energy Policy* **50**, 272–282.
- Delmas, M. A. and Montes-Sancho, M. J. (2011), 'U.S. state policies for renewable energy : Context and effectiveness', *Energy Policy* **39**, 2273–2288.
- Devlin, E. (2005), 'Factors affecting public acceptance of wind turbines in sweden', *Wind Engineering* **29**(6), 503–511.
- Dijkgraaf, E., van Dorp, T. P. and Maasland, E. (2018), 'On the effectiveness of feed-in tariffs in the development of solar photovoltaics', *Energy Journal* **39**(1), 81–99.
- Dowell, G., Hart, S. and Yeung, B. (2000), 'Do corporate global environmental standards create or destroy market value?', *Management science* **46**(8), 1059–1074.
- Enevoldsen, P. and Sovacool, B. K. (2016), 'Examining the social acceptance of wind energy : Practical guidelines for onshore wind project development in france', *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **53**, 178–184.
- Eyraud, L., Clements, B. and Wane, A. (2013), 'Green investment : Trends and determinants', *Energy Policy* **60**, 852–865.
- Eyraud, L., Wane, A., Zhang, C. and Clements, B. (2011), Who's going green and why? Trends and determinants of green investment. IMF Working Paper WP11296, International Monetary Fund.

- Fama, E. F., Fisher, L., Jensen, M. C. and Roll, R. (1969), 'The adjustment of stock prices to new information', *International economic review* **10**(1), 1–21.
- Favero, C. A., Pesaran, M. H. and Sharma, S. (1992), *Uncertainty and irreversible investment : an empirical analysis of development of oilfields on the UKCS*, Oxford Institute for Energy Studies.
- Fisher-Vanden, K. and Thorburn, K. S. (2011), 'Voluntary corporate environmental initiatives and shareholder wealth', *Journal of Environmental Economics and management* **62**(3), 430–445.
- Fok, D., van Dijk, D. and Franses, P. H. (2005), 'A multi-level panel STAR model for US manufacturing sectors', *Journal of Applied Econometrics* **20**(6), 811–827.
- Fosse, F., Hache, E., Portenart, P. et al. (2016), Un nouveau cycle de fusions et acquisitions dans le secteur des hydrocarbures ? une analyse économique et historique de la période 2008-2015, Technical report.
- Fouquet, D. and Johansson, T. B. (2008), 'European renewable energy policy at crossroads — Focus on electricity support mechanisms', *Energy Policy* **36**, 4079–4092.
- FPP and Mazars (2019), 'Baromètre du crowdfunding en france 2019'.
- Frederick, W. C. (1978), 'From csr1 to csr2 : The maturing of business-and-society thought', *Business and Society* **33**(2), 150–164.
- Freeman, R. E. (1984), 'Strategic management : A stakeholder theory', *Journal of Management Studies* **39**(1), 1–21.
- Friedman, M. (1962), 'Capitalism and freedom', *University of Chicago* .
- Friedman, M. (1970), 'A friedman doctrine : The social responsibility of business is to increase its profits', *The New York Times Magazine* **13**(1970), 32–33.

- Galbreath, J. (2008), The benefits of corporate social responsibility : An empirical study, *in* ‘AN-ZAM Conference Proceedings (22nd Annual Conference. Auckland)’.
- Galbreath, J. and Shum, P. (2012), ‘Do customer satisfaction and reputation mediate the csr–fp link ? evidence from australia’, *Australian Journal of Management* **37**(2), 211–229.
- Gan, L., Eskeland, G. S. and Kolshus, H. H. (2007), ‘Green electricity market development : Lessons from Europe and the US’, *Energy Policy* **35**, 144–155.
- Geczy, C., Stambaugh, R. F. and Levin, D. (2005), ‘Investing in socially responsible mutual funds’, *Available at SSRN 416380* .
- Gilley, K. M., Worrell, D. L., Davidson III, W. N. and El-Jelly, A. (2000), ‘Corporate environmental initiatives and anticipated firm performance : the differential effects of process-driven versus product-driven greening initiatives’, *Journal of management* **26**(6), 1199–1216.
- Global Energy and CO2 Status Report* (2020).
- Global Energy Review* (2020).
- Gonenc, H. and Scholtens, B. (2017), ‘Environmental and financial performance of fossil fuel firms : A closer inspection of their interaction’, *Ecological Economics* **132**, 307–328.
- González, A., Teräsvirta, T., van Dijk, D. and Yang, Y. (2017), Panel smooth transition regression models. CREATES Research Paper 2017-36.
- Gossling, S., Kunkel, T., Schumacher, K., Heck, N., Birkemeyer, J., Froese, J., Naber, N. and Schliermann, E. (2005), ‘A target group-specific approach to “green” power retailing : students as consumers of renewable energy’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **9**(1), 69–83.

- Grandjean, A. and Martini, M. (2016), *Financer la transition énergétique : carbone, climat et argent*, Éditions de l'Atelier.
- Grant, R. M. and Cibin, R. (1996), 'Strategy, structure and market turbulence : the international oil majors, 1970–1991', *Scandinavian Journal of Management* **12**(2), 165–188.
- GreenUnivers and FPF (2019), 'Baromètre 2019 du crowdfunding des énergies renouvelables'.
- Hainaut, H. and Ledez, M. (2020), 'Edition 2020 du panorama des financements climat', *I4CE - Institute for Climate Economics* .
- Hale, J. (2020), 'Sustainable funds weather the first quarter better than conventional funds', *Morningstar, Inc* **3**.
- Halme, M. and Niskanen, J. (2001), 'Does corporate environmental protection increase or decrease shareholder value? the case of environmental investments', *Business Strategy and the Environment* **10**(4), 200–214.
- Hamilton, J. (2005), Oil and the macroeconomy. UCSD Working Paper.
- Hamilton, J. D. (2003), 'What is an oil shock?', *Journal of Econometrics* **113**(2), 363–398.
- Hamilton, J. T. (1995), 'Pollution as news : Media and stock market reactions to the toxics release inventory data', *Journal of environmental economics and management* **28**(1), 98–113.
- Hansen, B. E. (1999), 'Threshold effects in non-dynamic panels : Estimation, testing, and inference', *Journal of Econometrics* **93**(2), 345–368.
- Hart, S. L. and Ahuja, G. (1996), 'Does it pay to be green? an empirical examination of the relationship between emission reduction and firm performance', *Business strategy and the Environment* **5**(1), 30–37.

- Hensher, D. A. and Greene, W. H. (2003a), ‘The Mixed Logit model : The state of practice’, *Transportation* **30**, 44.
- Hensher, D. A. and Greene, W. H. (2003b), ‘The mixed logit model : the state of practice’, *Transportation* **30**(2), 133–176.
- Hirtenstein, A. (2018), ‘Big oil weighs acquisitions to boost foothold in green industry’, *Bloomberg Tech.*(Jan. 10, 2018) .
- Holburn, G. L. (2012), ‘Assessing and managing regulatory risk in renewable energy : Contrasts between Canada and the United States’, *Energy Policy* **45**, 654–665.
- IEA (2010), *Energy Policies of IEA Countries : France 2009 Review*, OECD.
- IEA (2017a), ‘Renewables information – overview’.
- IEA (2017b), ‘World energy outlook’.
- IEA (2019), ‘Global energy and CO2 status report 2018’.
- IEA (2020a), ‘Global energy review’.
- IEA (2020b), ‘The oil and gas industry in energy transitions’.
- IEA (2020c), ‘World energy outlook’.
- IRENA (2017), ‘Electricity storage and renewables : Costs and markets to 2030’.
- IRENA (2019a), ‘Renewable capacity statistics 2018’.
- IRENA (2019b), ‘Renewable power generation costs in 2019’.
- IRENA (2020a), ‘Irena global renewables outlook’.
- IRENA (2020b), ‘Renewable energy finance’.

- IRENA, OECD, I. and REN21 (2018), 'Renewable energy policy in a time of transition'.
- Jacobs, B. W., Singhal, V. R. and Subramanian, R. (2010), 'An empirical investigation of environmental performance and the market value of the firm', *Journal of Operations Management* **28**(5), 430–441.
- Jaggi, B. and Freedman, M. (1992), 'An examination of the impact of pollution performance on economic and market performance : pulp and paper firms', *Journal of business finance and accounting* **19**(5), 697–713.
- Jenner, S., Groba, F. and Indvik, J. (2013), 'Assessing the strength and effectiveness of renewable electricity feed-in tariffs in european union countries', *Energy Policy* **52**(C), 385–401.
- Jobert, A. (1998), 'L'aménagement en politique. ou ce que le syndrome nimby nous dit de l'intérêt général', *Politix. Revue des sciences sociales du politique* **11**(42), 67–92.
- Jobert, A., Laborgne, P. and Mimler, S. (2007), 'Local acceptance of wind energy : Factors of success identified in french and german case studies', *Energy policy* **35**(5), 2751–2760.
- Joëts, M. and Mignon, V. (2012), 'On the link between forward energy prices : A nonlinear panel cointegration approach', *Energy Economics* **34**(4), 1170–1175.
- Johnston, R. J., Boyle, K. J., Adamowicz, W., Bennett, J., Brouwer, R., Cameron, T. A., Hanemann, W. M., Hanley, N., Ryan, M., Scarpa, R. et al. (2017), 'Contemporary guidance for stated preference studies', *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists* **4**(2), 319–405.
- Johnstone, N., Haščič, I. and Popp, D. (2010), 'Renewable energy policies and technological innovation : Evidence based on patent counts', *Environmental and Resource Economics* **45**(1), 133–155.

- Khan, M. I., Yasmeen, T., Shakoor, A., Khan, N. B. and Muhammad, R. (2017), '2014 oil plunge : Causes and impacts on renewable energy', *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **68**, 609–622.
- Kilinc-Ata, N. (2016), 'The evaluation of renewable energy policies across eu countries and us states : An econometric approach', *Energy for Sustainable Development* **31**, 83–90.
- King, A. A. and Lenox, M. J. (2001), 'Does it really pay to be green? an empirical study of firm environmental and financial performance : An empirical study of firm environmental and financial performance', *Journal of Industrial Ecology* **5**(1), 105–116.
- Klassen, R. D. and McLaughlin, C. P. (1996), 'Voluntary social reporting : An iso-beta portfolio analysis.', *Management science* **42**(8), 1199–1214.
- Kolk, A. and Levy, D. (2001), 'Winds of change : : corporate strategy, climate change and oil multinationals', *European Management Journal* **19**(5), 501–509.
- Krohn, S. and Damborg, S. (1999), 'On public attitudes towards wind power', *Renewable energy* **16**(1-4), 954–960.
- Lancaster, K. J. (1966), 'A new approach to consumer theory', *The Journal of Political Economy* **74**(2), 132–157.
URL: <http://www.jstor.org/stable/1828835>
- Lesser, J. A. and Su, X. (2008), 'Design of an economically efficient feed-in tariff structure for renewable energy development', *Energy Policy* **36**, 981–990.
- Lin, W. L., Law, S. H., Ho, J. A. and Sambasivan, M. (2019), 'The causality direction of the corporate social responsibility–corporate financial performance nexus : Application of panel vector autoregression approach', *The North American Journal of Economics and Finance* **48**, 401–418.

- Lintner, J. (1965), 'Security prices, risk, and maximal gains from diversification', *The journal of finance* **20**(4), 587–615.
- Lipp, J. (2007), 'Lessons for effective renewable electricity policy from denmark, germany and the united kingdom', *Energy policy* **35**(11), 5481–5495.
- Louviere, J. J., Hensher, D. A. and Swait, J. D. (2000), *Stated Choice Methods, Analysis and Applications*, Cambridge University Press.
- Lüthi, S. and Wüstenhagen, R. (2012), 'The price of policy risk — Empirical insights from choice experiments with european photovoltaic project developers', *Energy Economics* **34**, 1001–1011.
- MacKinlay, A. C. (1997), 'Event studies in economics and finance', *Journal of economic literature* **35**(1), 13–39.
- Maillebouis, C. (2003), 'Nimby ou la colère des lieux. le cas des parcs éoliens', *Natures Sciences Sociétés* **11**(2), 190–194.
- Manwell, J. F., McGowan, J. G. and Rogers, A. L. (2010), *Wind energy explained : theory, design and application*, John Wiley and Sons.
- Margolis, J. D., Elfenbein, H. A. and Walsh, J. P. (2007), 'Does it pay to be good? a meta-analysis and redirection of research on the relationship between corporate social and financial performance', *Ann Arbor* **1001**, 48109–1234.
- Marques, A. C. and Fuinhas, J. A. (2011), 'Drivers promoting renewable energy : A dynamic panel approach', *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **15**(3), 1601–1608.
- Marques, A. C., Fuinhas, J. A. and Manso, J. P. (2010), 'Motivations driving renewable energy in European countries : A panel data approach', *Energy Policy* **38**, 6877–6885.

- Marques, A. C., Fuinhas, J. A. and Manso, J. P. (2011), ‘A quantile approach to identify factors promoting renewable energy in european countries’, *Environmental and Resource Economics* **49**(3), 351–366.
- Martínez-Climent, C., Zorio-Grima, A. and Ribeiro-Soriano, D. (2018), ‘Financial return crowd-funding : literature review and bibliometric analysis’, *International Entrepreneurship and Management Journal* **14**(3), 527–553.
- Masini, A. and Menichetti, E. (2012), ‘The impact of behavioural factors in the renewable energy investment decision making process : Conceptual framework and empirical findings’, *Energy Policy* **40**, 28–38.
- Masini, A. and Menichetti, E. (2013), ‘Investment decisions in the renewable energy sector : An analysis of non-financial drivers, technological forecasting and social change’, *Energy Policy* **80**, 510–524.
- In Press.]IPCC.2018 [Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P., Pirani, A., Moufouma-Okia, W., Péan, C., Pidcock, R., Connors, S., Matthews, J., Chen, Y., Zhou, X., Gomis, M., Lonnoy, E., Maycock, T., Tignor, M. and (eds.)]. In Press., T. W. (2018), Global warming of 1.5°C. an ipcc special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.
- McFadden, D. (1974), Conditional logit analysis of qualitative choice behaviour, *in* ‘Frontiers of econometrics’, Academic Press, New York.
- URL:** <https://eml.berkeley.edu/reprints/mcfadden/zarembka.pdf>

- Mcfadden, D. and Train, K. (2000), 'Mixed MNL models for discrete response', *J. Appl. Econ.* p. 24.
- McGuire, J. B., Schneeweis, T. and Branch, B. (1990), 'Perceptions of firm quality : A cause or result of firm performance', *Journal of management* **16**(1), 167–180.
- McGuire, J. B., Sundgren, A. and Schneeweis, T. (1988), 'Corporate social responsibility and firm financial performance', *Academy of management Journal* **31**(4), 854–872.
- McWilliams, A. and Siegel, D. (1997), 'Event studies in management research : Theoretical and empirical issues', *Academy of management journal* **40**(3), 626–657.
- McWilliams, A. and Siegel, D. (2001), 'Corporate social responsibility : A theory of the firm perspective', *Academy of management review* **26**(1), 117–127.
- Menanteau, P., Finon, D. and Lamy, M.-L. (2003), 'Prices versus quantities : choosing policies for promoting the development of renewable energy', *Energy Policy* **31**, 261–269.
- Menz, F. C. and Vachon, S. (2006), 'The effectiveness of different policy regimes for promoting wind power : Experiences from the states', *Energy Policy* **34**, 1786–1796.
- Miles, R. H. (1986), *Managing the corporate social environment : A grounded theory*, Prentice Hall.
- Mitchell, C., Bauknecht, D. and Connor, P. (2006), 'Effectiveness through risk reduction : a comparison of the renewable obligation in England and Wales and the feed-in system in Germany', *Energy Policy* **34**(3), 297–305.
- Mitchell, C. and Connor, P. (2004), 'Renewable energy policy in the UK 1990–2003', *Energy Policy* **32**, 1935–1947.

- Mjelde, J. W. and Bessler, D. A. (2009), 'Market integration among electricity markets and their major fuel source markets', *Energy Economics* **31**(3), 482–491.
- Modigliani, F. and Miller, M. H. (1963), 'Corporate income taxes and the cost of capital : a correction', *The American economic review* **53**(3), 433–443.
- Mohn, K. and Misund, B. (2009), 'Investment and uncertainty in the international oil and gas industry', *Energy economics* **31**(2), 240–248.
- Molloy, L., Erekson, H. and Gorman, R. (2002), Exploring the relationship between environmental and financial performance, in 'Proceedings of the Workshop on Capital Markets and Environmental Performance', US Environmental Protection Agency Laguna Beach, pp. 1–55.
- Moore, G. (2001), 'Corporate social and financial performance : An investigation in the uk super-market industry.', *Journal of Business ethics* **34**(3-4), 299–315.
- Moslener, U., McCrone, A., d'Estais, F., Grüning, C., Louw, A., Boyle, R., Strahan, D., Collins, B., Kimmel, M., Giannakopoulou, E. and Becker, L. (2019), 'Global trends in renewable energy investment 2018'.
- Nadaï, A. (2007), "“planning”, “siting” and the local acceptance of wind power : Some lessons from the french case', *Energy policy* **35**(5), 2715–2726.
- Nadaï, A. and Van Der Horst, D. (2010), 'Wind power planning, landscapes and publics'.
- Nicolini, M. and Tavoni, M. (2017), 'Are renewable energy subsidies effective? Evidence from Europe', *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **74**(C), 412–423.
- Omri, A. and Nguyen, D. K. (2014), 'On the determinants of renewable energy consumption : International evidence', *Energy* **72**, 554–560.

- Orlitzky, M., Schmidt, F. L. and Rynes, S. L. (2003), ‘Corporate social and financial performance : A meta-analysis’, *Organization studies* **24**(3), 403–441.
- Owen, R., Brennan, G. and Lyon, F. (2018), ‘Enabling investment for the transition to a low carbon economy : government policy to finance early stage green innovation’, *Current Opinion in Environmental Sustainability* **31**, 137–145.
- O’Bryant, M. (2002), ‘Vocal opposition builds at cape cod.’, *Windpower Monthly* pp. 35–36.
- Painuly, J. P. (2001a), ‘Barriers to renewable energy penetration ; a framework for analysis’, *Renewable energy* **24**(1), 73–89.
- Painuly, J. P. (2001b), ‘Barriers to renewable energy penetration ; a framework for analysis’, *Renewable energy* **24**(1), 73–89.
- Papiez, M., Smiech, S. and Frodyma, K. (2018), ‘Determinants of renewable energy development in the EU countries. A 20-year perspective’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **91**, 918–934.
- Pava, M. L. and Krausz, J. (1996), ‘The association between corporate social-responsibility and financial performance : The paradox of social cost’, *Journal of business Ethics* **15**(3), 321–357.
- Pickl, M. J. (2019), ‘The renewable energy strategies of oil majors—from oil to energy?’’, *Energy Strategy Reviews* **26**, 100370.
- Pierre Hacquard, M. S. and Hache, E. (2019), ‘Is the oil industry able to support a world that consumes 105 million barrels of oil per day in 2025?’’, **74**(88).
- Pindyck, R. S. (1990), Irreversibility, uncertainty, and investment, Technical report, National Bureau of Economic Research.

- Polzin, F., Migendt, M., Täube, F. A. and von Flotow, P. (2015), 'Public policy influence on renewable energy investments — A panel data study across OECD countries', *Energy Policy* **80**, 98–111.
- Posner, B. Z. and Schmidt, W. H. (1992), 'Values and the american manager : An update updated', *California Management Review* **34**(3), 80–94.
- Preston, L. E. and O'bannon, D. P. (1997), 'The corporate social-financial performance relationship : A typology and analysis', *Business and Society* **36**(4), 419–429.
- Preston, L. E. and Post, J. E. (1975), 'Measuring corporate responsibility', *Journal of General Management* **2**(3), 45–52.
- Rafiq, S., Bloch, H. and Salim, R. (2014), 'Determinants of renewable energy adoption in china and india : a comparative analysis', *Applied Economics* **46**(22), 2700–2710.
- Reboredo, J. C. (2015), 'Is there dependence and systemic risk between oil and renewable energy stock prices?', *Energy Economics* **48**, 32–45.
- Renewable Energy Policy in a Time of Transition* (2016).
- Renewables Now, x. (2020), 'Outlook for us renewable energy projects following covid-19'.
- Rettab, B., Brik, A. B. and Mellahi, K. (2009), 'A study of management perceptions of the impact of corporate social responsibility on organisational performance in emerging economies : the case of dubai', *Journal of business ethics* **89**(3), 371–390.
- Rickerson, W. H., Sawin, J. L. and Grace, R. C. (2007), 'If the Shoe FITs : Using Feed-in Tariffs to Meet U.S. Renewable Electricity Targets', *The Electricity Journal* **20**, 73–86.
- Robano, V. (2018), 'Case study on crowdfunding'.

- Romano, A. A. and Scandurra, G. (2016a), ‘Divergences in the determinants of investments in renewable energy sources : hydroelectric vs. other renewable sources’, *Journal of Applied Statistics* **43**(13), 2363–2376.
- Romano, A. A. and Scandurra, G. (2016b), ‘Nuclear and nonnuclear countries : Divergences on investment decisions in renewable energy sources’, *Energy Sources, Part B : Economics, Planning, and Policy* **11**(6), 518–525.
- Romano, A. A., Scandurra, G., Carfora, A. and Fodor, M. (2017), ‘Renewable investments : The impact of green policies in developing and developed countries’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **68**, 738–747.
- Roques, F., Hiroux, C. and Saguan, M. (2010), ‘Optimal wind power deployment in europe—a portfolio approach’, *Energy policy* **38**(7), 3245–3256.
- Rout, U. K., Akimoto, K., Sano, F., Oda, J., Homma, T. and Tomoda, T. (2008), ‘Impact assessment of the increase in fossil fuel prices on the global energy system, with and without CO2 concentration stabilization’, *Energy Policy* **36**, 3477–3484.
- Rüdinger, A. (2019), ‘Les projets participatifs et citoyens d’énergies renouvelables en france. etat des lieux et recommandations’.
- Russo, M. V. and Fouts, P. A. (1997), ‘A resource-based perspective on corporate environmental performance and profitability’, *Academy of management Journal* **40**(3), 534–559.
- Sadorsky, P. (2009), ‘Renewable energy consumption and income in emerging economies’, *Energy Policy* **37**(10), 4021–4028.
- Saeidi, S. P., Sofian, S., Saeidi, P., Saeidi, S. P. and Saaeidi, S. A. (2015), ‘How does corporate

- social responsibility contribute to firm financial performance? the mediating role of competitive advantage, reputation, and customer satisfaction’, *Journal of business research* **68**(2), 341–350.
- Salim, R. A. and Rafiq, S. (2012), ‘Why do some emerging economies proactively accelerate the adoption of renewable energy?’, *Energy Economics* **34**(4), 1051–1057.
- Salzmann, O., Ionescu-Somers, A. and Steger, U. (2005), ‘The business case for corporate sustainability : : literature review and research options’, *European Management Journal* **23**(1), 27–36.
- Sawin, J. (2004), ‘National Policy Instruments - Policy Lessons for the Advancement and Diffusion of Renewable Energy Technologies around the World’, www.ogel.org/article.asp?key=1222 .
- Schumacher, K. and Schultmann, F. (2017), ‘Local acceptance of biogas plants : a comparative study in the trinational upper rhine region’, *Waste and biomass valorization* **8**(7), 2393–2412.
- Shah, I. H., Hiles, C. and Morley, B. (2018), ‘How do oil prices, macroeconomic factors and policies affect the market for renewable energy?’, *Applied Energy* **215**, 87–97.
- Sharpe, W. F. (1964), ‘Capital asset prices : A theory of market equilibrium under conditions of risk’, *The journal of finance* **19**(3), 425–442.
- Shen, C.-H. and Chang, Y. (2009), ‘Ambition versus conscience, does corporate social responsibility pay off? the application of matching methods’, *Journal of Business Ethics* **88**(1), 133–153.
- Shrimali, G. and Jenner, S. (2013), ‘The impact of state policy on deployment and cost of solar photovoltaic technology in the U.S. : A sector-specific empirical analysis’, *Renewable Energy* **60**(C), 679–690.
- Skjærseth, J. B. and Skodvin, T. (2001), ‘Climate change and the oil industry : Common problems, different strategies’, *Global Environmental Politics* **1**(4), 43–64.

- Stevens, P. (2016), 'International oil companies', *The Death of the Old Business Model*, Chatam House, London, UK .
- Stevens, P. (2019), 'The geopolitical implications of future oil demand', *Energy* .
- Stevens, W. P. (1984), 'arket reaction to corporate environmental performance', *Advances in Accounting* **1**, 240–248.
- Technology, P. (2020), 'Emerging risks due to covid-19 to restrict the project finance market for renewable energy development'.
- Testa, S., Nielsen, K. R., Bogers, M. and Cincotti, S. (2019), 'The role of crowdfunding in moving towards a sustainable society', *Technological Forecasting and Social Change* **141**, 66–73.
- Tomorrow Energy (2015), 'Who owns big oil'.
- Train, K. (2009), *Discrete Choice Methods with Simulation*, 2nd ed. edn, Cambridge University Press.
- UNEP (2017), 'Global Trends in Renewable Energy Investment 2017'.
- UNFCCC (2019), 'UN Climate Change Annual Report 2018'.
- Van Beurden, P. and Gössling, T. (2008), 'The worth of values—a literature review on the relation between corporate social and financial performance', *Journal of business ethics* **82**(2), 407.
- van Rooijen, S. N. and van Wees, M. T. (2006), 'Green electricity policies in the Netherlands : an analysis of policy decisions', *Energy Policy* **34**(1), 60–71.
- van Ruijven, B. and van Vuuren, D. P. (2009), 'Oil and natural gas prices and greenhouse gas emission mitigation', *Energy Policy* **37**, 4797–4808.

- Vance, S. (1975), 'Are socially responsible corporations good investment risks?', *Managerial Review* **64**, 18–24.
- Vasileiadou, E., Huijben, J. and Raven, R. (2016), 'Three is a crowd? exploring the potential of crowdfunding for renewable energy in the netherlands', *Journal of Cleaner Production* **128**, 142–155.
- Vasileiadou, E., Huijben, J. and Raven, R. (2019), 'Opinionway for qualit"enr'.
- Verleger, P. (1991), 'Structural change in the 1980s', *Wilfrid Kohl, After the Oil Price Collapse* .
- Vielle, M. and Viguiet, L. (2007), 'On the climate change effects of high oil prices', *Energy Policy* **35**, 844–849.
- Waddock, S. A. and Graves, S. B. (1997a), 'The corporate social performance–financial performance link', *Strategic management review* **10**, 758–769.
- Waddock, S. A. and Graves, S. B. (1997b), 'The corporate social performance–financial performance link', *Strategic management journal* **18**(4), 303–319.
- Walker, G. (1995), 'Renewable energy and the public', *Land use policy* **12**(1), 49–59.
- Wang, Y. (2006), 'Renewable electricity in Sweden : an analysis of policy and regulations', *Energy Policy* **34**(10), 1209–1220.
- Wartick, S. L. and Cochran, P. L. (1985), 'The evolution of the corporate social performance model', *Academy of management review* **10**(4), 758–769.
- Weijermars, R., Clint, O. and Pyle, I. (2014), 'Competing and partnering for resources and profits : Strategic shifts of oil majors during the past quarter of a century', *Energy Strategy Reviews* **3**, 72–87.

- White, M. (1996), 'Corporate environmental performance and shareholder value'.
- Wolsink, M. (2000), 'Wind power and the nimby-myth : institutional capacity and the limited significance of public support', *Renewable energy* **21**(1), 49–64.
- Wolsink, M. (2007), 'Planning of renewables schemes : Deliberative and fair decision-making on landscape issues instead of reproachful accusations of non-cooperation', *Energy policy* **35**(5), 2692–2704.
- Wood, D. J. and Jones, R. E. (1995), 'Stakeholder mismatching : A theoretical problem in empirical research on corporate social performance', *The International Journal of Organizational Analysis* .
- Wüstenhagen, R. and Bilharz, M. (2006), 'Green energy market development in Germany : effective public policy and emerging customer demand', *Energy Policy* **34**(13), 1681–1696.
- Wüstenhagen, R., Wolsink, M. and Bürer, M. J. (2007), 'Social acceptance of renewable energy innovation : An introduction to the concept', *Energy Policy* **35**(5), 2683–2691.
- Yin, H. and Powers, N. (2010), 'Do state renewable portfolio standards promote in-state renewable generation?', *Energy Policy* **38**, 1140–1149.
- YouGov France for FPF, t. M. (2019), 'Enquête sur le financement participatif des énergies renouvelables'.
- Zarnikau, J. (2003), 'Consumer demand for 'green power'and energy efficiency', *Energy policy* **31**(15), 1661–1672.
- Zhao, Y., Tang, K. K. and Wang, L.-l. (2013), 'Do renewable electricity policies promote renewable electricity generation ? evidence from panel data', *Energy policy* **62**, 887–897.

Zhong, M. and Bazilian, M. D. (2018), ‘Contours of the energy transition : Investment by international oil and gas companies in renewable energy’, *The Electricity Journal* **31**(1), 82–91.

Ziegler, A. and Nogareda, J. S. (2009), ‘Environmental management systems and technological environmental innovations : Exploring the causal relationship’, *Research Policy* **38**(5), 885–893.

Liste des tableaux

1.2.1 Panel of countries	46
1.3.2 PSTR estimation results	48
1.B.1 List of variables	60
1.C.1 Linear model and model with interaction variables estimation results	62
1.C.2 PSTR estimation results for OECD and BRICS subsamples	63
2.3.1 Subcategory description	86
2.3.2 Examples of announcements by subcategory	87
2.5.1 Results for the upstream oil and gas strategy	96
2.5.2 Results for the climate strategy	98
3.3.1 Attributes and their levels	114
3.3.2 Comparison of selected characteristics of our sample with the French population . .	117
3.5.1 Results of the RPL model without socioeconomic interactions	131
3.5.2 Results of RPL models with socioeconomic interactions	132
3.5.3 Results of the two latent class model	135
3.C.1 Latent class models, RPL models and conditional logits criteria (log likelihood, AIC, CAIC and BIC)	166
3.C.2 Results of the conditional logit with the average return attribute as a dummy-coded variable (1) and as a continuous variable (2)	167

Liste des figures

1	Capacités installées en énergies renouvelables et estimation de leur évolution	4
2	Réduction des émissions de CO_2 dans le cadre du <i>Sustainable Development Scenario</i> et <i>Net Zero Emission 2050 case</i> de l'AIE	5
3	Répartition des investissements dans les énergies renouvelables par technologie (en milliards en dollars)	7
4	Nouvelles capacités ajoutées en solaire photovoltaïque et éolien terrestre (en GW) .	8
5	Total des capacités mondiales par technologie (GW)	9
6	Coûts actualisés de l'électricité (LCOE) pour le solaire photovoltaïque et l'éolien entre 2010 et 2019	10
7	Coûts d'installation moyens globaux par technologie (USD/kWh)	10
8	Répartition géographique des investissements dans les énergies renouvelables (en milliards de dollars)	11
9	Capacités additionnelles annuelles moyennes en solaire photovoltaïque et éolien dans le cadre du <i>Sustainable Development Scenario</i> de l'AIE pour 2030.	20
10	Capacités mondiales en solaire photovoltaïque selon les différents scénarii de l'AIE (en GW)	20
11	Investissements dans les activités bas carbone des principales entreprises du secteur des hydrocarbures (en milliards de dollars)	23

12	Investissements réalisés dans l'énergie par secteur (en milliards de dollars, USD 2019)	23
13	Investissement mondial dans les activités amont du secteur des énergies fossiles, dans les activités bas carbone (comprenant les énergies renouvelables) et dans les énergies renouvelables (milliards de dollars, USD 2019)	26
1.1.1	Oil price growth and annual variation of the share of solar PV capacities in the total electricity capacities for the BRICS	38
1.A.1	Investments in renewable energy (in billion US dollars)	59
1.B.1	Share of utility-scale solar PV in the total electricity capacities (in %)	61
2.4.1	Timeline for an event study (Mackinlay, 1997)	90
3.3.1	Example of a choice card	115
3.A.1	Survey presented to respondents	138
3.B.1	Choice cards - Block 1	154
3.B.2	Choice cards - Block 2	160

Résumé de la thèse “Les déterminants des investissements dans les énergies renouvelables dans le cadre des politiques publiques de transition énergétique”

Margaux Escoffier^{a,b}

^aIFP Énergies nouvelles, 1 et 4 avenue de Bois-Préau, 92852 Rueil-Malmaison, France.

^bEconomiX-CNRS, Université Paris Nanterre, 200 avenue de la République, 92000 Nanterre, France.

Avril 2021

La lutte contre le changement climatique constitue un défi d'envergure internationale et dont l'importance s'est tout particulièrement concrétisée lors de l'Accord de Paris du 12 décembre 2015. Bien que ce dernier représente le premier accord universel sur le climat, la coopération internationale pour l'environnement a vu le jour en 1972 à Stockholm, lors de la Conférence des Nations Unies établissant les premières bases du Programme des Nations Unies sur l'Environnement (PNUE). L'existence d'un réchauffement climatique induit par l'activité humaine n'a toutefois été reconnue qu'en 1992 lors du Sommet de la Terre de Rio de Janeiro à travers la Convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique (CCNUCC) à l'initiative des *Conference of Parties* (COP), une association de pays ayant ratifié la CCNUCC et permettant de prendre des décisions au niveau international afin de préserver l'environnement. La première COP s'est déroulée en 1995 en Allemagne, mais c'est en 1997, au Japon (COP 3), qu'un premier accord international a vu le jour à travers la signature du Protocole de Kyoto ayant pour objectif de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) d'au moins 5 % par rapport aux niveaux de 1990. Il est entré en vigueur le 16 février 2005 et seulement 37 pays industrialisés – à l'exception des États-Unis – se sont réellement engagés à suivre cet objectif. Bien qu'ambitieux, le Protocole de Kyoto ne prévoit pas de mesures juridiquement contraignantes, contrairement à l'objectif initial de la COP 21. Approuvé par 196 délégations dont l'Union européenne lors de la COP 21 en 2015, l'Accord de Paris est officiellement entré en vigueur le 4 novembre 2016. Cet accord ne constitue pas un texte contraignant juridiquement dans le sens où les engagements en termes de lutte contre le

réchauffement climatique sont fixés librement par chaque pays. Il doit être exécuté « de bonne foi » par les différents membres, comme cela est stipulé par la Convention de Vienne sur le droit des traités (1969). Cependant, chaque partie a l'obligation de se fixer des objectifs à respecter. Cet accord, qui reprend les objectifs établis lors de la Conférence de Copenhague (COP 15), vise ainsi à réduire les émissions de GES en maintenant le réchauffement planétaire bien en-deçà de 2 degrés Celsius (2°C) et en intensifiant les efforts afin de le limiter à 1,5°C. Selon les estimations du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) en 2018, l'activité humaine aurait déjà provoqué un réchauffement planétaire d'environ 1°C au-dessus des niveaux préindustriels. Ainsi, limiter l'augmentation généralisée des températures par rapport aux niveaux qui prévalaient durant la période préindustrielle (1850) permettrait de contenir les risques liés au changement climatique pouvant affecter durablement les différents écosystèmes de notre planète.

Plusieurs propositions ont ainsi été formulées par le GIEC afin de limiter l'augmentation des températures en-deçà de 1,5°C. Elles consistent notamment à réduire la consommation d'énergie *via* des changements de comportement et de mode de vie, à utiliser l'énergie nécessaire de manière plus efficace, ou encore à faire évoluer le mix électrique mondial avec l'augmentation des capacités en énergies renouvelables. Tasneem Essop, cheffe de la délégation WWF (*World Wide Fund for Nature*) pour la COP 21, précisait que « Grâce à l'accord de Paris, nous avons franchi une étape importante mais ce n'est pas suffisant. Nous devons, à présent, travailler au renforcement des ambitions nationales amorcées par cet accord » (WWF, 12/12/2015). Comme précisé par le Rapport spécial sur les sources d'énergies renouvelables et l'atténuation des effets des changements climatiques rédigé par le Groupe de travail III du GIEC (2011), le renforcement de ces ambitions nationales doit notamment passer par une évolution des mix électriques nationaux avec le déploie-

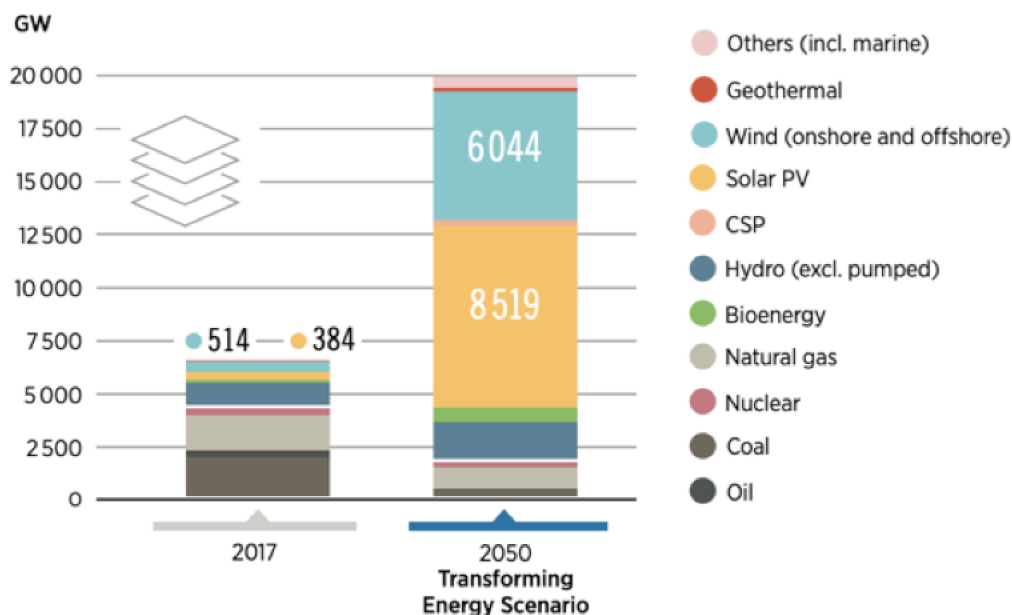
ment d'énergies renouvelables. Outre leur contribution à réduire les émissions de GES, celles-ci peuvent aussi jouer un rôle en matière d'équilibre de la balance commerciale car elles permettent de réduire les importations d'énergies fossiles. Ce double dividende (Criqui et Mima, 2012) peut également s'accompagner d'un développement économique et social local, les énergies renouvelables générant des externalités positives sur les territoires. Elles constituent de plus une source d'énergie inépuisable bien qu'il soit nécessaire de remédier au problème d'intermittence qui leur est inhérent (pour les énergies renouvelables variables telles que l'éolien ou le solaire photovoltaïque) *via* le recours à d'autres sources d'énergie, comme le gaz notamment, ou à l'aide de technologies de stockage. Un rapport de 2019 de l'Agence internationale pour les énergies renouvelables (IRENA) précise qu'en prenant en compte les politiques publiques actuelles et celles qui entreront en vigueur prochainement, les capacités en énergies renouvelables pourraient représenter deux tiers de la demande mondiale d'énergie (57 % d'ici 2030). À elles seules, les énergies renouvelables pourraient atteindre 30 % de la consommation totale d'électricité d'ici 2030, contre 20 % en 2019. À horizon 2050, elles pourraient représenter 86 % de la génération totale d'électricité parmi lesquelles le solaire et l'éolien atteindraient respectivement 8 519 GW et 6 044 GW, soit environ les deux tiers des capacités mondiales totales (IRENA 2020a) . Cette tendance serait notamment guidée par une réduction significative des coûts. Concernant le solaire photovoltaïque, la production d'1 MWh représente, selon ce même rapport, un coût de 52 dollars en 2019 (34-40 dollars d'ici 2030 selon les projections de l'IRENA), contre 371 dollars en 2010. En 2019, 1 MWh d'électricité produit à partir d'énergie éolienne coûtait 47 dollars, contre 84 dollars en 2010 et pourrait atteindre entre 30 et 40 dollars d'ici 2030. Selon l'IRENA (2020)¹, les énergies renouvelables couplées à l'efficacité énergétique pourraient assurer un futur énergétique durable. Pour atteindre cet objectif², les inves-

¹Sous réserve que les investissements augmentent de 37 000 millions de dollars d'ici à 2050 dans l'efficacité énergétique, les énergies renouvelables (22 500 milliards de dollars) et les réseaux électriques principalement (13 000 millions de dollars). Source : IRENA Global Renewables Outlook, 2020.

²Dans le cadre du scénario « *RE map* » de l'IRENA (2020) qui inclut le déploiement d'énergies bas carbone, en particulier les énergies

tissements dans les énergies renouvelables doivent doubler d'ici 2030 afin qu'ils puissent atteindre 737 milliards de dollars par an (contre en moyenne 300 milliards de dollars investis par an au cours des dernières années) (**Figure 1**). Ainsi, 86 % de la puissance électrique totale devra provenir des énergies renouvelables à horizon 2050 contre 25 % en 2017.

Figure 1: Capacités installées en énergies renouvelables et estimation de leur évolution



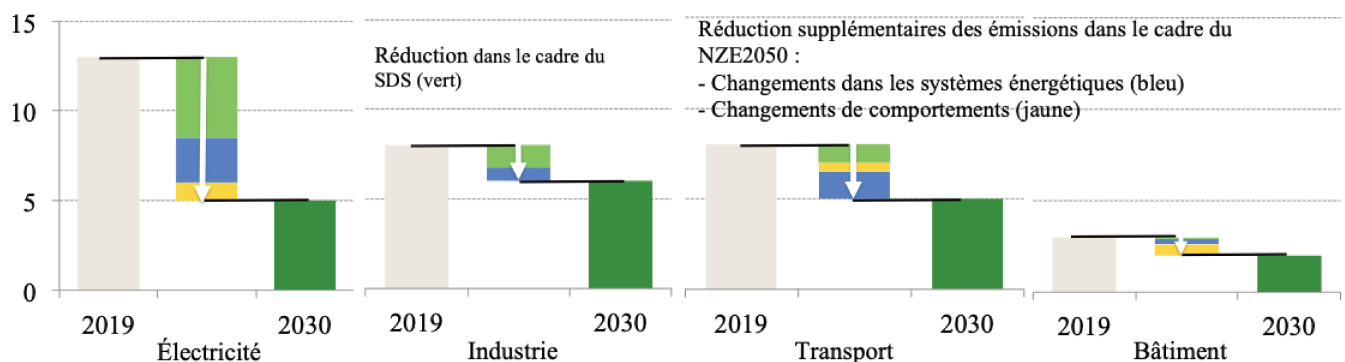
Source : IRENA 2020

Le Fonds monétaire international (FMI) dans son *World Economic Outlook* (WEO) de 2020 estime aujourd'hui qu'environ 70 pays se sont engagés à prendre les mesures nécessaires pour atteindre l'objectif de neutralité carbone d'ici 2050. Pour cela, le scénario de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) (*Net Zero Emissions by 2050*, NZE2050) prévoit que les émissions de CO₂ doivent diminuer de 45 % entre 2010 et 2030 (**Figure 2**), ce qui signifie une réduction encore plus importante des émissions de CO₂ (de l'ordre de 6,6 Gt) comparativement à son *Sustainable*

renouvelables, permettant d'assurer la transformation du système énergétique mondial afin de limiter l'augmentation des températures bien en-deçà de 2°C.

*Development Scenario*³ (SDS). Les émissions de CO₂ du secteur de l'énergie devraient diminuer d'environ 60 % dans le scénario NZE2050 entre 2019 et 2030 et la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité devrait passer de 27 % en 2019 à 60 % en 2030. Cela nécessiterait ainsi de tripler les investissements dans le secteur de la production d'électricité de 760 milliards de dollars en 2019 à 2 200 milliards de dollars en 2030 et dont le tiers serait dédié à l'expansion, la modernisation et la digitalisation des réseaux électriques. En particulier, les capacités additionnelles annuelles en solaire photovoltaïque dans le scénario NZE2050 devront passer de 110 GW en 2019 à 500 GW en 2030. Ainsi, pour atteindre la neutralité carbone d'ici à 2050, les efforts en termes de réduction des émissions de CO₂ devront être significativement renforcés comparativement au scénario SDS. Selon l'AIE, cela nécessitera « un changement radical concernant l'ambition et l'action des décideurs politiques, des industries et des marchés financiers, soutenu par une étroite collaboration internationale et transfrontalière ».

Figure 2: Réduction des émissions de CO₂ dans le cadre du *Sustainable Development Scenario* et *Net Zero Emission 2050 case* de l'AIE



Source : IEA, *World Energy Outlook*, 2020

³Ce scénario trace une trajectoire alignée sur l'Accord de Paris et qui prévoit de limiter la hausse des températures mondiales « bien en deçà de 2°C et en poursuivant les efforts pour la limiter à 1,5°C » et répondre également aux objectifs liés à un accès universel à l'énergie tout en améliorant la qualité de l'air.

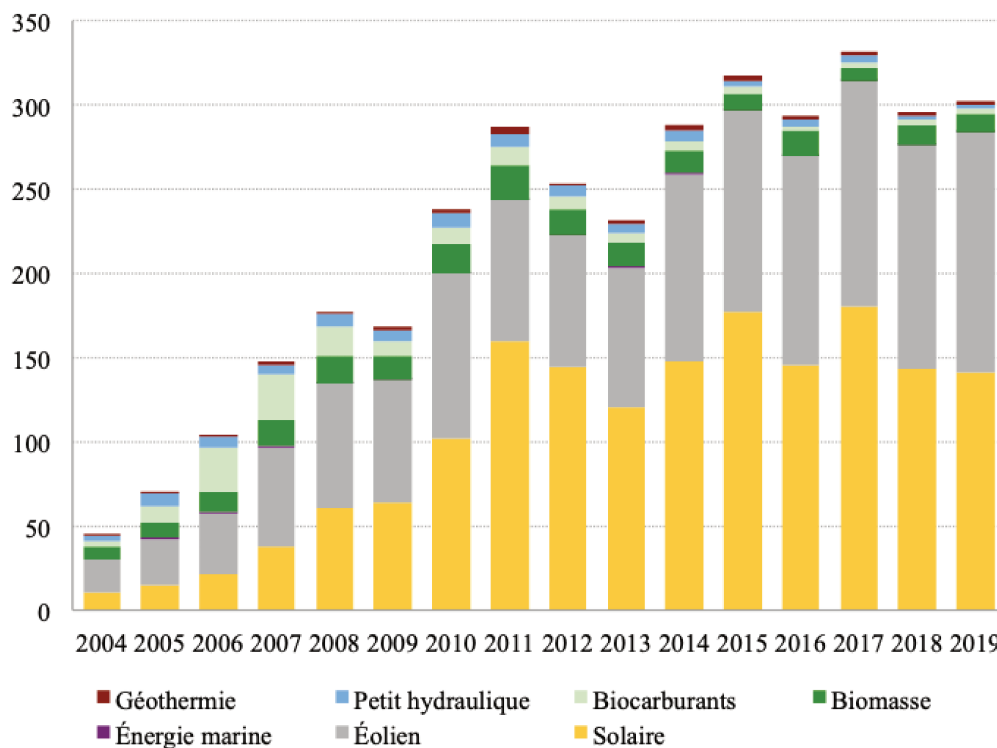
Cette thèse s’inscrit précisément dans ce contexte en se consacrant à la question du déploiement, de la valorisation par les marchés financiers et du financement des énergies renouvelables dans la perspective de la transition énergétique mondiale. Elle propose notamment d’étudier les principaux déterminants et les barrières aux financements des énergies renouvelables. Afin de pleinement saisir l’importance de cette problématique et d’apporter des réponses aux questions posées, commençons par décrire les tendances récentes observées en matière d’investissements dans les énergies renouvelables.

Selon Buchner et al. (2017), en 2015 et 2016, l’investissement (privé) dans les énergies renouvelables a excédé de 100 % celui dans les énergies fossiles pour la production d’électricité.⁴ Concernant l’investissement mondial dans les énergies renouvelables (**Figure 3**), celui-ci s’est également particulièrement accru entre 2012 et 2015, atteignant 330 milliards de dollars en 2015 avant de chuter de 20 % en 2016 (263 milliards de dollars). En 2019, l’investissement mondial dans les énergies renouvelables a de nouveau dépassé le seuil des 300 milliards de dollars. Afin de répondre aux objectifs en matière de lutte contre le changement climatique d’ici à 2050 et ainsi assurer la limitation de l’augmentation des températures en-dessous de 1,5°C, un total de 110 000 milliards de dollars seraient nécessaires selon le scénario « *RE map* »⁵ de l’IRENA incluant notamment 27 000 milliards dans les énergies renouvelables (24 %) et 37 000 milliards dans l’efficacité énergétique (35 %).

⁴Hors investissements d’extraction. L’investissement dans les énergies fossiles pour la production d’électricité s’élève à 118 milliards de dollars en 2018, dont 80 milliards de dollars pour les centrales électriques à charbon, 34 milliards de dollars pour les centrales électriques au gaz et 4 milliards de dollars pour les centrales au fioul. Toutefois, l’investissement total dans les énergies fossiles s’élève à 825 milliards de dollars en 2016 contre 383 milliards pour les énergies renouvelables.

⁵Le programme *RE map* de l’IRENA a pour but de déterminer le potentiel des pays, des régions et du monde à développer les énergies renouvelables. Le programme évalue le potentiel de développement des énergies renouvelables grâce à des analyses pays réalisées avec des experts pour chaque pays. Ces différents rapports sont ensuite agrégés afin d’obtenir une vision globale.

Figure 3: Répartition des investissements dans les énergies renouvelables par technologie (en milliards en dollars)

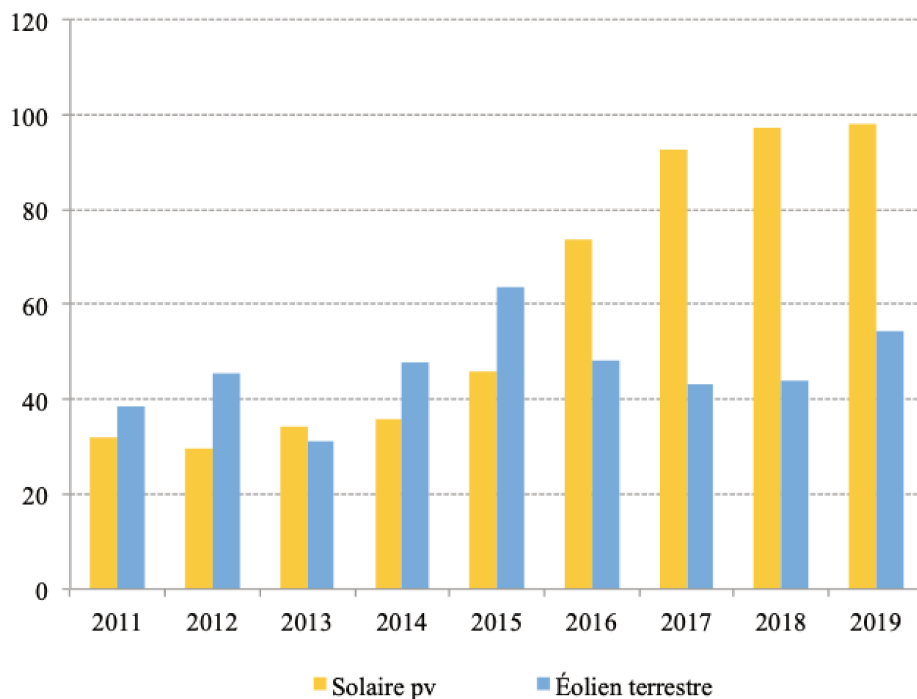


Source: Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF, 2020. *Global Trends in Renewable Energy Investment 2020*, <http://www.fs-unep-centre.org> (Frankfurt am Main)

Comme indiqué sur la **Figure 3**, en 2015, les investissements dans le solaire photovoltaïque et l'éolien s'élevaient à 296 milliards de dollars, représentant ainsi 94 % du montant total des investissements dans les énergies renouvelables. Après une baisse observée en 2016 (269 milliards de dollars), 2017 a connu un net regain de l'investissement de 17 % avant de diminuer à nouveau de 12 % en 2018. Toutefois, malgré une nette diminution des investissements en 2016, on observe sur la **Figure 4** que les capacités en solaire photovoltaïque n'ont cessé d'augmenter sur la période 2012-2019. Les investissements dans l'énergie solaire (prenant en compte à la fois l'énergie solaire photovoltaïque et thermique) ont atteint un pic à 181 milliards de dollars en 2017, avant de diminuer de 20 % en 2018 et de 2 % en 2019 pour atteindre 141 milliards de dollars. Les investissements dans l'éolien connaissent quant à eux une croissance positive depuis 2004 (malgré une

très légère baisse en 2018). En 2019, ces derniers ont connu une croissance de 7,5 % pour atteindre 143 milliards de dollars, l'éolien représentant ainsi la technologie la plus attractive en termes de flux financiers pour l'année 2019.

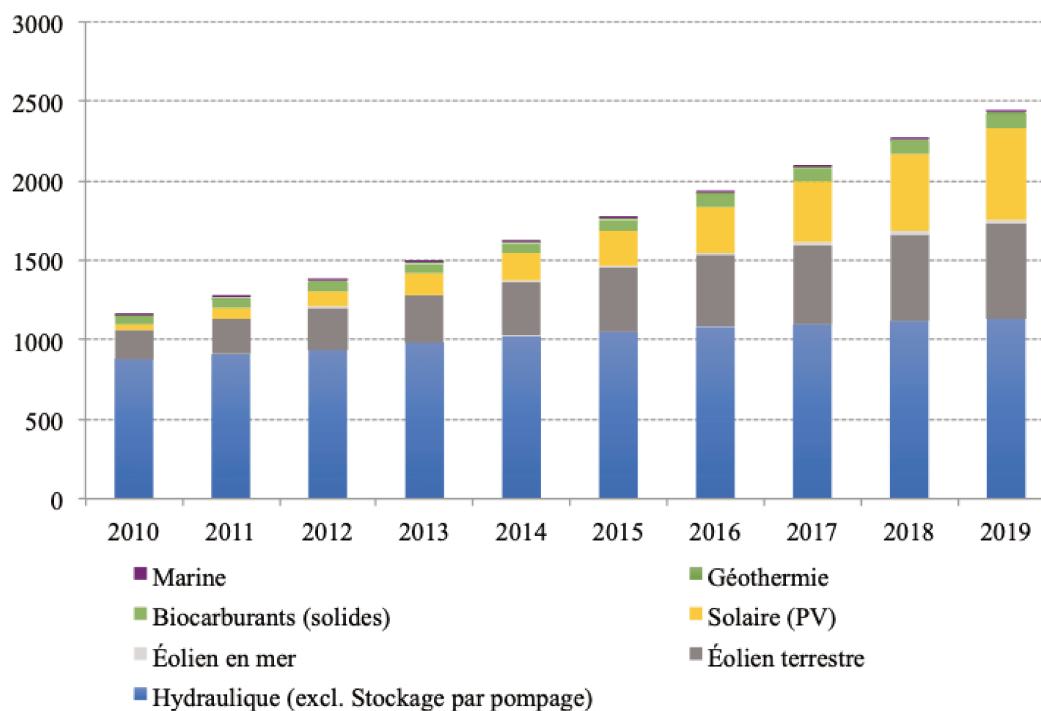
Figure 4: Nouvelles capacités ajoutées en solaire photovoltaïque et éolien terrestre (en GW)



Source : BloombergNEF

Malgré une légère diminution du montant de l'investissement pour certaines technologies ces dernières années, les capacités en énergies renouvelables variables ont continué à croître de manière significative en raison d'une forte diminution des coûts (**Figure 5**). En 2019, les capacités additionnelles en énergies renouvelables (à l'exception des grandes installations hydroélectriques) s'élevaient à 184 GW (incluant 118 GW d'installations solaires et 61 GW d'installations éoliennes), soit 20 GW de plus qu'en 2018, soit encore 77,6 % du total des nouvelles capacités (toutes technologies confondues) en 2019.

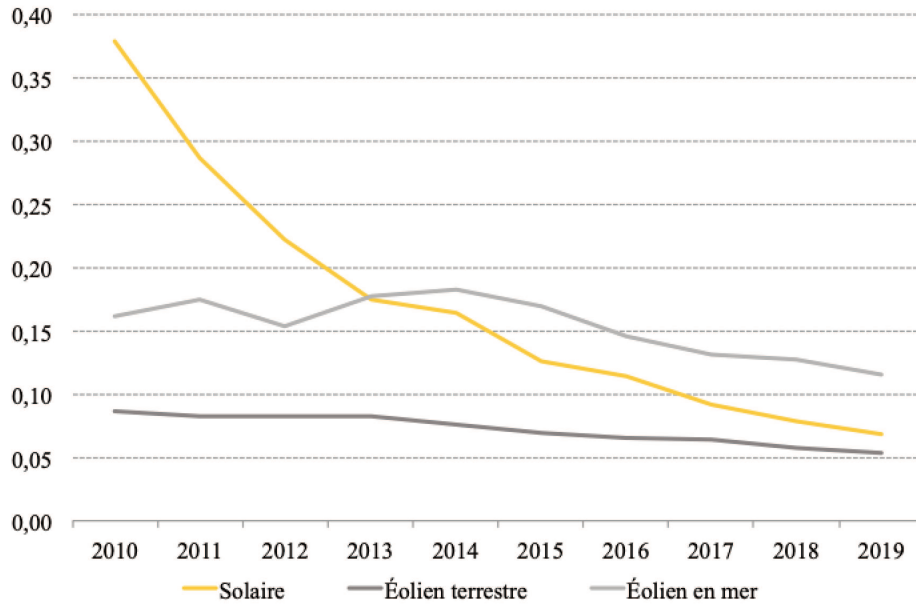
Figure 5: Total des capacités mondiales par technologie (GW)



Source : Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF. 2020. *Global Trends in Renewable Energy Investment 2020*, <http://www.fs-unep-centre.org> (Frankfurt am Main)

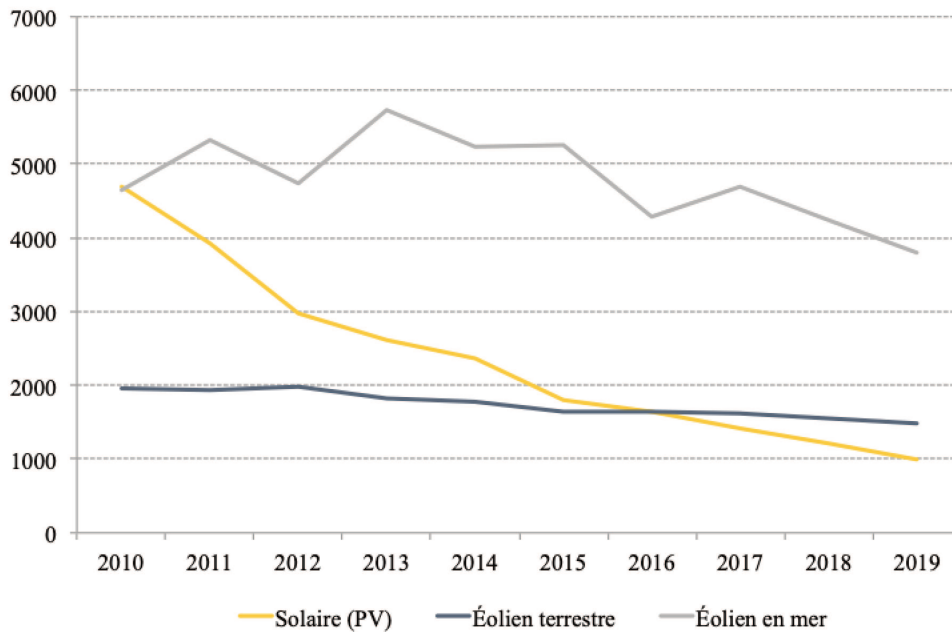
Entre 2015 et 2016, les coûts de l'énergie éolienne et solaire ont été réduits respectivement de 17 et 13 milliards de dollars, expliquant plus de la moitié de la contraction des investissements dans ces technologies. Plus précisément, la réduction des coûts actualisés de l'énergie (LCOE) solaire a été particulièrement significative entre 2010 et 2018 (IRENA 2019b), de l'ordre de 77 % en moyenne au niveau mondial (**Figure 6**). Concernant les coûts d'installation de l'éolien terrestre entre 2010 et 2019, ces derniers ont diminué de 24 %. S'agissant du photovoltaïque, cette baisse a été nettement plus importante, de l'ordre de 79 % (**Figure 7**).

Figure 6: Coûts actualisés de l'électricité (LCOE) pour le solaire photovoltaïque et l'éolien entre 2010 et 2019



Source : IRENA, *Renewable Power Generation Costs, 2019 & 2020*

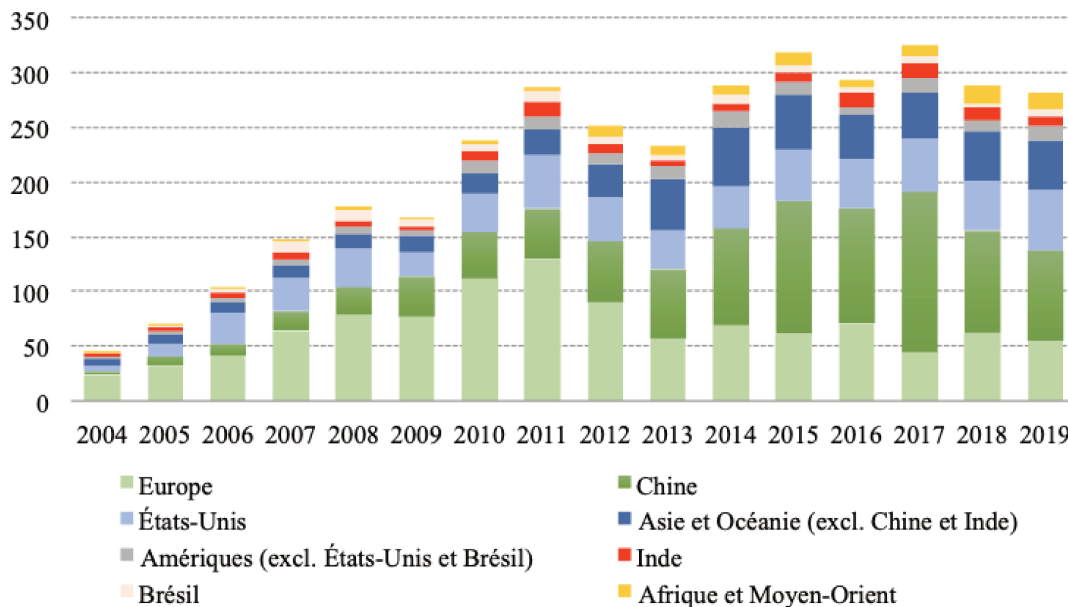
Figure 7: Coûts d'installation moyens globaux par technologie (USD/kWh)



Source : IRENA, *Renewable Power Generation Costs, 2019 & 2020*

Si l'investissement global dans les énergies renouvelables a connu une croissance moyenne importante au cours des vingt dernières années pour la plupart des technologies, une analyse géographique révèle une certaine hétérogénéité entre les différentes régions et entre les pays.

Figure 8: Répartition géographique des investissements dans les énergies renouvelables (en milliards de dollars)



Source: Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF. 2020. *Global Trends in Renewable Energy Investment 2020*, <http://www.fs-unep-centre.org> (Frankfurt am Main)

Sur la **Figure 8**, on observe que la plupart des investissements sont localisés en Asie et en particulier en Chine, ainsi qu'aux États-Unis et en Europe. En 2015, l'Asie et l'Océanie (hors Chine et Inde) accueillait 50,6 milliards de dollars, contre 46,2 milliards en 2013, avant de diminuer d'environ 21 % en 2016 pour atteindre 40,1 milliards. Ce déclin est principalement le fait du Japon où les investissements dans le solaire photovoltaïque ont été significativement réduits en raison d'une importante baisse des tarifs de rachat préférentiels⁶ (*feed-in tariffs*). La période 2017-2018 a cependant connu une légère croissance, de l'ordre de 6 % en moyenne (45,4 milliards

⁶Les politiques de tarifs de rachat préférentiels ou *feed-in tariffs* assurent aux développeurs de projets des tarifs fixes de rachat d'électricité produite à partir d'énergies renouvelables pour une durée déterminée (entre 15 et 20 ans en moyenne selon les contrats); voir *infra*.

de dollars en 2018), avant de s'établir à 45,1 milliards de dollars en 2019. Les investissements en Chine ont fortement augmenté, de 36 %, sur la période 2014-2015. En 2016, la tendance s'inverse et les investissements ont chuté de 15 %, avant de connaître un net regain en 2017, puis un fort déclin de 37 % en 2018, principalement du fait d'une réduction des politiques publiques de soutien aux énergies renouvelables et notamment des politiques de tarifs de rachat préférentiels. En 2019, les investissements connaissent à nouveau une légère baisse de 10 % pour s'établir à 83,4 milliards de dollars. Concernant l'Europe, celle-ci a vu ses investissements atteindre 61,3 milliards de dollars en 2015, contre 57 milliards en 2013. Toutefois, ces derniers ont augmenté de 16 % entre 2015 et 2016 pour atteindre 71,1 milliards de dollars avant de chuter en 2017 à 44,7 milliards. Les changements de politiques publiques de soutien au renouvelable au Royaume-Uni et en Allemagne sont principalement à l'origine de ce déclin. En 2018, les investissements dans les énergies renouvelables en Europe enregistraient à nouveau un regain, ces derniers s'élevant à 62,2 milliards, avant de connaître une nouvelle baisse de 12 % en 2019.

Au delà d'une réduction importante des coûts, cette diminution de l'investissement est également liée à une réduction du volume des capacités financées, notamment en Chine où les développeurs se sont empressés de finaliser leurs contrats pour bénéficier des subventions accordées par le biais des politiques de tarifs de rachat préférentiels d'électricité ou *feed-in tariff*. En effet, la Chine a réduit sa politique de tarifs de rachat en 2018 et de nombreux projets se sont concrétisés en 2015 afin de bénéficier de tarifs plus avantageux. Concernant l'énergie hydraulique,⁷ les investissements ont été réduits de 35 % entre 2013 et 2016, une tendance qui semble se poursuivre puisque ceux-ci ont encore baissé de 8 % entre 2018 et 2019. Cela est principalement lié à l'absence de construction d'installations de grande envergure, ainsi qu'à un potentiel de développement limité à l'exception de l'Afrique et de la Chine durant ces dernières années. Toutefois, d'importants projets ont été

⁷Petites et grandes installations hydroélectriques.

menés au Brésil entre 2013 et 2014 concernant les grandes installations hydroélectriques. Il est important de rappeler que ce type de technologie utilisé pour la production d'électricité dépend du potentiel hydraulique du pays. Une fois le potentiel exploité, cette technologie arrive rapidement à saturation, mais demeure une source fiable et rentable de production d'électricité. L'investissement dans la biomasse a connu une forte baisse en 2017 (7,4 milliards de dollars en 2017, contre 15,2 milliards en 2016). L'investissement dans la géothermie est quant à lui relativement stable sur la période 2010-2019, avec un montant annuel moyen de 2 milliards de dollars. Enfin, les biocarburants semblent attirer de moins en moins de flux financiers depuis 2010, pour atteindre 3 milliards de dollars en 2019, contre 10 milliards en 2010.

Malgré la crise liée à la pandémie de Covid-19, les énergies renouvelables sont la seule source de production d'électricité ayant connu une augmentation de leurs capacités en 2020, mettant en avant le potentiel de ces énergies pour les années à venir (IEA 2020c). Hale (2020) montre par ailleurs que les actifs du secteur des énergies renouvelables ont été beaucoup plus résilients que ceux du secteur des énergies fossiles. Toutefois, le nombre d'investissements dans le secteur des énergies renouvelables aurait chuté de 34 % au cours du premier semestre 2020 comparativement au premier semestre 2019 (IRENA 2020b). L'explication la plus fréquemment avancée serait une plus forte incertitude sur les marchés financiers, couplée à une volatilité accrue, qui auraient ainsi conduit les investisseurs à présenter une plus grande aversion au risque. Dans ce contexte d'incertitude, le développement de nouveaux projets pourrait être freiné à court terme, les développeurs de projets restant dans l'attente d'une stabilisation des marchés et d'une réduction des coûts de financement (IRENA 2020b, Technology 2020, Renewables Now 2020). Par ailleurs, l'importante réduction de la consommation d'électricité au premier trimestre 2020, de l'ordre de 20 %, a favorisé

la production d'électricité *via* les énergies renouvelables du fait de coûts opérationnels moins élevés. Dans un contexte où les investisseurs semblent ainsi revoir la stratégie de leurs portefeuilles d'actifs en faveur de la transition énergétique, l'IRENA (2020b) s'attend à ce que l'année 2021 connaisse un net regain de l'investissement dans les énergies renouvelables. En particulier, le rapport⁸ envisage qu'à horizon 2023, ces investissements pourraient atteindre environ 2 000 milliards de dollars par an, puis 4 500 milliards de dollars par an jusqu'en 2030.

86 % des investissements dans les énergies renouvelables sont issus de financements privés sur la période 2013-2018 (257 milliards de dollars par an en moyenne) dont la moitié provient, en moyenne sur la période, des développeurs de projets. Toutefois, si le secteur public semble financer uniquement les 14 % restants, il favorise dans une large mesure les investissements avec des politiques publiques de soutien au développement des énergies renouvelables. En 2015, le gouvernement japonais a par exemple mobilisé 6 milliards de dollars de fonds publics pour le soutien aux renouvelables, alors que le financement privé ne représentait que 450 millions de dollars. Cette même année, 50 % de l'électricité produite en Europe de l'Ouest était soutenue par des politiques publiques mobilisant environ 66 milliards de dollars de fonds publics (CEER 2018) et 44 % de ces fonds ont été alloués au soutien du solaire photovoltaïque suivi par l'éolien terrestre (23 %). Le nombre de pays faisant appel à ce type de politiques a d'ailleurs triplé entre 2014 et 2016, passant de 48 à 147.

Différentes politiques publiques de soutien aux énergies renouvelables existent telles que les tarifs de rachat préférentiels (*feed-in tariffs*), les primes de rachat (*feed-in premiums*), les certificats verts (*green certificates*) ainsi que les systèmes d'enchères plus récemment. Les tarifs de rachat

⁸Ce rapport a été publié en décembre 2020.

consistent en des tarifs de rachats préférentiels d'électricité produite à partir d'énergies renouvelables. Ces tarifs sont subventionnés par l'État et sont fixés par un contrat durant une période fixe (entre 15 et 25 ans en moyenne selon les pays). Ce type de politique publique assure ainsi aux développeurs privés des tarifs de rachat de leur électricité à des niveaux supérieurs à ceux qui prévalent sur le marché (marché *spot* de l'électricité), favorisant *de facto* l'investissement. Ce type de politique de soutien a été particulièrement attractif sur la période 2010-2015 du fait de l'appétence des investisseurs pour des tarifs fixes synonymes de rendements stables ainsi que les niveaux relativement élevés appliqués comparativement aux prix observés sur les marchés. Le développement du solaire photovoltaïque et de l'éolien terrestre repose par ailleurs largement sur cette politique de soutien (IRENA 2019a) qui s'est avérée efficace (Mitchel et Connor, 2004 ; Romano et al., 2017 ; Butler et Neuhoff, 2008 ; Bürer et Wüstenhagen, 2009). Les primes de rachat (*feed-in premiums*) divergent des tarifs de rachat (*feed-in tariffs*) dans le sens où elles ne constituent pas des tarifs fixes. Les primes de rachat d'électricité correspondent au prix du marché plus une prime. Par conséquent, ce type de politique de soutien peut s'avérer plus risqué pour les investisseurs puisqu'il est tributaire du niveau de prix *spot* observé sur les marchés et qui est donc variable dans le temps. Enfin, les certificats verts (*green certificates*) sont une sorte de label attribué aux sources d'électricité d'origine verte. À la différence des tarifs de rachat, les certificats verts ne s'appuient pas sur le soutien par les prix, mais favorisent la production d'énergies renouvelables en fixant des objectifs quantitatifs (Caisse des Dépôts, note n°16, décembre 2008). Ainsi, les fournisseurs (ou producteurs d'électricité selon la réglementation) doivent acheter des certificats verts aux producteurs pour assurer qu'une certaine part d'électricité dans leur offre est produite à partir d'énergies renouvelables. Si les tarifs de rachat ont connu un certain succès auprès des investisseurs, et ont notamment été à l'origine du développement important des énergies renouvelables dans de nom-

breux pays⁹ les systèmes d'enchères semblent prendre la relève depuis 2015. L'attractivité des tarifs de rachat a largement diminué depuis 2015, (i) en raison d'importantes réductions de coûts liées à la génération d'électricité, (ii) mais aussi parce que les énergies renouvelables sont devenues des technologies beaucoup plus matures – ce type de politique de soutien étant recommandé dans le cas de technologies encore peu matures – et (iii) du fait des réductions budgétaires dans de nombreux États favorisant ces pratiques. Les énergies renouvelables ayant vu leurs coûts significativement diminué et étant devenues des technologies matures (solaire et éolien terrestre), le montant des tarifs de rachat est devenu de plus en plus faible jusqu'à atteindre dans certains pays la quasi parité avec le prix de marché. Ainsi, le nombre de pays faisant appel au système d'enchères a été multiplié par dix, passant de 6 en 2005 à 60 en 2015. Une raison possible au développement rapide des systèmes d'enchères concerne le fait que ces derniers ne requièrent pas de cadre réglementaire et/ou institutionnel spécifique (*Renewable Energy Policy in a Time of Transition* 2016). Toutefois, l'engouement pour les systèmes d'enchères semble s'appuyer davantage sur leur potentiel de réduction des prix, de part leur caractère concurrentiel, comparativement à d'autres politiques de soutien.

La littérature économique s'intéresse depuis quelques années à la question du déploiement des énergies renouvelables dans les mix électriques nationaux. Si l'article précurseur de Painuly (2001*a*) étudie les grands champs d'études possibles – rentabilité des investissements, barrières techniques, ainsi que les principales imperfections de marché (obstacles institutionnels, politiques et réglementaires) – plus rares sont les travaux focalisant sur les questions liées au financement et sur la place des acteurs (États, Banques commerciales, citoyens) dans les dynamiques de déploiement des énergies renouvelables. L'État a par exemple joué un rôle central à travers la mise en place de politiques

⁹En 2017, l'IRENA comptabilisait plus de 80 pays ayant adapté ce système de soutien aux énergies renouvelables.

d'encouragement pour les énergies renouvelables qui permettent de dépasser certaines de ces barrières (Grandjean et Martini, 2016). Un rapport de l'IRENA (2017) mentionnait différents types de mesures de design des marchés pouvant être prises en compte pour stimuler le développement des énergies renouvelables (modification de la régulation sur le marché électrique, introduction de tarifs de rachat ou de quotas), mais également sur les mesures fiscales ou de soutien aux investissements. Dans la littérature, certains auteurs se sont par ailleurs intéressés à la relation entre consommation d'énergies renouvelables et croissance économique. Sadorsky (2009) analyse ainsi les facteurs influençant la consommation d'énergies renouvelables dans des pays caractérisés par différents niveaux de développement et met en exergue l'impact significatif du revenu par habitant sur la consommation d'énergies renouvelables. Aspergis et Payne (2010) concluent de leur côté à un lien de causalité bidirectionnel entre la consommation d'énergies renouvelables et la croissance économique. Salim et Rafiq (2012) et Rafiq et al. (2014) montrent que la consommation d'énergies renouvelables est déterminée par le revenu et les émissions de CO_2 pour certains pays émergents. Enfin, Omri et Nguyen (2014) considèrent un panel de 64 pays répartis selon leur niveau de revenu pour la période 1990-2011 et montrent que les émissions de CO_2 , le prix du pétrole, l'ouverture commerciale et le revenu par habitant ont un impact significatif sur les consommations d'énergies renouvelables. Dès lors, ces éléments nous invitent à introduire de nouveaux facteurs permettant d'expliquer l'hétérogénéité du développement des énergies renouvelables : politiques publiques, dotations factorielles, technologies de génération d'électricité développées.

La littérature met ainsi en évidence différents facteurs permettant d'expliquer le développement des énergies renouvelables. Ces facteurs peuvent être répartis en trois classes : i) les facteurs économiques, ii) les déterminants énergétiques et environnementaux et iii) les facteurs politiques.

Plusieurs études économétriques se sont intéressées aux déterminants des investissements dans les énergies renouvelables. La plupart de ces travaux¹⁰ tiennent compte de l'impact du PIB, des émissions de CO_2 , des prix de l'énergie, ainsi que de la consommation ou la dépendance énergétique (Sadorsky, 2009 ; Marques et al., 2010 ; Marques et Fuinhas, 2011 ; Aguirre et Ibikunle, 2014 ; Romano et Scandurra, 2016b) comme déterminants potentiels des investissements dans les énergies renouvelables. Toutefois, si la majeure partie des études font appel à des déterminants similaires, les résultats obtenus peuvent diverger quant à la significativité et à l'impact de certains facteurs. Par exemple, Sadorsky (2009) montre que les émissions de CO_2 ont un impact significatif et positif sur les investissements (plus les émissions augmentent, plus les investissements sont élevés) alors que Marques et al. (2010) et Marques et Fuinhas (2011) obtiennent un impact significatif et négatif de cette variable. Concernant le PIB (par tête), il apparaît comme significatif et positif pour Sadorsky (2009) et Marques et al. (2010), mais non significatif dans Aguirre et Ibikunle (2014). Chang et al. (2009) se sont par ailleurs intéressés aux effets d'interaction entre le développement d'énergies renouvelables et la croissance économique. Ils soulignent que l'impact des prix de l'énergie sur le développement des énergies renouvelables dépend du niveau de croissance du PIB. Seuls les pays enregistrant des niveaux de croissance économique élevés répondent à une augmentation des prix de l'énergie en déployant des technologies utilisant des sources renouvelables. Les variables macroéconomiques et la dynamique des prix du brut semblent ainsi interconnectées,¹¹ et les conditions observées sur le marché du pétrole pourraient déclencher (ou non) des effets de contagion sur le déploiement des énergies renouvelables. Plus précisément, on peut s'attendre à ce que le déploiement des énergies renouvelables variables, comme le solaire ou l'éolien, dépende de l'évolution des prix du pétrole. En effet, le développement de ces énergies renouvelables a plus de

¹⁰Parmi lesquels nous pouvons citer entre autres : Eyraud et al. (2011), Eyraud et al. (2013), Bird et al. (2005), Delmas and Montes-Sancho (2011), Papiez et al. (2018)

¹¹Brown et Yücel (2002) et Hamilton (2005).

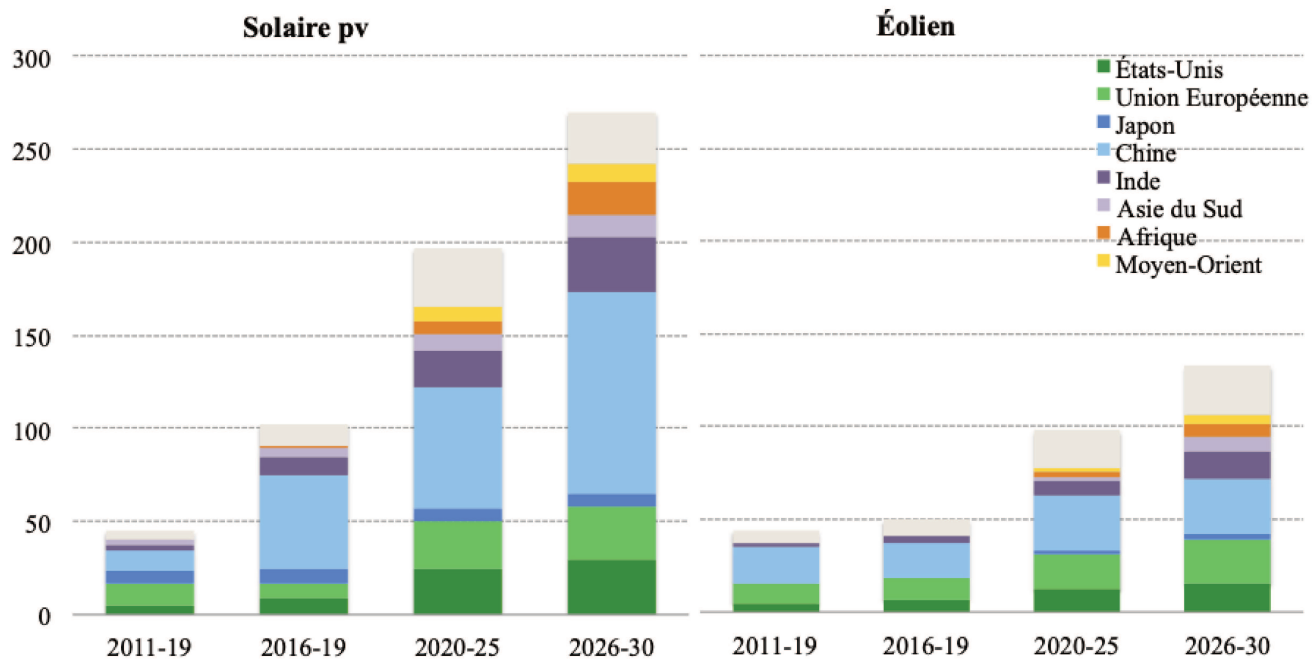
chances d'être stimulé lorsque les prix du pétrole augmentent - ce qui accroît l'attrait des sources d'énergies alternatives plus abordables - que lorsqu'ils diminuent.

Notre thèse contribue à cette littérature sur les énergies renouvelables en visant à identifier les déterminants de leur déploiement, à apprécier leur valorisation par les marchés financiers et à étudier leur financement. À cette fin, elle s'organise autour de trois chapitres.

Le **Chapitre 1** s'intéresse aux **déterminants du déploiement du solaire photovoltaïque** sur un panel de 39 pays¹² en accordant une attention particulière à leurs interactions potentielles avec les prix du pétrole. Il ambitionne ainsi de répondre à la question fondamentale du rôle joué par les prix du pétrole sur les marchés de l'énergie : les prix du pétrole ont-ils une influence sur le développement du photovoltaïque ? Si tel est le cas, dans quelle mesure impactent-ils ses déterminants ? Nous nous focalisons sur le solaire photovoltaïque car (i) peu d'études se sont intéressées à cette technologie séparément des autres sur un panel de pays donné et (ii) il constitue l'une des sources d'énergie renouvelable les plus attrayantes depuis une dizaine d'années et demeure la seule technologie renouvelable ayant vu ses investissements croître en 2017 (**Figure 3**). Par ailleurs, cet engouement pour le solaire photovoltaïque semble également se confirmer pour les années suivantes et à venir selon le scénario de l'AIE (*Sustainable Development Scenario*, SDS) qui estime que les capacités de cette technologie devraient encore doubler d'ici 2025 et continuer ainsi à augmenter jusqu'en 2030 (**Figure 9**). Cette trajectoire semble d'autant plus confirmée lorsque l'on s'intéresse au scénario de neutralité carbone à horizon 2050 de l'AIE, (*Net Zero Emission by 2050 scenario*, NZE2050) plus ambitieux que le SDS et qui considère le solaire photovoltaïque comme une technologie clé pour répondre aux objectifs de neutralité carbone (**Figure 10**).

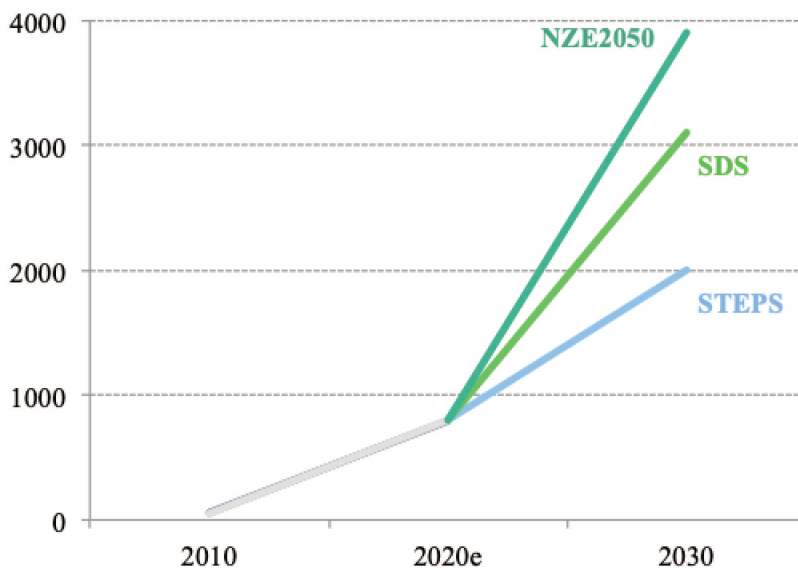
¹²Pays de l'OCDE (à l'exception de la Lituanie et de l'Islande) et BRICS (Brésil, Russie, Inde, Chine et Afrique du Sud).

Figure 9: Capacités additionnelles annuelles moyennes en solaire photovoltaïque et éolien dans le cadre du *Sustainable Development Scenario* de l'AIE pour 2030.



Source : IEA, *World Energy Outlook*, 2020

Figure 10: Capacités mondiales en solaire photovoltaïque selon les différents scénarii de l'AIE (en GW)



Source : IEA, *World Energy Outlook*, 2020

Au niveau méthodologique, nous recourons à l'estimation d'un modèle non linéaire en panel afin de prendre en compte les potentiels effets (positifs ou négatifs) des prix du pétrole sur les déterminants selon leur dynamique. À notre connaissance, il s'agit ainsi de la première étude visant à modéliser ces interactions pour un panel de pays. Nous montrons qu'une augmentation annuelle des prix du pétrole supérieure à 6,7 % tend à stimuler le développement des capacités en solaire photovoltaïque. En effet, une hausse du prix du brut réduit le coût relatif entre le pétrole et les énergies renouvelables, rendant *de facto* les investissements dans les énergies renouvelables plus rentables. Par ailleurs, nous montrons que les dotations factorielles des pays en ressources énergétiques ont également un rôle important à jouer, indépendamment du niveau des prix du pétrole : le commerce extérieur d'électricité, la variation de la production pétrolière et les capacités en énergie nucléaire impactent négativement le déploiement des énergies renouvelables. Enfin, les politiques publiques de *feed-in tariffs* jouent un rôle prépondérant et ce, quelque soit le niveau de croissance des prix du pétrole.

Dans ce contexte de transition énergétique, les entreprises du secteur de l'énergie apparaissent également comme des acteurs de premier plan. Toutefois, elles semblent rencontrer des difficultés à réduire significativement leurs émissions de GES et, en conséquence, à s'aligner sur les objectifs de l'Accord de Paris (Carbon Tracker, Septembre 2019). Entre 1990 et 2016, leurs émissions de GES ont augmenté de 5,77 % dans les pays de l'OCDE. Les émissions de CO₂ induites par les activités du secteur de l'énergie ont augmenté en moyenne de 1,7 % en 2018, la Chine, l'Inde et les États-Unis comptant à eux seuls 85 % des nouvelles émissions (IEA 2019). Toutefois, en 2019, les émissions de CO₂ issues du secteur de l'énergie semblent se stabiliser¹³ grâce à une diminution opérée dans les économies avancées (*Global Energy and CO₂ Status Report 2020*). En effet, les

¹³33,3 Gt de CO₂ en 2018 et 2019 (IEA 2020a)

émissions des pays développés ont diminué de 3,4 % entre 2018 et 2019 alors qu’entre 2017 et 2018, celles-ci avaient connu une augmentation de 0,9 %. Concernant le reste du monde, les émissions de CO₂ du secteur de l’énergie ont augmenté de 1,9 % entre 2018 et 2019 (contre 2,4 % entre 2017 et 2018).

La moitié de ces émissions provenant de la production d’électricité et de chaleur, il apparaît ainsi particulièrement important de s’intéresser à l’évolution énergétique de ce secteur dans un contexte où la demande énergétique ne cesse de croître.¹⁴ En 2019, la demande énergétique mondiale a augmenté de 0,9 % (contre 2,2 % en 2018) ; le ralentissement de son taux de croissance s’expliquant principalement par une forte diminution de la demande de gaz et de charbon. Toutefois, la demande de gaz naturel et d’énergies renouvelables a respectivement augmenté de 1,8 % et 3,7 % en 2019 (accroissant ainsi leur part de marché à respectivement 23 % et 14 %).

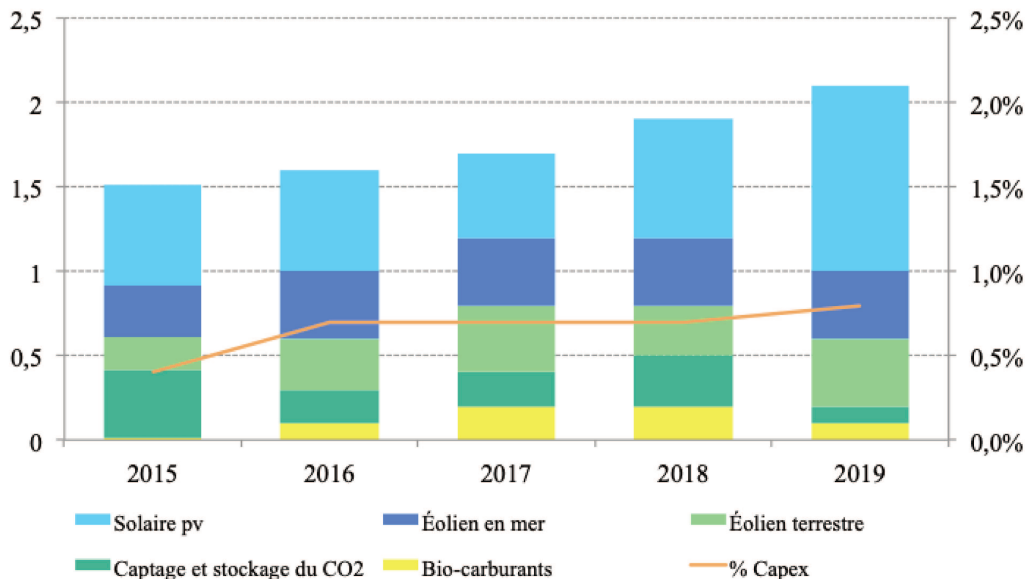
Les principales entreprises du secteur de l’énergie et en particulier les *majors* pétrolières, ont ainsi un rôle majeur à jouer dans la transition énergétique, notamment en matière d’investissements. Toutefois, très peu d’entre elles semblent réellement s’investir dans la transition énergétique et, si tel est le cas, la part d’investissement dans les énergies bas carbone comparativement à celle dédiée au secteur des hydrocarbures reste encore relativement faible (**Figure 11**). Aujourd’hui, environ 95 % de leur chiffre d’affaire est issu du gaz et du pétrole et les investissements dans les énergies fossiles, en particulier dans les activités amont (*upstream*) demeurent élevés comparativement aux autres secteur de l’énergie (**Figure 12**). Cependant, si l’on s’intéresse plus largement aux investissements liés à la transition énergétique,¹⁵ c’est-à-dire aux investissements dans les activités bas carbone, ces derniers atteignent 501 milliards de dollars contre 313 milliards pour les

¹⁴L’AIE estime que les émissions de CO₂ en 2020 auraient connu une réduction de 7 %, principalement liée à la baisse de la demande énergétique de l’ordre de 5 %.

¹⁵Selon BNEF, ces investissements comprennent les investissements dans l’hydrogène (1,5 milliards de dollars), le stockage du carbone (3 milliards), le stockage énergétique (3,6 milliards), l’électrification des transports (139 milliards) et les énergies renouvelables (303,5 milliards).

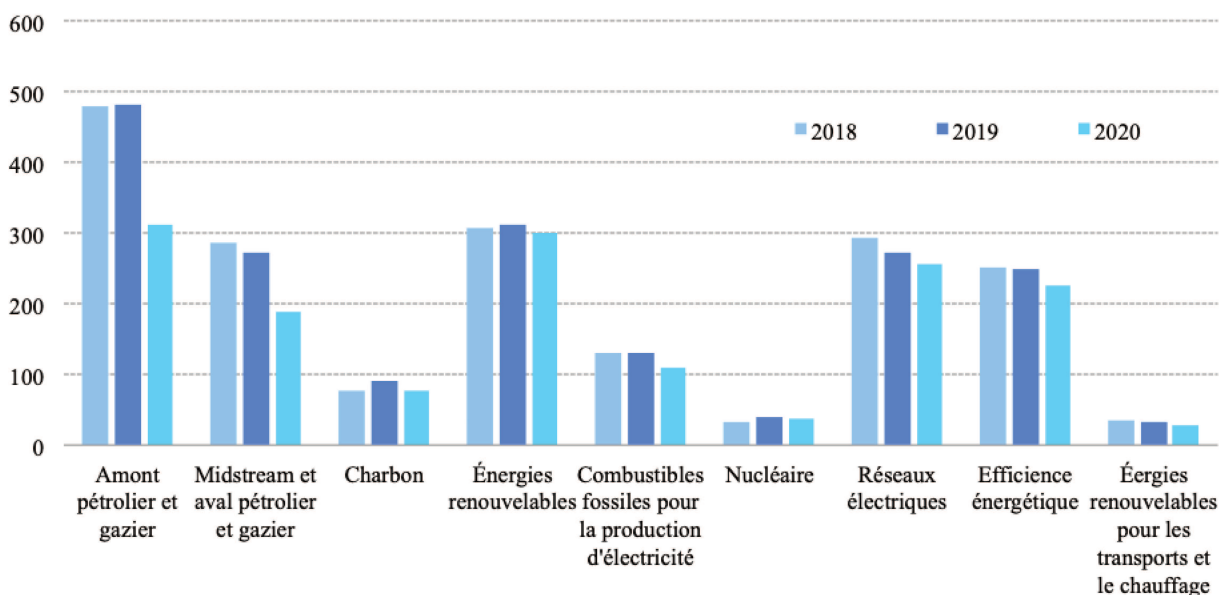
investissements de l'amont pétrolier et gazier en 2020.

Figure 11: Investissements dans les activités bas carbone des principales entreprises du secteur des hydrocarbures (en milliards de dollars)



Source : IEA, *The oil industry in energy transitions*, 2020

Figure 12: Investissements réalisés dans l'énergie par secteur (en milliards de dollars, USD 2019)



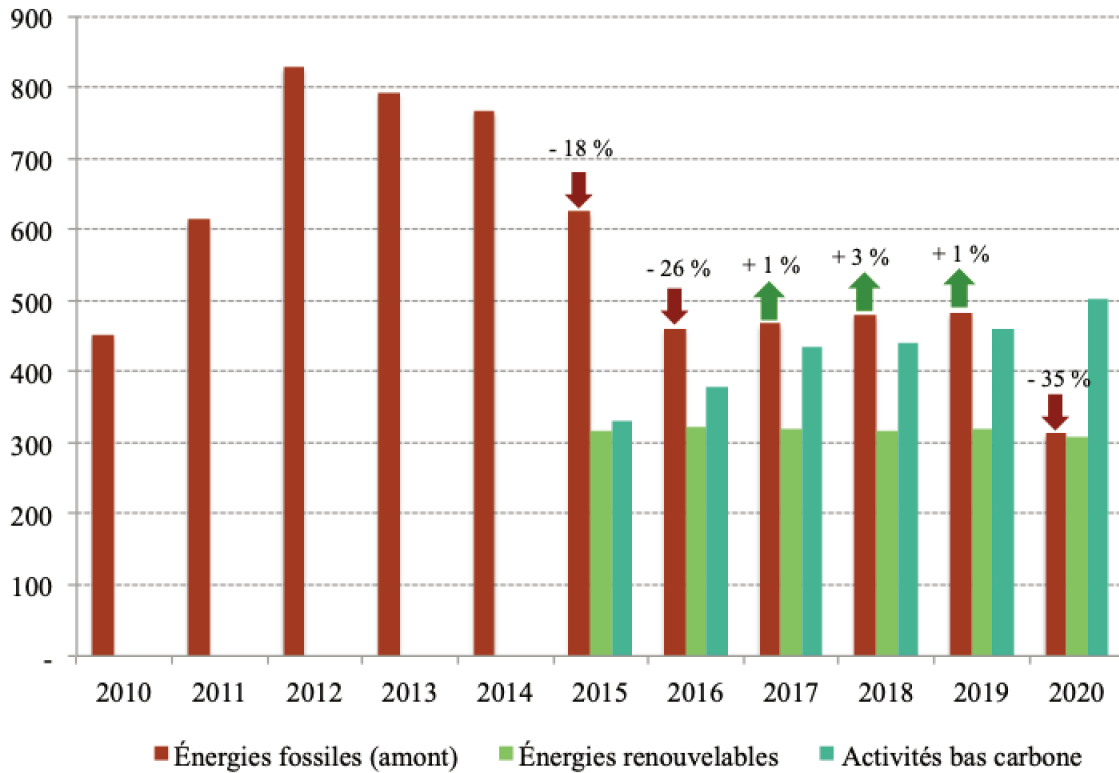
Source : IEA, *Investment estimates for 2020 continue to point to a record slump in spending*, 2020

Si les niveaux d'investissements dans l'amont pétrolier et gazier depuis 2015 demeurent significativement inférieurs à ceux qui prévalaient avant 2015, l'année 2020 semble marquée par un nouveau déclin de l'investissement dans le secteur de 35 %. Par ailleurs, il s'agit de la première année où l'investissement dans les activités bas carbone dépasse celui dans les activités amont au niveau mondial (**Figure 13**). Ainsi, l'année 2020 pourrait accélérer les différentes stratégies de diversification des entreprises du secteur des hydrocarbures, comme cela semble être déjà le cas du groupe Total SE. Lors de la présentation des comptes de l'exercice 2020 du Groupe, son président directeur général P. Pouyanné a déclaré « L'année 2020 constitue une année charnière pour la stratégie du Groupe et l'expression de son ambition d'aller vers la neutralité carbone [...] Pour ancrer cette transformation, le Groupe va proposer à ses actionnaires [...] de changer de nom en TotalEnergies ». Cette proposition de changement de nom de l'entreprise semble marquer un tournant pour le Groupe pétrolier qui se veut désormais devenir une entreprise de l'énergie en axant sa stratégie sur la croissance de ses deux branches GNL (gaz naturel liquéfié) et Renouvelables et Électricité. Par ailleurs, Larry Fink, PDG de BlackRock, a déclaré dans sa lettre annuelle (2021) destinée aux PDGs des grands groupes que le changement climatique devait être désormais au cœur des préoccupations stratégiques de ces entreprises, ajoutant que la transition énergétique présentait une « opportunité historique d'investissement ». Ainsi, L. Fink met en avant dans son discours le rôle central que doit jouer la transition énergétique dans le modèle de croissance de long terme des grandes entreprises en leur demandant de présenter des *business models* compatibles avec les objectifs de neutralité carbone à horizon 2050. Il déclare « *I believe that the pandemic has presented such an existential crisis – such a stark reminder of our fragility – that it has driven us to confront the global threat of climate change more forcefully and to consider how, like the pandemic, it will alter our lives* ». La pandémie de Covid-19 pourrait être ainsi une « opportunité

» de construire une croissance durable et compatible avec les objectifs de neutralité carbone à horizon 2050 et que certaines *majors* pétrolières semblent avoir d'ores et déjà saisie.

Toutefois, un nombre grandissant d'experts et d'agences internationales s'interrogent quant aux niveaux d'investissements suffisants permettant à l'offre de pétrole de répondre à la demande pour les années à venir. IFP Énergies nouvelles s'attend à ce que le pic de la demande de pétrole soit atteint entre 2030 et 2035. En parallèle, Hacquard et Hache (2019) alertent quant à de potentielles tensions sur le marché pétrolier à court terme si les investissements dans le secteur amont s'avéraient insuffisants pour accompagner la reprise économique post-Covid. Selon IFP Énergies nouvelles, retrouver le niveau d'investissement dans l'exploration/production qui prévalait en 2019 permettrait d'équilibrer le marché et ainsi éviter un possible « *oil supply crunch* ». Toutefois, les niveaux de la demande effective de pétrole sont encore largement incertains. L'AIE estime que la demande de pétrole devrait atteindre un plateau d'ici à 2030 et connaître ensuite une décroissance structurelle.

Figure 13: Investissement mondial dans les activités amont du secteur des énergies fossiles, dans les activités bas carbone (comprenant les énergies renouvelables) et dans les énergies renouvelables (milliards de dollars, USD 2019)



Source : IEA, *World Energy Investments 2019 and 2020* & BNEF 2020

Pickl (2019) classe les *majors* pétrolières en deux catégories : (i) Royal Dutch Shell, Total, BP, Eni et Equinor considérées comme des entreprises évoluant vers un statut d'« entreprises de l'énergie »¹⁶ au sens où ces dernières tendent à faire évoluer leur stratégie en s'orientant davantage vers des énergies moins polluantes et (ii) ExxonMobil, Chevron et Petrobras catégorisées comme des pures *majors* pétrolières. Total, l'une des principales compagnies pétrolières internationales, apparaît aujourd'hui comme l'une des entreprises plus « diversifiée »¹⁷ du secteur et espère devenir, selon son président directeur général Patrick Pouyanné, une « *major* de l'énergie responsable ». Le groupe envisage d'intégrer le climat dans sa stratégie à travers cinq canaux : l'efficacité énergé-

¹⁶ « from oil company to energy company ».

¹⁷ Voir Pickl (2019), Zhong et Bazilian (2018) et Blas (2015).

tique, le gaz naturel, les activités rentables dans l'électricité bas carbone, les biocarburants ainsi que les activités de puits de carbone. Dans la présentation de ses comptes de l'exercice 2020, Total précise détenir un portefeuille de capacités brutes installées¹⁸ de 35 GW à horizon 2025. En 2021, le Groupe disposerait de 7 GW de capacités brutes installées en opération, de 5 GW en construction et de 23 GW en développement d'ici à 2025. Concernant les résultats financiers du groupe Total, celui-ci affiche une perte sur l'année 2020 de 7,2 milliards de dollars¹⁹ (contre un bénéfice de 11,3 milliards de dollars en 2019). Cette perte sèche serait principalement liée à des « dépréciations exceptionnelles d'actifs pour un montant de 10 milliards de dollars, notamment sur les actifs *oil sands* (sables bitumineux) au Canada, enregistrées pour l'essentiel dans ses comptes à fin juin ».²⁰ Concernant les différents résultats opérationnels nets par secteur, la branche « Integrated gas, Renewables and Power »²¹ (iGRP) affiche un résultat opérationnel net ajusté²² de 1,8 milliard de dollars (contre 2,4 milliards en 2019) représentant 28 % du résultat opérationnel net total du groupe, contre 37 % pour les activités « Exploration-Production » et « Raffinage-Chimie ». Par ailleurs, la branche iGRP affichait un investissement net de 2,2 milliards de dollars en 2020 contre 6,2 milliards en 2019 et 3,5 milliards en 2018, soit une augmentation d'environ 50 % entre 2018 et 2019 et une baisse de 21 % entre 2019 et 2020. Concernant la branche « Exploration-Production », le résultat net s'élevait à 10,1 milliards de dollars en 2018 contre 8,7 milliards de dollars en 2019, soit une baisse de 16 % de l'investissement net de la branche entre 2018 et 2019. Concernant l'année 2020, celui a été de 6,1 milliards de dollars, en baisse de 30 % comparativement à 2019.

¹⁸En 2021, les capacités installées sont réparties au Qatar (800 MW), au Royaume-Uni (1,5 GW), en Inde (3 GW) et en Espagne (5 GW).

¹⁹« Résultat net part du Groupe ».

²⁰Extrait de la déclaration de P. Pouyanné lors du conseil d'administration de Total SE, réuni le 8 février 2021 pour la présentation des comptes du Groupe pour l'exercice 2020.

²¹Secteur d'activité intégré au *reporting* de l'information financière du groupe en 2019. Il complète les secteurs « Exploration Production », « Raffinage Chimie » et « Marketing et Services » et remplace le secteur intitulé « Gas, Renewables and Power ». Ce secteur réunit l'ensemble des activités de la chaîne intégrée du gaz dont les activités upstream et *midstream* dédiées au gaz naturel liquéfié (GNL) ainsi que celles initialement intégrées au secteur « Gas, Renewables and Power » effectif en janvier 2017. Ce dernier secteur intègre alors le développement de l'aval gaz, des énergies renouvelables et des métiers de l'efficacité énergétique.

²²Les éléments d'ajustement comprennent : les éléments non récurrents, l'effet de stock et l'effet des variations de juste valeur. Ainsi, les résultats ajustés (résultat opérationnel ajusté, résultat opérationnel net ajusté, résultat net ajusté) se définissent comme les résultats au coût de remplacement, hors éléments non récurrents et hors effet des variations de juste valeur.

Concernant la sous-catégorie « renouvelables et électricité » de la branche iGRP, Total a vu ses capacités brutes installées de génération électrique renouvelables plus que doubler entre 2019 et 2020, passant de 3 GW en 2019 à 7 GW en 2020. Sa production nette d'électricité a augmenté de 24 % en 2020 pour s'établir à 14,1 TWh dont 4 TWh provenant de sources renouvelables²³ (+ 97 % par rapport à 2019). La mise en œuvre de la stratégie d'intégration dans la chaîne de l'électricité et du gaz de Total semble ainsi se confirmer en 2020, avec notamment une augmentation de ses clients au cours de l'année de 1,5 million pour l'électricité et 1 million pour le gaz.

Le **Chapitre 2** s'intéresse ainsi à la **valorisation de la transition énergétique par les marchés financiers**. Nous nous consacrons plus spécifiquement à l'étude de la réaction du marché suite aux récentes évolutions de Total SE – l'une des entreprises les plus diversifiées du secteur de l'énergie – souhaitant s'engager davantage dans la transition énergétique en développant des activités liées à sa stratégie climat. Comment cette tendance récente est-elle accueillie par les investisseurs ? Afin de répondre à cette interrogation, nous considérons différents types d'annonces selon que les investissements concernent les activités de l'amont pétrolier et gazier du groupe (activités *upstream*) ou ses activités dites bas carbone, s'inscrivant dans un objectif de décarbonation de sa production d'énergie. Une telle distinction nous permet ainsi d'être à même d'appréhender si les investisseurs accueillent favorablement certains types d'activités et s'ils en pénalisent d'autres. À cette fin, nous réalisons une étude d'évènements de 2009 à 2019 rassemblant 139 annonces. Nos résultats montrent que la réaction du marché faisant suite à ces deux grandes catégories d'annonces est significative et négative, mais le marché réagit davantage aux annonces liées à la stratégie climat du groupe : suite à une annonce relative à la stratégie climat de Total, les rendements anormaux du groupe diminuent de 44 points de base contre 12 points de base concernant les annonces liées

²³Solaire, éolien, biogaz, hydroélectricité et centrales à gaz à cycles combinés.

aux activités amont. Ainsi, l'intuition d'une réaction positive des marchés suite aux différentes activités de Total liées à sa stratégie de devenir une « entreprise de l'énergie responsable » paraît remise en question. En effet, nous trouvons que les investisseurs ne réagissent pas positivement à la stratégie climat de Total et qu'ils ont, au contraire, tendance à pénaliser l'entreprise de s'engager dans de telles activités, en lien avec l'hypothèse du *trade-off* de Milton (1962). Ce résultat négatif peut toutefois être interprété de deux manières différentes. D'une part, il est possible qu'une classe d'investisseurs soit peu sensible à la cause environnementale, mettant en avant d'autres objectifs pour l'entreprise. D'autre part, une deuxième classe d'investisseurs pourrait, au contraire, pénaliser l'entreprise pour laquelle la diversification serait encore trop faible pour répondre aux objectifs de transition énergétique et, en particulier, de production d'énergie bas carbone.

Enfin, dans le **Chapitre 3** nous nous consacrons au **financement de la transition énergétique en France**. Nous mettons l'accent sur un mode de financement qui connaît une notoriété grandissante depuis plusieurs années : le **financement participatif**. Pour atteindre cet objectif, l'Institut de l'économie pour le climat (*Institute for Climate Economics*, I4CE) estime entre 50 et 54 milliards d'euros par an les besoins en investissements entre 2020 et 2023 (2e budget carbone), puis entre 65 et 74 milliards d'euros par an entre 2024 et 2028 (3e budget carbone).²⁴ En 2019, I4CE estimait à 47,9 milliards d'euros les investissements climat en France. Ainsi, 13 à 17 milliards d'euros supplémentaires d'ici la fin du quinquennat devront être débloqués pour atteindre le 2e budget carbone (2020-2023). Bien que les investissements climat en France augmentent depuis 2014, ces derniers doivent encore significativement croître pour respecter les objectifs européens sur le climat. Force est de constater qu'aujourd'hui, le financement est une barrière importante au processus de transition énergétique. Les nouveaux systèmes de financement tels que les pla-

²⁴Source : Edition 2020 du Panorama des financements climat.

teformes de financement participatif (*crowdfunding*) – qui consiste en un échange de fonds entre individus en dehors des circuits financiers institutionnels permettant de financer un projet *via* une plateforme en ligne – se développent actuellement fortement. Ils permettent d’encourager le placement d’une épargne locale, mais sont encore peu pris en compte dans les modèles et scénarii de transition énergétique. Dans le cadre de l’intégration des énergies renouvelables variables dans le mix électrique et face à certaines problématiques d’acceptabilité, les questions liées au financement participatif recouvrent des enjeux de territorialité (critère de résidence des investisseurs et réserve d’épargne, ancrage local) et de participation citoyenne (engagement en capital et acceptation accrue des projets). La problématique d’acceptabilité sociale des projets énergétiques et l’importance grandissante du consommateur-citoyen font qu’il est désormais nécessaire de s’interroger sur ces différentes questions dans le cadre de la transition énergétique. À cette fin, dans le dernier chapitre de cette thèse, nous recourons à la méthode des préférences déclarées (*Discret Choice Experiment*). Cette méthodologie permet de réaliser une analyse socio-économique approfondie tout en prenant en compte la question monétaire. À notre connaissance, l’étude que nous réalisons est la première à s’intéresser au financement participatif des énergies renouvelables en France *via* l’application d’une méthodologie expérimentale des préférences déclarées.

Cette méthodologie, appliquée à un panel représentatif de la population française de 1020 personnes, nous permet de recueillir des données socio-économiques de la population *via* la présentation d’un questionnaire. Dans ce dernier, dix cartes de choix sont présentées aux répondants, ce qui nous permet d’obtenir les préférences de la population quant aux différents modes de financement volontaires de la transition énergétique en France. En particulier, nous proposons à travers ces cartes de choix différentes options de financement de projets d’énergies renouvelables (solaire photovoltaïque et éolien terrestre) : le financement participatif, l’achat d’actions et un *statu quo*

qui correspond à la taxe actuellement prélevée aux Français sur leur facture d'électricité.²⁵ Le *statu quo* constitue ainsi une troisième option de financement où les répondants ne changent rien par rapport à leurs pratiques habituelles. À chaque option de financement sont associés : 1) un type de technologie, 2) une contribution financière, 3) un rendement moyen de cette contribution, 4) la localisation du projet et 5) l'alimentation électrique correspondante. L'estimation d'un modèle *Random Parameter Logit* (RPL) met en évidence deux résultats principaux : l'existence d'une forte hétérogénéité des préférences des répondants ainsi qu'un engouement certain de leur part pour un mode de financement volontaire, comparativement au *statu quo*. Par ailleurs, nous montrons que le financement participatif (comparativement à l'achat d'actions sur le marché) apparaît comme le mode de financement préféré des Français. Dans notre échantillon, seulement 9,6 % ont systématiquement choisi le *statu quo*, quelle que soit la carte de choix proposée. Par ailleurs, 52 % des répondants seraient prêts à recourir au financement participatif pour financer des projets d'énergies renouvelables, alors que seulement 27 % sont familiers avec ce mode de financement et que seuls 3 % ont déjà investi dans de tels projets. Enfin, nos résultats indiquent que les Français semblent peu enclins à financer des projets d'éolien terrestre comparativement au solaire photovoltaïque, qui apparaît comme étant la technologie renouvelable préférée des répondants, devant l'éolien en mer et la géothermie. De plus, les Français sont sensibles à la taille des projets proposés (plus le projet est grand et plus cela les satisfait), ainsi qu'à leur localisation ; ils préfèrent en effet financer un projet proche de leur lieu d'habitation afin d'en bénéficier localement. Le chapitre 3 fournit ainsi des éléments originaux et novateurs sur le financement participatif comme alternative crédible à la finance traditionnelle pour les projets d'énergies renouvelables en France. Les Français étant enclins à utiliser ce mode de financement dans le cadre national, les politiques publiques destinées à favoriser la transition énergétique devraient en conséquence intégrer une telle dimension lors de

²⁵Cette taxe correspond à 22,5€/MWh.

leur définition.

Membre de l'université Paris Lumières

Margaux ESCOFFIER

Les déterminants des investissements dans les énergies renouvelables dans le cadre des politiques publiques de transition énergétique

Thèse présentée et soutenue publiquement le 17/06/2021
en vue de l'obtention du doctorat de Sciences Économiques de l'Université Paris
Nanterre

sous la direction de Mme Valérie Mignon (Université Paris Nanterre)
et de M. Emmanuel Hache (IFP Énergies nouvelles)

Jury :

Membre du jury :	M. Olivier Damette	Professeur, Université de Lorraine
Promoteur IFPEN :	M. Emmanuel Hache	Chercheur, IFP Énergies nouvelles
Membre du jury :	M. Benoît Leguet	Directeur général d'I4CE - <i>Institute for Climate Economics</i>
Directrice de thèse :	Mme Valérie Mignon	Professeur, Université Paris Nanterre
Rapporteur :	M. Philippe Quirion	Directeur de recherche, CIRED
Rapporteur :	M. Benoît Sévi	Professeur, Université de Nantes

Résumé de la thèse “Les déterminants des investissements dans les énergies renouvelables dans le cadre des politiques publiques de transition énergétique”

Margaux Escoffier^{a,b}

^aIFP Énergies nouvelles, 1 et 4 avenue de Bois-Préau, 92852 Rueil-Malmaison, France.

^bEconomiX-CNRS, Université Paris Nanterre, 200 avenue de la République, 92000 Nanterre, France.

Avril 2021

La lutte contre le changement climatique constitue un défi d'envergure internationale et dont l'importance s'est tout particulièrement concrétisée lors de l'Accord de Paris du 12 décembre 2015. Bien que ce dernier représente le premier accord universel sur le climat, la coopération internationale pour l'environnement a vu le jour en 1972 à Stockholm, lors de la Conférence des Nations Unies établissant les premières bases du Programme des Nations Unies sur l'Environnement (PNUE). L'existence d'un réchauffement climatique induit par l'activité humaine n'a toutefois été reconnue qu'en 1992 lors du Sommet de la Terre de Rio de Janeiro à travers la Convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique (CCNUCC) à l'initiative des *Conference of Parties* (COP), une association de pays ayant ratifié la CCNUCC et permettant de prendre des décisions au niveau international afin de préserver l'environnement. La première COP s'est déroulée en 1995 en Allemagne, mais c'est en 1997, au Japon (COP 3), qu'un premier accord international a vu le jour à travers la signature du Protocole de Kyoto ayant pour objectif de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) d'au moins 5 % par rapport aux niveaux de 1990. Il est entré en vigueur le 16 février 2005 et seulement 37 pays industrialisés – à l'exception des États-Unis – se sont réellement engagés à suivre cet objectif. Bien qu'ambitieux, le Protocole de Kyoto ne prévoit pas de mesures juridiquement contraignantes, contrairement à l'objectif initial de la COP 21. Approuvé par 196 délégations dont l'Union européenne lors de la COP 21 en 2015, l'Accord de Paris est officiellement entré en vigueur le 4 novembre 2016. Cet accord ne constitue pas un texte contraignant juridiquement dans le sens où les engagements en termes de lutte contre le

réchauffement climatique sont fixés librement par chaque pays. Il doit être exécuté « de bonne foi » par les différents membres, comme cela est stipulé par la Convention de Vienne sur le droit des traités (1969). Cependant, chaque partie a l'obligation de se fixer des objectifs à respecter. Cet accord, qui reprend les objectifs établis lors de la Conférence de Copenhague (COP 15), vise ainsi à réduire les émissions de GES en maintenant le réchauffement planétaire bien en-deçà de 2 degrés Celsius (2°C) et en intensifiant les efforts afin de le limiter à 1,5°C. Selon les estimations du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) en 2018, l'activité humaine aurait déjà provoqué un réchauffement planétaire d'environ 1°C au-dessus des niveaux préindustriels. Ainsi, limiter l'augmentation généralisée des températures par rapport aux niveaux qui prévalaient durant la période préindustrielle (1850) permettrait de contenir les risques liés au changement climatique pouvant affecter durablement les différents écosystèmes de notre planète.

Plusieurs propositions ont ainsi été formulées par le GIEC afin de limiter l'augmentation des températures en-deçà de 1,5°C. Elles consistent notamment à réduire la consommation d'énergie *via* des changements de comportement et de mode de vie, à utiliser l'énergie nécessaire de manière plus efficace, ou encore à faire évoluer le mix électrique mondial avec l'augmentation des capacités en énergies renouvelables. Tasneem Essop, cheffe de la délégation WWF (*World Wide Fund for Nature*) pour la COP 21, précisait que « Grâce à l'accord de Paris, nous avons franchi une étape importante mais ce n'est pas suffisant. Nous devons, à présent, travailler au renforcement des ambitions nationales amorcées par cet accord » (WWF, 12/12/2015). Comme précisé par le Rapport spécial sur les sources d'énergies renouvelables et l'atténuation des effets des changements climatiques rédigé par le Groupe de travail III du GIEC (2011), le renforcement de ces ambitions nationales doit notamment passer par une évolution des mix électriques nationaux avec le déploie-

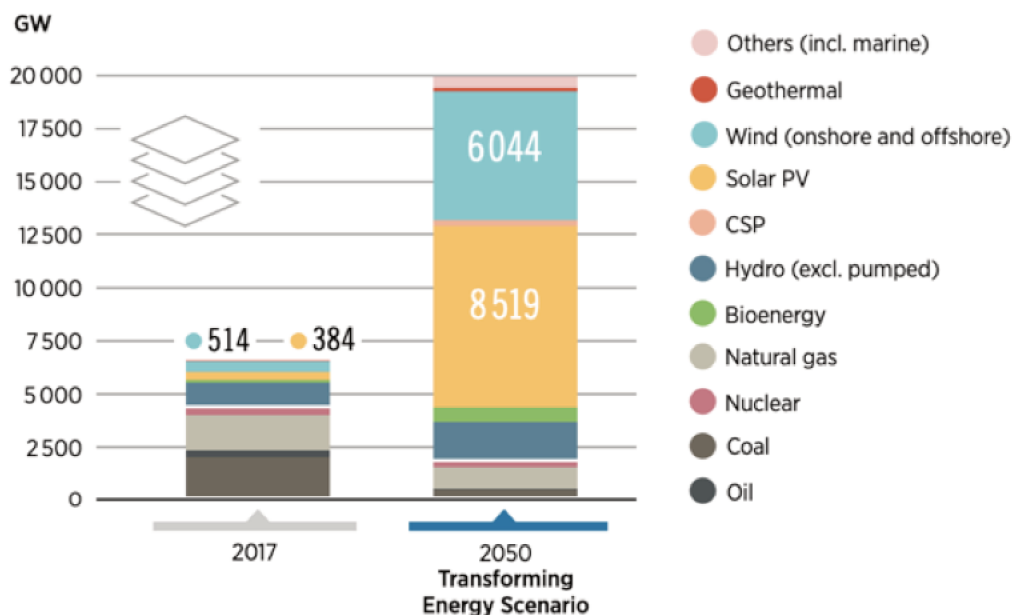
ment d'énergies renouvelables. Outre leur contribution à réduire les émissions de GES, celles-ci peuvent aussi jouer un rôle en matière d'équilibre de la balance commerciale car elles permettent de réduire les importations d'énergies fossiles. Ce double dividende (Criqui et Mima, 2012) peut également s'accompagner d'un développement économique et social local, les énergies renouvelables générant des externalités positives sur les territoires. Elles constituent de plus une source d'énergie inépuisable bien qu'il soit nécessaire de remédier au problème d'intermittence qui leur est inhérent (pour les énergies renouvelables variables telles que l'éolien ou le solaire photovoltaïque) *via* le recours à d'autres sources d'énergie, comme le gaz notamment, ou à l'aide de technologies de stockage. Un rapport de 2019 de l'Agence internationale pour les énergies renouvelables (IRENA) précise qu'en prenant en compte les politiques publiques actuelles et celles qui entreront en vigueur prochainement, les capacités en énergies renouvelables pourraient représenter deux tiers de la demande mondiale d'énergie (57 % d'ici 2030). À elles seules, les énergies renouvelables pourraient atteindre 30 % de la consommation totale d'électricité d'ici 2030, contre 20 % en 2019. À horizon 2050, elles pourraient représenter 86 % de la génération totale d'électricité parmi lesquelles le solaire et l'éolien atteindraient respectivement 8 519 GW et 6 044 GW, soit environ les deux tiers des capacités mondiales totales (IRENA 2020a) . Cette tendance serait notamment guidée par une réduction significative des coûts. Concernant le solaire photovoltaïque, la production d'1 MWh représente, selon ce même rapport, un coût de 52 dollars en 2019 (34-40 dollars d'ici 2030 selon les projections de l'IRENA), contre 371 dollars en 2010. En 2019, 1 MWh d'électricité produit à partir d'énergie éolienne coûtait 47 dollars, contre 84 dollars en 2010 et pourrait atteindre entre 30 et 40 dollars d'ici 2030. Selon l'IRENA (2020)¹, les énergies renouvelables couplées à l'efficacité énergétique pourraient assurer un futur énergétique durable. Pour atteindre cet objectif², les inves-

¹Sous réserve que les investissements augmentent de 37 000 millions de dollars d'ici à 2050 dans l'efficacité énergétique, les énergies renouvelables (22 500 milliards de dollars) et les réseaux électriques principalement (13 000 millions de dollars). Source : IRENA Global Renewables Outlook, 2020.

²Dans le cadre du scénario « *RE map* » de l'IRENA (2020) qui inclut le déploiement d'énergies bas carbone, en particulier les énergies

tissements dans les énergies renouvelables doivent doubler d'ici 2030 afin qu'ils puissent atteindre 737 milliards de dollars par an (contre en moyenne 300 milliards de dollars investis par an au cours des dernières années) (**Figure 1**). Ainsi, 86 % de la puissance électrique totale devra provenir des énergies renouvelables à horizon 2050 contre 25 % en 2017.

Figure 1: Capacités installées en énergies renouvelables et estimation de leur évolution



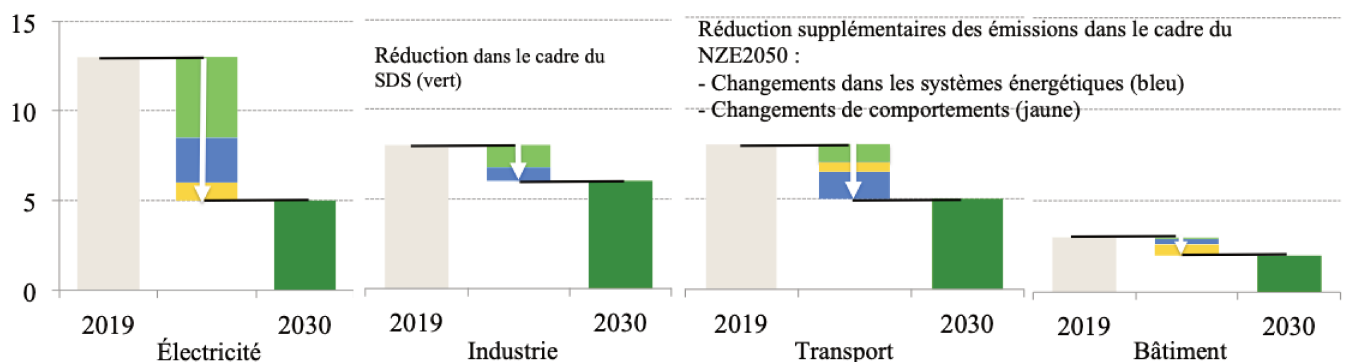
Source : IRENA 2020

Le Fonds monétaire international (FMI) dans son *World Economic Outlook* (WEO) de 2020 estime aujourd'hui qu'environ 70 pays se sont engagés à prendre les mesures nécessaires pour atteindre l'objectif de neutralité carbone d'ici 2050. Pour cela, le scénario de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) (*Net Zero Emissions by 2050*, NZE2050) prévoit que les émissions de CO₂ doivent diminuer de 45 % entre 2010 et 2030 (**Figure 2**), ce qui signifie une réduction encore plus importante des émissions de CO₂ (de l'ordre de 6,6 Gt) comparativement à son *Sustainable*

renouvelables, permettant d'assurer la transformation du système énergétique mondial afin de limiter l'augmentation des températures bien en-deçà de 2°C.

*Development Scenario*³ (SDS). Les émissions de CO₂ du secteur de l'énergie devraient diminuer d'environ 60 % dans le scénario NZE2050 entre 2019 et 2030 et la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité devrait passer de 27 % en 2019 à 60 % en 2030. Cela nécessiterait ainsi de tripler les investissements dans le secteur de la production d'électricité de 760 milliards de dollars en 2019 à 2 200 milliards de dollars en 2030 et dont le tiers serait dédié à l'expansion, la modernisation et la digitalisation des réseaux électriques. En particulier, les capacités additionnelles annuelles en solaire photovoltaïque dans le scénario NZE2050 devront passer de 110 GW en 2019 à 500 GW en 2030. Ainsi, pour atteindre la neutralité carbone d'ici à 2050, les efforts en termes de réduction des émissions de CO₂ devront être significativement renforcés comparativement au scénario SDS. Selon l'AIE, cela nécessitera « un changement radical concernant l'ambition et l'action des décideurs politiques, des industries et des marchés financiers, soutenu par une étroite collaboration internationale et transfrontalière ».

Figure 2: Réduction des émissions de CO₂ dans le cadre du *Sustainable Development Scenario* et *Net Zero Emission 2050 case* de l'AIE



Source : IEA, *World Energy Outlook*, 2020

³Ce scénario trace une trajectoire alignée sur l'Accord de Paris et qui prévoit de limiter la hausse des températures mondiales « bien en deçà de 2°C et en poursuivant les efforts pour la limiter à 1,5°C » et répondre également aux objectifs liés à un accès universel à l'énergie tout en améliorant la qualité de l'air.

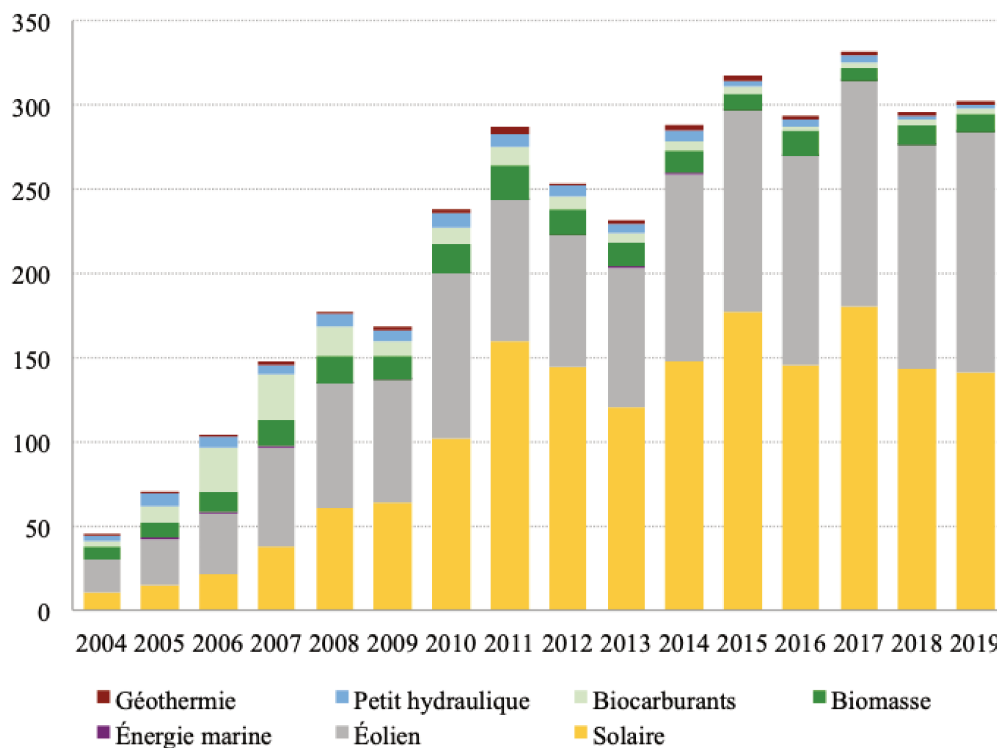
Cette thèse s’inscrit précisément dans ce contexte en se consacrant à la question du déploiement, de la valorisation par les marchés financiers et du financement des énergies renouvelables dans la perspective de la transition énergétique mondiale. Elle propose notamment d’étudier les principaux déterminants et les barrières aux financements des énergies renouvelables. Afin de pleinement saisir l’importance de cette problématique et d’apporter des réponses aux questions posées, commençons par décrire les tendances récentes observées en matière d’investissements dans les énergies renouvelables.

Selon Buchner et al. (2017), en 2015 et 2016, l’investissement (privé) dans les énergies renouvelables a excédé de 100 % celui dans les énergies fossiles pour la production d’électricité.⁴ Concernant l’investissement mondial dans les énergies renouvelables (**Figure 3**), celui-ci s’est également particulièrement accru entre 2012 et 2015, atteignant 330 milliards de dollars en 2015 avant de chuter de 20 % en 2016 (263 milliards de dollars). En 2019, l’investissement mondial dans les énergies renouvelables a de nouveau dépassé le seuil des 300 milliards de dollars. Afin de répondre aux objectifs en matière de lutte contre le changement climatique d’ici à 2050 et ainsi assurer la limitation de l’augmentation des températures en-dessous de 1,5°C, un total de 110 000 milliards de dollars seraient nécessaires selon le scénario « *RE map* »⁵ de l’IRENA incluant notamment 27 000 milliards dans les énergies renouvelables (24 %) et 37 000 milliards dans l’efficacité énergétique (35 %).

⁴Hors investissements d’extraction. L’investissement dans les énergies fossiles pour la production d’électricité s’élève à 118 milliards de dollars en 2018, dont 80 milliards de dollars pour les centrales électriques à charbon, 34 milliards de dollars pour les centrales électriques au gaz et 4 milliards de dollars pour les centrales au fioul. Toutefois, l’investissement total dans les énergies fossiles s’élève à 825 milliards de dollars en 2016 contre 383 milliards pour les énergies renouvelables.

⁵Le programme *RE map* de l’IRENA a pour but de déterminer le potentiel des pays, des régions et du monde à développer les énergies renouvelables. Le programme évalue le potentiel de développement des énergies renouvelables grâce à des analyses pays réalisées avec des experts pour chaque pays. Ces différents rapports sont ensuite agrégés afin d’obtenir une vision globale.

Figure 3: Répartition des investissements dans les énergies renouvelables par technologie (en milliards en dollars)

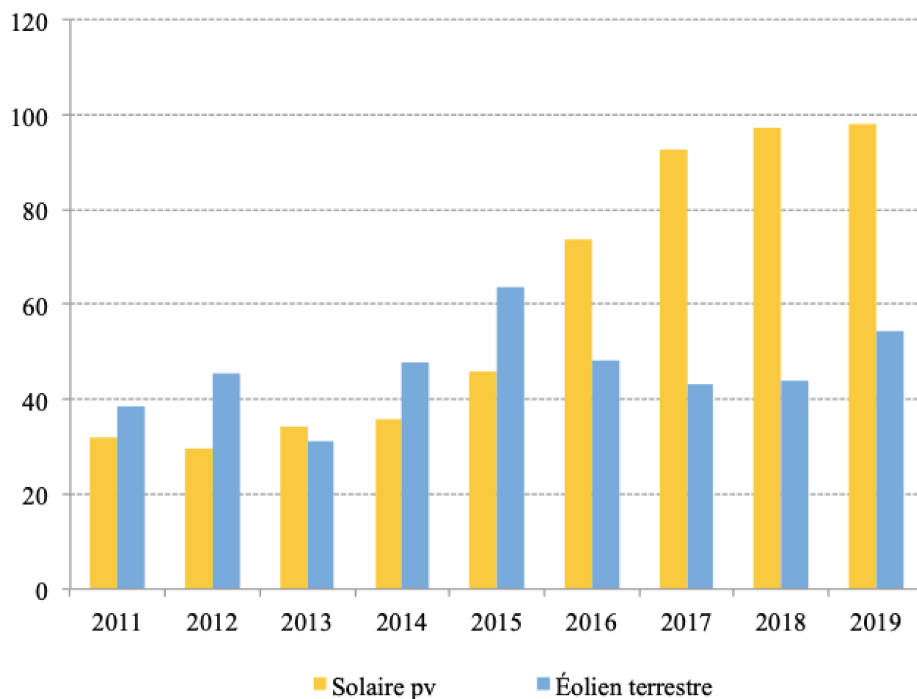


Source: Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF, 2020. *Global Trends in Renewable Energy Investment 2020*, <http://www.fs-unep-centre.org> (Frankfurt am Main)

Comme indiqué sur la **Figure 3**, en 2015, les investissements dans le solaire photovoltaïque et l'éolien s'élevaient à 296 milliards de dollars, représentant ainsi 94 % du montant total des investissements dans les énergies renouvelables. Après une baisse observée en 2016 (269 milliards de dollars), 2017 a connu un net regain de l'investissement de 17 % avant de diminuer à nouveau de 12 % en 2018. Toutefois, malgré une nette diminution des investissements en 2016, on observe sur la **Figure 4** que les capacités en solaire photovoltaïque n'ont cessé d'augmenter sur la période 2012-2019. Les investissements dans l'énergie solaire (prenant en compte à la fois l'énergie solaire photovoltaïque et thermique) ont atteint un pic à 181 milliards de dollars en 2017, avant de diminuer de 20 % en 2018 et de 2 % en 2019 pour atteindre 141 milliards de dollars. Les investissements dans l'éolien connaissent quant à eux une croissance positive depuis 2004 (malgré une

très légère baisse en 2018). En 2019, ces derniers ont connu une croissance de 7,5 % pour atteindre 143 milliards de dollars, l'éolien représentant ainsi la technologie la plus attractive en termes de flux financiers pour l'année 2019.

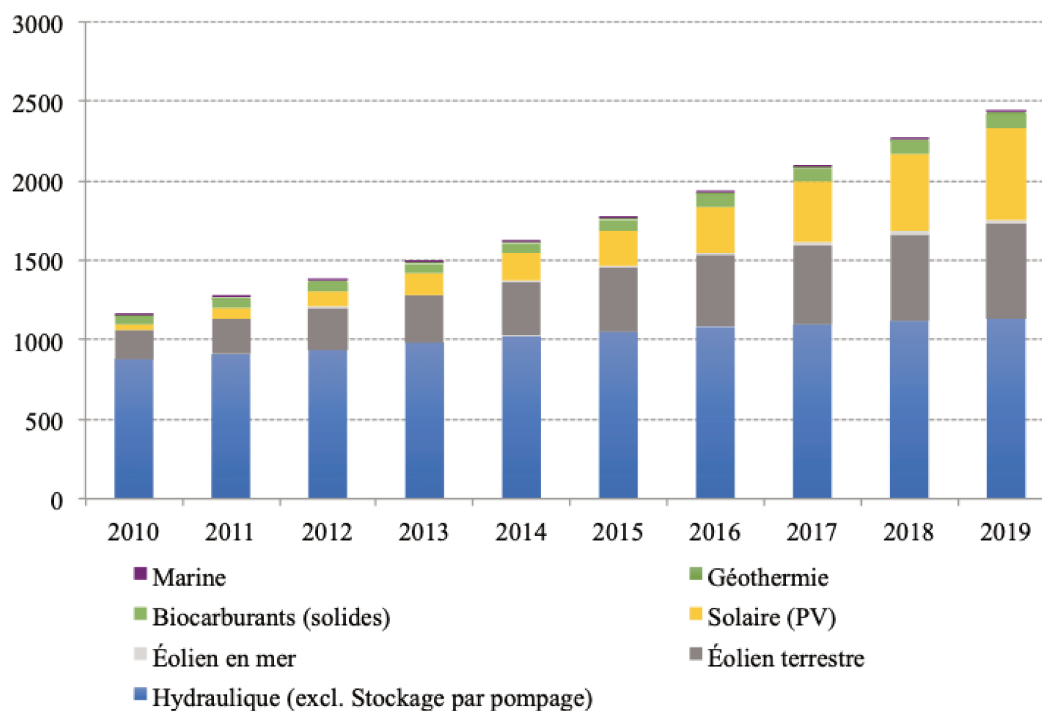
Figure 4: Nouvelles capacités ajoutées en solaire photovoltaïque et éolien terrestre (en GW)



Source : BloombergNEF

Malgré une légère diminution du montant de l'investissement pour certaines technologies ces dernières années, les capacités en énergies renouvelables variables ont continué à croître de manière significative en raison d'une forte diminution des coûts (**Figure 5**). En 2019, les capacités additionnelles en énergies renouvelables (à l'exception des grandes installations hydroélectriques) s'élevaient à 184 GW (incluant 118 GW d'installations solaires et 61 GW d'installations éoliennes), soit 20 GW de plus qu'en 2018, soit encore 77,6 % du total des nouvelles capacités (toutes technologies confondues) en 2019.

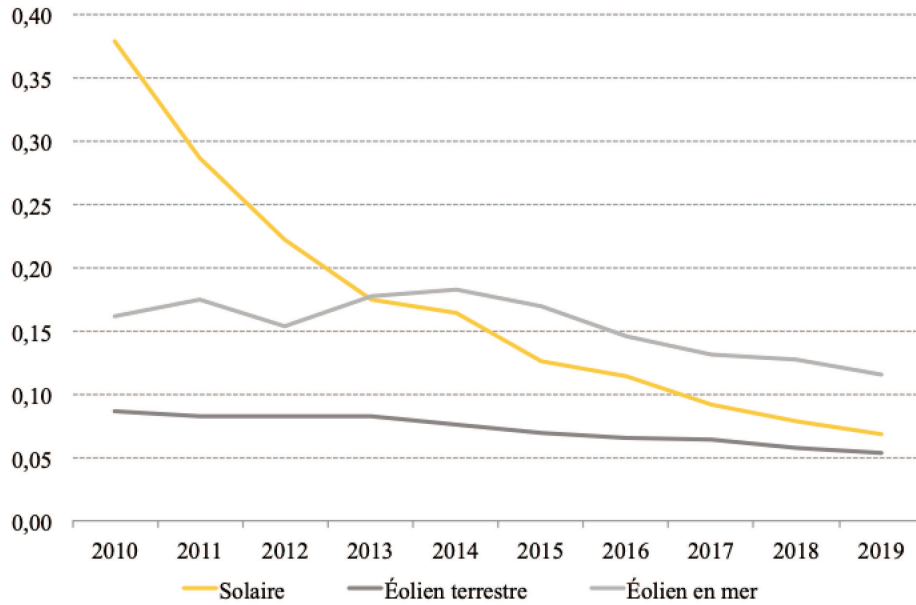
Figure 5: Total des capacités mondiales par technologie (GW)



Source : Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF. 2020. *Global Trends in Renewable Energy Investment 2020*, <http://www.fs-unep-centre.org> (Frankfurt am Main)

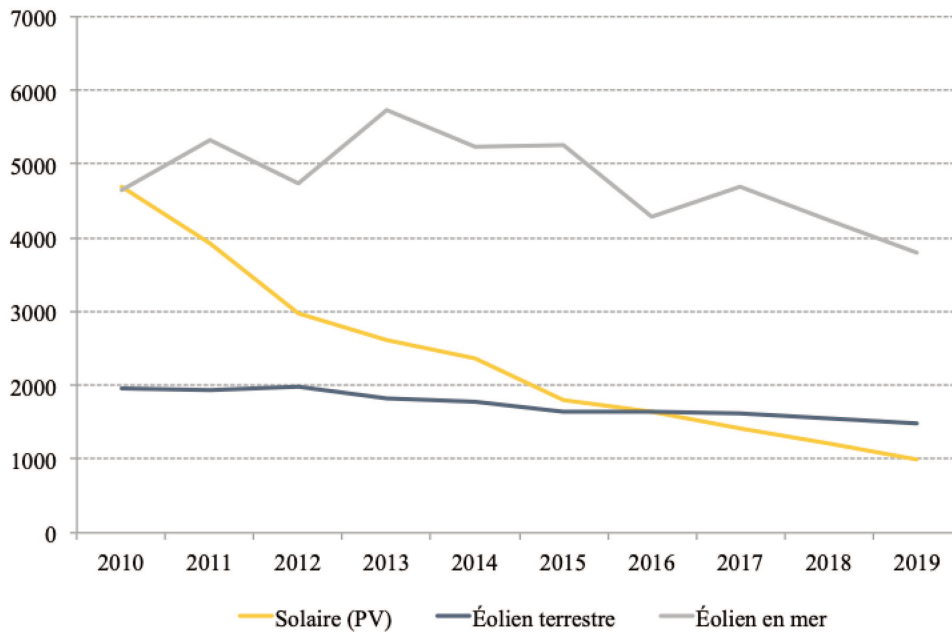
Entre 2015 et 2016, les coûts de l'énergie éolienne et solaire ont été réduits respectivement de 17 et 13 milliards de dollars, expliquant plus de la moitié de la contraction des investissements dans ces technologies. Plus précisément, la réduction des coûts actualisés de l'énergie (LCOE) solaire a été particulièrement significative entre 2010 et 2018 (IRENA 2019b), de l'ordre de 77 % en moyenne au niveau mondial (**Figure 6**). Concernant les coûts d'installation de l'éolien terrestre entre 2010 et 2019, ces derniers ont diminué de 24 %. S'agissant du photovoltaïque, cette baisse a été nettement plus importante, de l'ordre de 79 % (**Figure 7**).

Figure 6: Coûts actualisés de l'électricité (LCOE) pour le solaire photovoltaïque et l'éolien entre 2010 et 2019



Source : IRENA, *Renewable Power Generation Costs, 2019 & 2020*

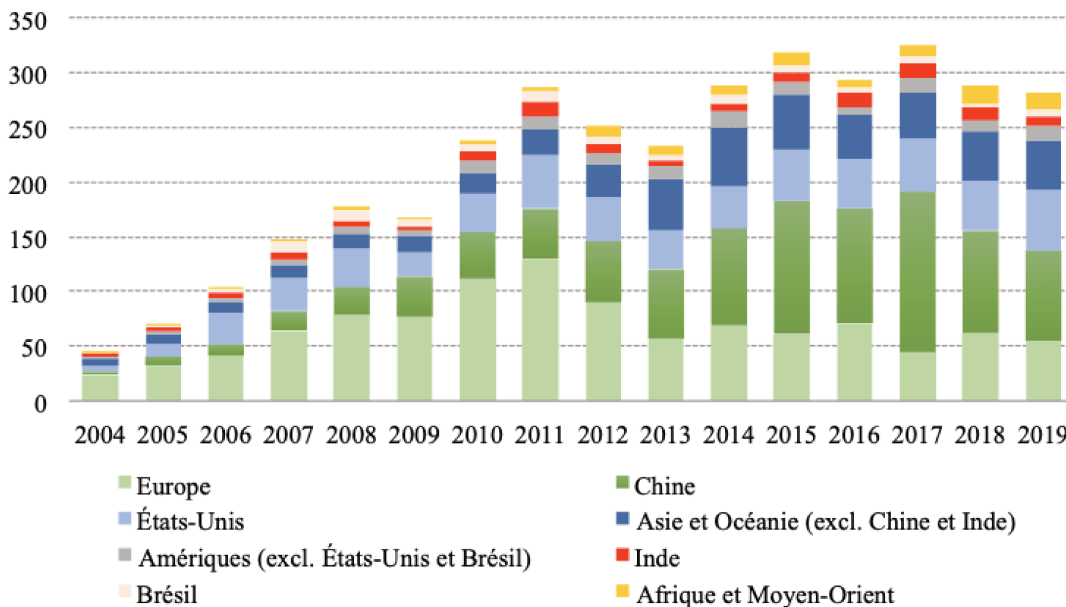
Figure 7: Coûts d'installation moyens globaux par technologie (USD/kWh)



Source : IRENA, *Renewable Power Generation Costs, 2019 & 2020*

Si l'investissement global dans les énergies renouvelables a connu une croissance moyenne importante au cours des vingt dernières années pour la plupart des technologies, une analyse géographique révèle une certaine hétérogénéité entre les différentes régions et entre les pays.

Figure 8: Répartition géographique des investissements dans les énergies renouvelables (en milliards de dollars)



Source: Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF. 2020. *Global Trends in Renewable Energy Investment 2020*, <http://www.fs-unep-centre.org> (Frankfurt am Main)

Sur la **Figure 8**, on observe que la plupart des investissements sont localisés en Asie et en particulier en Chine, ainsi qu'aux États-Unis et en Europe. En 2015, l'Asie et l'Océanie (hors Chine et Inde) accueillait 50,6 milliards de dollars, contre 46,2 milliards en 2013, avant de diminuer d'environ 21 % en 2016 pour atteindre 40,1 milliards. Ce déclin est principalement le fait du Japon où les investissements dans le solaire photovoltaïque ont été significativement réduits en raison d'une importante baisse des tarifs de rachat préférentiels⁶ (*feed-in tariffs*). La période 2017-2018 a cependant connu une légère croissance, de l'ordre de 6 % en moyenne (45,4 milliards

⁶Les politiques de tarifs de rachat préférentiels ou *feed-in tariffs* assurent aux développeurs de projets des tarifs fixes de rachat d'électricité produite à partir d'énergies renouvelables pour une durée déterminée (entre 15 et 20 ans en moyenne selon les contrats); voir *infra*.

de dollars en 2018), avant de s'établir à 45,1 milliards de dollars en 2019. Les investissements en Chine ont fortement augmenté, de 36 %, sur la période 2014-2015. En 2016, la tendance s'inverse et les investissements ont chuté de 15 %, avant de connaître un net regain en 2017, puis un fort déclin de 37 % en 2018, principalement du fait d'une réduction des politiques publiques de soutien aux énergies renouvelables et notamment des politiques de tarifs de rachat préférentiels. En 2019, les investissements connaissent à nouveau une légère baisse de 10 % pour s'établir à 83,4 milliards de dollars. Concernant l'Europe, celle-ci a vu ses investissements atteindre 61,3 milliards de dollars en 2015, contre 57 milliards en 2013. Toutefois, ces derniers ont augmenté de 16 % entre 2015 et 2016 pour atteindre 71,1 milliards de dollars avant de chuter en 2017 à 44,7 milliards. Les changements de politiques publiques de soutien au renouvelable au Royaume-Uni et en Allemagne sont principalement à l'origine de ce déclin. En 2018, les investissements dans les énergies renouvelables en Europe enregistraient à nouveau un regain, ces derniers s'élevant à 62,2 milliards, avant de connaître une nouvelle baisse de 12 % en 2019.

Au delà d'une réduction importante des coûts, cette diminution de l'investissement est également liée à une réduction du volume des capacités financées, notamment en Chine où les développeurs se sont empressés de finaliser leurs contrats pour bénéficier des subventions accordées par le biais des politiques de tarifs de rachat préférentiels d'électricité ou *feed-in tariff*. En effet, la Chine a réduit sa politique de tarifs de rachat en 2018 et de nombreux projets se sont concrétisés en 2015 afin de bénéficier de tarifs plus avantageux. Concernant l'énergie hydraulique,⁷ les investissements ont été réduits de 35 % entre 2013 et 2016, une tendance qui semble se poursuivre puisque ceux-ci ont encore baissé de 8 % entre 2018 et 2019. Cela est principalement lié à l'absence de construction d'installations de grande envergure, ainsi qu'à un potentiel de développement limité à l'exception de l'Afrique et de la Chine durant ces dernières années. Toutefois, d'importants projets ont été

⁷Petites et grandes installations hydroélectriques.

menés au Brésil entre 2013 et 2014 concernant les grandes installations hydroélectriques. Il est important de rappeler que ce type de technologie utilisé pour la production d'électricité dépend du potentiel hydraulique du pays. Une fois le potentiel exploité, cette technologie arrive rapidement à saturation, mais demeure une source fiable et rentable de production d'électricité. L'investissement dans la biomasse a connu une forte baisse en 2017 (7,4 milliards de dollars en 2017, contre 15,2 milliards en 2016). L'investissement dans la géothermie est quant à lui relativement stable sur la période 2010-2019, avec un montant annuel moyen de 2 milliards de dollars. Enfin, les biocarburants semblent attirer de moins en moins de flux financiers depuis 2010, pour atteindre 3 milliards de dollars en 2019, contre 10 milliards en 2010.

Malgré la crise liée à la pandémie de Covid-19, les énergies renouvelables sont la seule source de production d'électricité ayant connu une augmentation de leurs capacités en 2020, mettant en avant le potentiel de ces énergies pour les années à venir (IEA 2020c). Hale (2020) montre par ailleurs que les actifs du secteur des énergies renouvelables ont été beaucoup plus résilients que ceux du secteur des énergies fossiles. Toutefois, le nombre d'investissements dans le secteur des énergies renouvelables aurait chuté de 34 % au cours du premier semestre 2020 comparativement au premier semestre 2019 (IRENA 2020b). L'explication la plus fréquemment avancée serait une plus forte incertitude sur les marchés financiers, couplée à une volatilité accrue, qui auraient ainsi conduit les investisseurs à présenter une plus grande aversion au risque. Dans ce contexte d'incertitude, le développement de nouveaux projets pourrait être freiné à court terme, les développeurs de projets restant dans l'attente d'une stabilisation des marchés et d'une réduction des coûts de financement (IRENA 2020b, Technology 2020, Renewables Now 2020). Par ailleurs, l'importante réduction de la consommation d'électricité au premier trimestre 2020, de l'ordre de 20 %, a favorisé

la production d'électricité *via* les énergies renouvelables du fait de coûts opérationnels moins élevés. Dans un contexte où les investisseurs semblent ainsi revoir la stratégie de leurs portefeuilles d'actifs en faveur de la transition énergétique, l'IRENA (2020b) s'attend à ce que l'année 2021 connaisse un net regain de l'investissement dans les énergies renouvelables. En particulier, le rapport⁸ envisage qu'à horizon 2023, ces investissements pourraient atteindre environ 2 000 milliards de dollars par an, puis 4 500 milliards de dollars par an jusqu'en 2030.

86 % des investissements dans les énergies renouvelables sont issus de financements privés sur la période 2013-2018 (257 milliards de dollars par an en moyenne) dont la moitié provient, en moyenne sur la période, des développeurs de projets. Toutefois, si le secteur public semble financer uniquement les 14 % restants, il favorise dans une large mesure les investissements avec des politiques publiques de soutien au développement des énergies renouvelables. En 2015, le gouvernement japonais a par exemple mobilisé 6 milliards de dollars de fonds publics pour le soutien aux renouvelables, alors que le financement privé ne représentait que 450 millions de dollars. Cette même année, 50 % de l'électricité produite en Europe de l'Ouest était soutenue par des politiques publiques mobilisant environ 66 milliards de dollars de fonds publics (CEER 2018) et 44 % de ces fonds ont été alloués au soutien du solaire photovoltaïque suivi par l'éolien terrestre (23 %). Le nombre de pays faisant appel à ce type de politiques a d'ailleurs triplé entre 2014 et 2016, passant de 48 à 147.

Différentes politiques publiques de soutien aux énergies renouvelables existent telles que les tarifs de rachat préférentiels (*feed-in tariffs*), les primes de rachat (*feed-in premiums*), les certificats verts (*green certificates*) ainsi que les systèmes d'enchères plus récemment. Les tarifs de rachat

⁸Ce rapport a été publié en décembre 2020.

consistent en des tarifs de rachats préférentiels d'électricité produite à partir d'énergies renouvelables. Ces tarifs sont subventionnés par l'État et sont fixés par un contrat durant une période fixe (entre 15 et 25 ans en moyenne selon les pays). Ce type de politique publique assure ainsi aux développeurs privés des tarifs de rachat de leur électricité à des niveaux supérieurs à ceux qui prévalent sur le marché (marché *spot* de l'électricité), favorisant *de facto* l'investissement. Ce type de politique de soutien a été particulièrement attractif sur la période 2010-2015 du fait de l'appétence des investisseurs pour des tarifs fixes synonymes de rendements stables ainsi que les niveaux relativement élevés appliqués comparativement aux prix observés sur les marchés. Le développement du solaire photovoltaïque et de l'éolien terrestre repose par ailleurs largement sur cette politique de soutien (IRENA 2019a) qui s'est avérée efficace (Mitchel et Connor, 2004 ; Romano et al., 2017 ; Butler et Neuhoff, 2008 ; Bürer et Wüstenhagen, 2009). Les primes de rachat (*feed-in premiums*) divergent des tarifs de rachat (*feed-in tariffs*) dans le sens où elles ne constituent pas des tarifs fixes. Les primes de rachat d'électricité correspondent au prix du marché plus une prime. Par conséquent, ce type de politique de soutien peut s'avérer plus risqué pour les investisseurs puisqu'il est tributaire du niveau de prix *spot* observé sur les marchés et qui est donc variable dans le temps. Enfin, les certificats verts (*green certificates*) sont une sorte de label attribué aux sources d'électricité d'origine verte. À la différence des tarifs de rachat, les certificats verts ne s'appuient pas sur le soutien par les prix, mais favorisent la production d'énergies renouvelables en fixant des objectifs quantitatifs (Caisse des Dépôts, note n°16, décembre 2008). Ainsi, les fournisseurs (ou producteurs d'électricité selon la réglementation) doivent acheter des certificats verts aux producteurs pour assurer qu'une certaine part d'électricité dans leur offre est produite à partir d'énergies renouvelables. Si les tarifs de rachat ont connu un certain succès auprès des investisseurs, et ont notamment été à l'origine du développement important des énergies renouvelables dans de nom-

breux pays⁹ les systèmes d'enchères semblent prendre la relève depuis 2015. L'attractivité des tarifs de rachat a largement diminué depuis 2015, (i) en raison d'importantes réductions de coûts liées à la génération d'électricité, (ii) mais aussi parce que les énergies renouvelables sont devenues des technologies beaucoup plus matures – ce type de politique de soutien étant recommandé dans le cas de technologies encore peu matures – et (iii) du fait des réductions budgétaires dans de nombreux États favorisant ces pratiques. Les énergies renouvelables ayant vu leurs coûts significativement diminué et étant devenues des technologies matures (solaire et éolien terrestre), le montant des tarifs de rachat est devenu de plus en plus faible jusqu'à atteindre dans certains pays la quasi parité avec le prix de marché. Ainsi, le nombre de pays faisant appel au système d'enchères a été multiplié par dix, passant de 6 en 2005 à 60 en 2015. Une raison possible au développement rapide des systèmes d'enchères concerne le fait que ces derniers ne requièrent pas de cadre réglementaire et/ou institutionnel spécifique (*Renewable Energy Policy in a Time of Transition* 2016). Toutefois, l'engouement pour les systèmes d'enchères semble s'appuyer davantage sur leur potentiel de réduction des prix, de part leur caractère concurrentiel, comparativement à d'autres politiques de soutien.

La littérature économique s'intéresse depuis quelques années à la question du déploiement des énergies renouvelables dans les mix électriques nationaux. Si l'article précurseur de Painuly (2001*a*) étudie les grands champs d'études possibles – rentabilité des investissements, barrières techniques, ainsi que les principales imperfections de marché (obstacles institutionnels, politiques et réglementaires) – plus rares sont les travaux focalisant sur les questions liées au financement et sur la place des acteurs (États, Banques commerciales, citoyens) dans les dynamiques de déploiement des énergies renouvelables. L'État a par exemple joué un rôle central à travers la mise en place de politiques

⁹En 2017, l'IRENA comptabilisait plus de 80 pays ayant adapté ce système de soutien aux énergies renouvelables.

d'encouragement pour les énergies renouvelables qui permettent de dépasser certaines de ces barrières (Grandjean et Martini, 2016). Un rapport de l'IRENA (2017) mentionnait différents types de mesures de design des marchés pouvant être prises en compte pour stimuler le développement des énergies renouvelables (modification de la régulation sur le marché électrique, introduction de tarifs de rachat ou de quotas), mais également sur les mesures fiscales ou de soutien aux investissements. Dans la littérature, certains auteurs se sont par ailleurs intéressés à la relation entre consommation d'énergies renouvelables et croissance économique. Sadorsky (2009) analyse ainsi les facteurs influençant la consommation d'énergies renouvelables dans des pays caractérisés par différents niveaux de développement et met en exergue l'impact significatif du revenu par habitant sur la consommation d'énergies renouvelables. Aspergis et Payne (2010) concluent de leur côté à un lien de causalité bidirectionnel entre la consommation d'énergies renouvelables et la croissance économique. Salim et Rafiq (2012) et Rafiq et al. (2014) montrent que la consommation d'énergies renouvelables est déterminée par le revenu et les émissions de CO_2 pour certains pays émergents. Enfin, Omri et Nguyen (2014) considèrent un panel de 64 pays répartis selon leur niveau de revenu pour la période 1990-2011 et montrent que les émissions de CO_2 , le prix du pétrole, l'ouverture commerciale et le revenu par habitant ont un impact significatif sur les consommations d'énergies renouvelables. Dès lors, ces éléments nous invitent à introduire de nouveaux facteurs permettant d'expliquer l'hétérogénéité du développement des énergies renouvelables : politiques publiques, dotations factorielles, technologies de génération d'électricité développées.

La littérature met ainsi en évidence différents facteurs permettant d'expliquer le développement des énergies renouvelables. Ces facteurs peuvent être répartis en trois classes : i) les facteurs économiques, ii) les déterminants énergétiques et environnementaux et iii) les facteurs politiques.

Plusieurs études économétriques se sont intéressées aux déterminants des investissements dans les énergies renouvelables. La plupart de ces travaux¹⁰ tiennent compte de l'impact du PIB, des émissions de CO_2 , des prix de l'énergie, ainsi que de la consommation ou la dépendance énergétique (Sadorsky, 2009 ; Marques et al., 2010 ; Marques et Fuinhas, 2011 ; Aguirre et Ibikunle, 2014 ; Romano et Scandurra, 2016b) comme déterminants potentiels des investissements dans les énergies renouvelables. Toutefois, si la majeure partie des études font appel à des déterminants similaires, les résultats obtenus peuvent diverger quant à la significativité et à l'impact de certains facteurs. Par exemple, Sadorsky (2009) montre que les émissions de CO_2 ont un impact significatif et positif sur les investissements (plus les émissions augmentent, plus les investissements sont élevés) alors que Marques et al. (2010) et Marques et Fuinhas (2011) obtiennent un impact significatif et négatif de cette variable. Concernant le PIB (par tête), il apparaît comme significatif et positif pour Sadorsky (2009) et Marques et al. (2010), mais non significatif dans Aguirre et Ibikunle (2014). Chang et al. (2009) se sont par ailleurs intéressés aux effets d'interaction entre le développement d'énergies renouvelables et la croissance économique. Ils soulignent que l'impact des prix de l'énergie sur le développement des énergies renouvelables dépend du niveau de croissance du PIB. Seuls les pays enregistrant des niveaux de croissance économique élevés répondent à une augmentation des prix de l'énergie en déployant des technologies utilisant des sources renouvelables. Les variables macroéconomiques et la dynamique des prix du brut semblent ainsi interconnectées,¹¹ et les conditions observées sur le marché du pétrole pourraient déclencher (ou non) des effets de contagion sur le déploiement des énergies renouvelables. Plus précisément, on peut s'attendre à ce que le déploiement des énergies renouvelables variables, comme le solaire ou l'éolien, dépende de l'évolution des prix du pétrole. En effet, le développement de ces énergies renouvelables a plus de

¹⁰Parmi lesquels nous pouvons citer entre autres : Eyraud et al. (2011), Eyraud et al. (2013), Bird et al. (2005), Delmas and Montes-Sancho (2011), Papiez et al. (2018)

¹¹Brown et Yücel (2002) et Hamilton (2005).

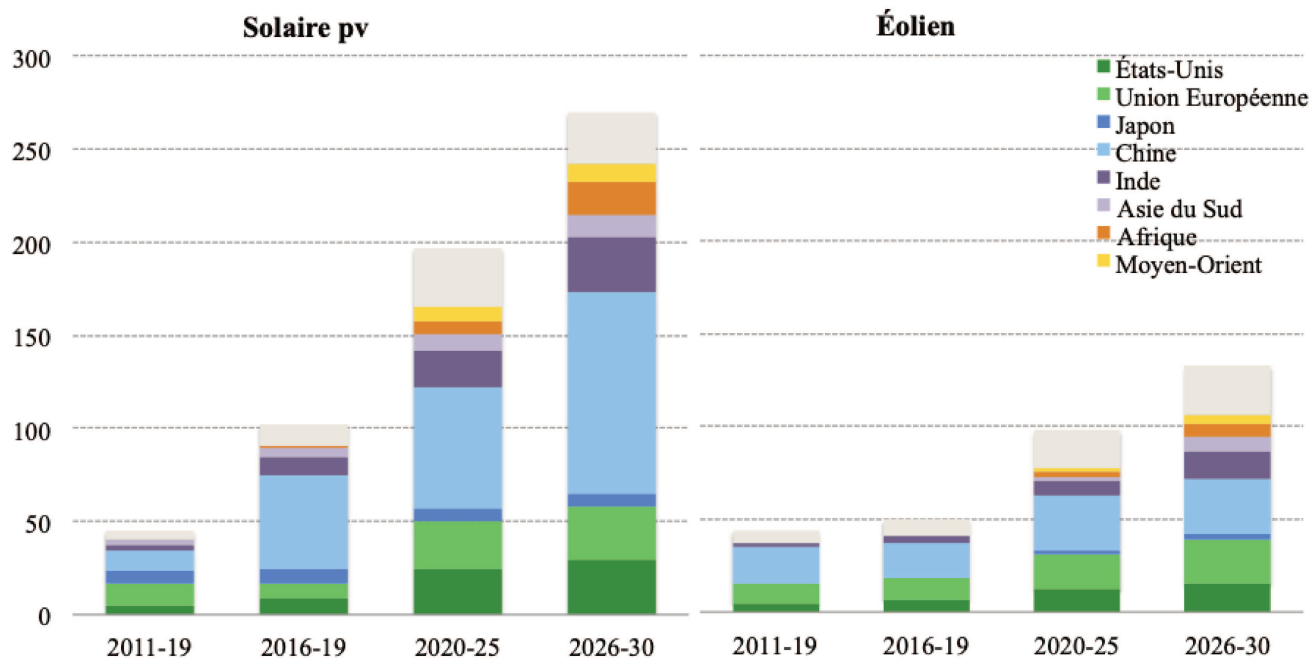
chances d'être stimulé lorsque les prix du pétrole augmentent - ce qui accroît l'attrait des sources d'énergies alternatives plus abordables - que lorsqu'ils diminuent.

Notre thèse contribue à cette littérature sur les énergies renouvelables en visant à identifier les déterminants de leur déploiement, à apprécier leur valorisation par les marchés financiers et à étudier leur financement. À cette fin, elle s'organise autour de trois chapitres.

Le **Chapitre 1** s'intéresse aux **déterminants du déploiement du solaire photovoltaïque** sur un panel de 39 pays¹² en accordant une attention particulière à leurs interactions potentielles avec les prix du pétrole. Il ambitionne ainsi de répondre à la question fondamentale du rôle joué par les prix du pétrole sur les marchés de l'énergie : les prix du pétrole ont-ils une influence sur le développement du photovoltaïque ? Si tel est le cas, dans quelle mesure impactent-ils ses déterminants ? Nous nous focalisons sur le solaire photovoltaïque car (i) peu d'études se sont intéressées à cette technologie séparément des autres sur un panel de pays donné et (ii) il constitue l'une des sources d'énergie renouvelable les plus attrayantes depuis une dizaine d'années et demeure la seule technologie renouvelable ayant vu ses investissements croître en 2017 (**Figure 3**). Par ailleurs, cet engouement pour le solaire photovoltaïque semble également se confirmer pour les années suivantes et à venir selon le scénario de l'AIE (*Sustainable Development Scenario*, SDS) qui estime que les capacités de cette technologie devraient encore doubler d'ici 2025 et continuer ainsi à augmenter jusqu'en 2030 (**Figure 9**). Cette trajectoire semble d'autant plus confirmée lorsque l'on s'intéresse au scénario de neutralité carbone à horizon 2050 de l'AIE, (*Net Zero Emission by 2050 scenario*, NZE2050) plus ambitieux que le SDS et qui considère le solaire photovoltaïque comme une technologie clé pour répondre aux objectifs de neutralité carbone (**Figure 10**).

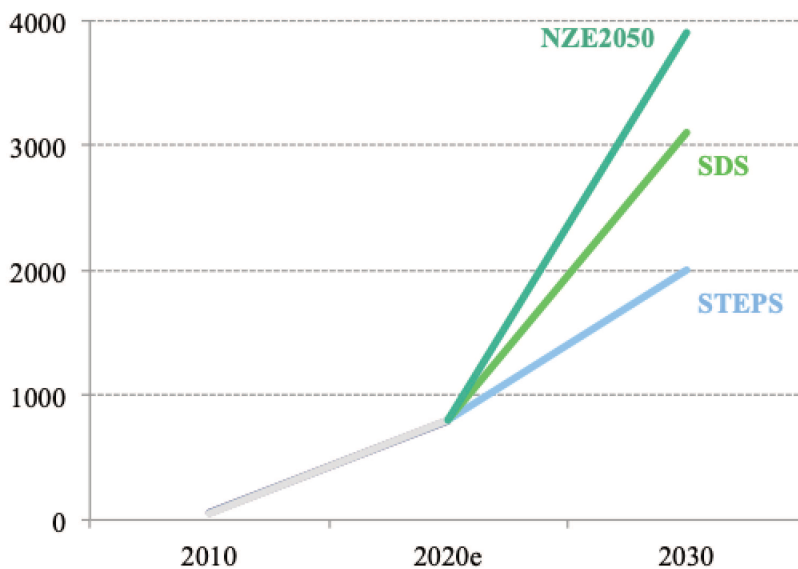
¹²Pays de l'OCDE (à l'exception de la Lituanie et de l'Islande) et BRICS (Brésil, Russie, Inde, Chine et Afrique du Sud).

Figure 9: Capacités additionnelles annuelles moyennes en solaire photovoltaïque et éolien dans le cadre du *Sustainable Development Scenario* de l'AIE pour 2030.



Source : IEA, *World Energy Outlook*, 2020

Figure 10: Capacités mondiales en solaire photovoltaïque selon les différents scénarii de l'AIE (en GW)



Source : IEA, *World Energy Outlook*, 2020

Au niveau méthodologique, nous recourons à l'estimation d'un modèle non linéaire en panel afin de prendre en compte les potentiels effets (positifs ou négatifs) des prix du pétrole sur les déterminants selon leur dynamique. À notre connaissance, il s'agit ainsi de la première étude visant à modéliser ces interactions pour un panel de pays. Nous montrons qu'une augmentation annuelle des prix du pétrole supérieure à 6,7 % tend à stimuler le développement des capacités en solaire photovoltaïque. En effet, une hausse du prix du brut réduit le coût relatif entre le pétrole et les énergies renouvelables, rendant *de facto* les investissements dans les énergies renouvelables plus rentables. Par ailleurs, nous montrons que les dotations factorielles des pays en ressources énergétiques ont également un rôle important à jouer, indépendamment du niveau des prix du pétrole : le commerce extérieur d'électricité, la variation de la production pétrolière et les capacités en énergie nucléaire impactent négativement le déploiement des énergies renouvelables. Enfin, les politiques publiques de *feed-in tariffs* jouent un rôle prépondérant et ce, quelque soit le niveau de croissance des prix du pétrole.

Dans ce contexte de transition énergétique, les entreprises du secteur de l'énergie apparaissent également comme des acteurs de premier plan. Toutefois, elles semblent rencontrer des difficultés à réduire significativement leurs émissions de GES et, en conséquence, à s'aligner sur les objectifs de l'Accord de Paris (Carbon Tracker, Septembre 2019). Entre 1990 et 2016, leurs émissions de GES ont augmenté de 5,77 % dans les pays de l'OCDE. Les émissions de CO₂ induites par les activités du secteur de l'énergie ont augmenté en moyenne de 1,7 % en 2018, la Chine, l'Inde et les États-Unis comptant à eux seuls 85 % des nouvelles émissions (IEA 2019). Toutefois, en 2019, les émissions de CO₂ issues du secteur de l'énergie semblent se stabiliser¹³ grâce à une diminution opérée dans les économies avancées (*Global Energy and CO₂ Status Report 2020*). En effet, les

¹³33,3 Gt de CO₂ en 2018 et 2019 (IEA 2020a)

émissions des pays développés ont diminué de 3,4 % entre 2018 et 2019 alors qu’entre 2017 et 2018, celles-ci avaient connu une augmentation de 0,9 %. Concernant le reste du monde, les émissions de CO₂ du secteur de l’énergie ont augmenté de 1,9 % entre 2018 et 2019 (contre 2,4 % entre 2017 et 2018).

La moitié de ces émissions provenant de la production d’électricité et de chaleur, il apparaît ainsi particulièrement important de s’intéresser à l’évolution énergétique de ce secteur dans un contexte où la demande énergétique ne cesse de croître.¹⁴ En 2019, la demande énergétique mondiale a augmenté de 0,9 % (contre 2,2 % en 2018) ; le ralentissement de son taux de croissance s’expliquant principalement par une forte diminution de la demande de gaz et de charbon. Toutefois, la demande de gaz naturel et d’énergies renouvelables a respectivement augmenté de 1,8 % et 3,7 % en 2019 (accroissant ainsi leur part de marché à respectivement 23 % et 14 %).

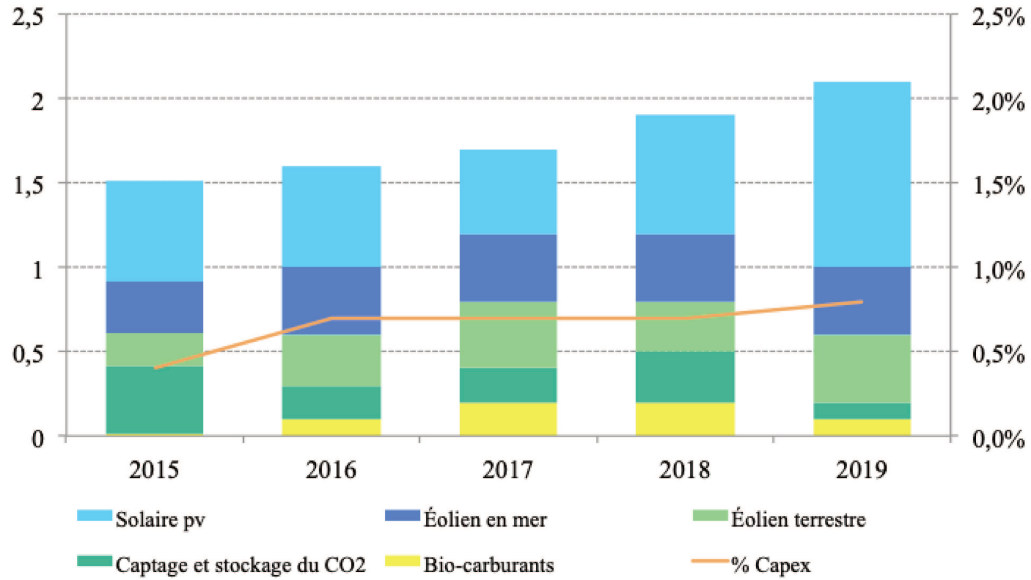
Les principales entreprises du secteur de l’énergie et en particulier les *majors* pétrolières, ont ainsi un rôle majeur à jouer dans la transition énergétique, notamment en matière d’investissements. Toutefois, très peu d’entre elles semblent réellement s’investir dans la transition énergétique et, si tel est le cas, la part d’investissement dans les énergies bas carbone comparativement à celle dédiée au secteur des hydrocarbures reste encore relativement faible (**Figure 11**). Aujourd’hui, environ 95 % de leur chiffre d’affaire est issu du gaz et du pétrole et les investissements dans les énergies fossiles, en particulier dans les activités amont (*upstream*) demeurent élevés comparativement aux autres secteur de l’énergie (**Figure 12**). Cependant, si l’on s’intéresse plus largement aux investissements liés à la transition énergétique,¹⁵ c’est-à-dire aux investissements dans les activités bas carbone, ces derniers atteignent 501 milliards de dollars contre 313 milliards pour les

¹⁴L’AIE estime que les émissions de CO₂ en 2020 auraient connu une réduction de 7 %, principalement liée à la baisse de la demande énergétique de l’ordre de 5 %.

¹⁵Selon BNEF, ces investissements comprennent les investissements dans l’hydrogène (1,5 milliards de dollars), le stockage du carbone (3 milliards), le stockage énergétique (3,6 milliards), l’électrification des transports (139 milliards) et les énergies renouvelables (303,5 milliards).

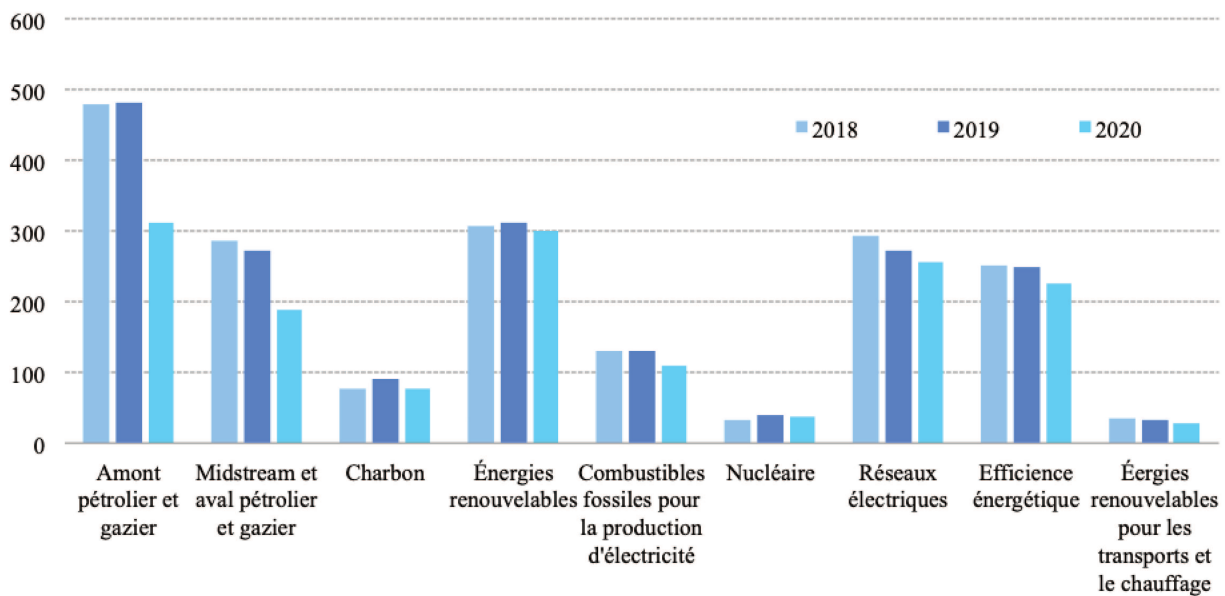
investissements de l'amont pétrolier et gazier en 2020.

Figure 11: Investissements dans les activités bas carbone des principales entreprises du secteur des hydrocarbures (en milliards de dollars)



Source : IEA, *The oil industry in energy transitions*, 2020

Figure 12: Investissements réalisés dans l'énergie par secteur (en milliards de dollars, USD 2019)



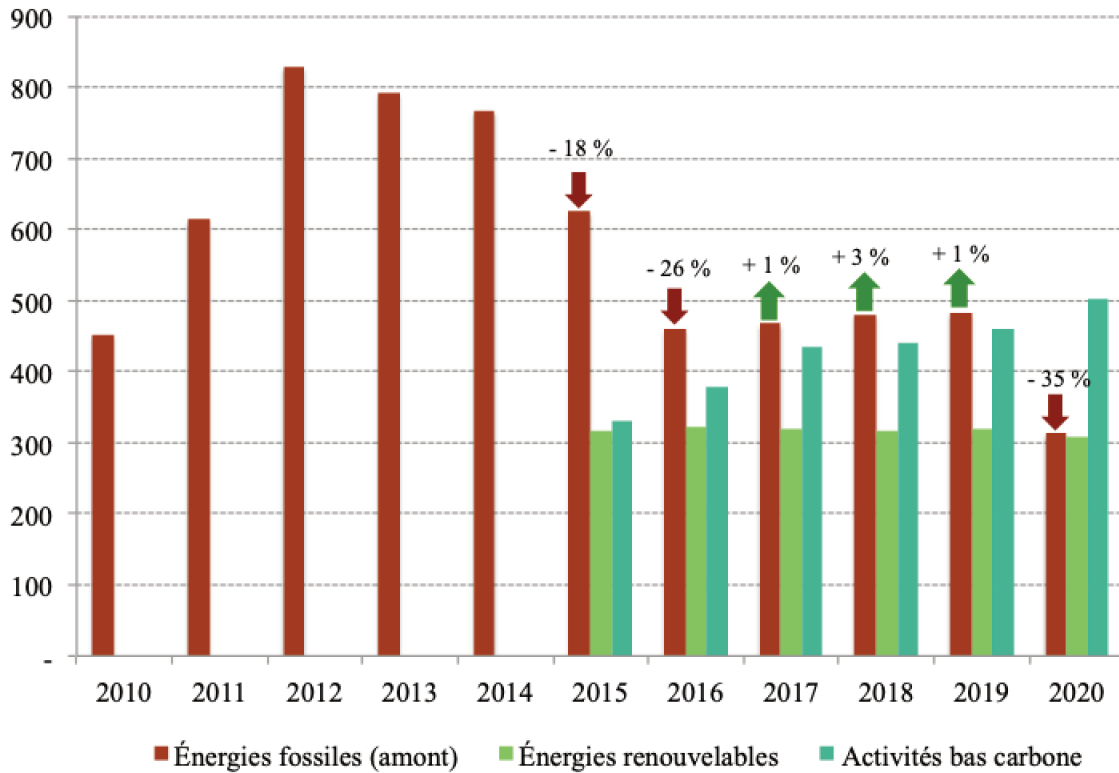
Source : IEA, *Investment estimates for 2020 continue to point to a record slump in spending*, 2020

Si les niveaux d'investissements dans l'amont pétrolier et gazier depuis 2015 demeurent significativement inférieurs à ceux qui prévalaient avant 2015, l'année 2020 semble marquée par un nouveau déclin de l'investissement dans le secteur de 35 %. Par ailleurs, il s'agit de la première année où l'investissement dans les activités bas carbone dépasse celui dans les activités amont au niveau mondial (**Figure 13**). Ainsi, l'année 2020 pourrait accélérer les différentes stratégies de diversification des entreprises du secteur des hydrocarbures, comme cela semble être déjà le cas du groupe Total SE. Lors de la présentation des comptes de l'exercice 2020 du Groupe, son président directeur général P. Pouyanné a déclaré « L'année 2020 constitue une année charnière pour la stratégie du Groupe et l'expression de son ambition d'aller vers la neutralité carbone [...] Pour ancrer cette transformation, le Groupe va proposer à ses actionnaires [...] de changer de nom en TotalEnergies ». Cette proposition de changement de nom de l'entreprise semble marquer un tournant pour le Groupe pétrolier qui se veut désormais devenir une entreprise de l'énergie en axant sa stratégie sur la croissance de ses deux branches GNL (gaz naturel liquéfié) et Renouvelables et Électricité. Par ailleurs, Larry Fink, PDG de BlackRock, a déclaré dans sa lettre annuelle (2021) destinée aux PDGs des grands groupes que le changement climatique devait être désormais au cœur des préoccupations stratégiques de ces entreprises, ajoutant que la transition énergétique présentait une « opportunité historique d'investissement ». Ainsi, L. Fink met en avant dans son discours le rôle central que doit jouer la transition énergétique dans le modèle de croissance de long terme des grandes entreprises en leur demandant de présenter des *business models* compatibles avec les objectifs de neutralité carbone à horizon 2050. Il déclare « *I believe that the pandemic has presented such an existential crisis – such a stark reminder of our fragility – that it has driven us to confront the global threat of climate change more forcefully and to consider how, like the pandemic, it will alter our lives* ». La pandémie de Covid-19 pourrait être ainsi une « opportunité

» de construire une croissance durable et compatible avec les objectifs de neutralité carbone à horizon 2050 et que certaines *majors* pétrolières semblent avoir d'ores et déjà saisie.

Toutefois, un nombre grandissant d'experts et d'agences internationales s'interrogent quant aux niveaux d'investissements suffisants permettant à l'offre de pétrole de répondre à la demande pour les années à venir. IFP Énergies nouvelles s'attend à ce que le pic de la demande de pétrole soit atteint entre 2030 et 2035. En parallèle, Hacquard et Hache (2019) alertent quant à de potentielles tensions sur le marché pétrolier à court terme si les investissements dans le secteur amont s'avéraient insuffisants pour accompagner la reprise économique post-Covid. Selon IFP Énergies nouvelles, retrouver le niveau d'investissement dans l'exploration/production qui prévalait en 2019 permettrait d'équilibrer le marché et ainsi éviter un possible « *oil supply crunch* ». Toutefois, les niveaux de la demande effective de pétrole sont encore largement incertains. L'AIE estime que la demande de pétrole devrait atteindre un plateau d'ici à 2030 et connaître ensuite une décroissance structurelle.

Figure 13: Investissement mondial dans les activités amont du secteur des énergies fossiles, dans les activités bas carbone (comprenant les énergies renouvelables) et dans les énergies renouvelables (milliards de dollars, USD 2019)



Source : IEA, *World Energy Investments 2019 and 2020* & BNEF 2020

Pickl (2019) classe les *majors* pétrolières en deux catégories : (i) Royal Dutch Shell, Total, BP, Eni et Equinor considérées comme des entreprises évoluant vers un statut d'« entreprises de l'énergie »¹⁶ au sens où ces dernières tendent à faire évoluer leur stratégie en s'orientant davantage vers des énergies moins polluantes et (ii) ExxonMobil, Chevron et Petrobras catégorisées comme des pures *majors* pétrolières. Total, l'une des principales compagnies pétrolières internationales, apparaît aujourd'hui comme l'une des entreprises plus « diversifiée »¹⁷ du secteur et espère devenir, selon son président directeur général Patrick Pouyanné, une « *major* de l'énergie responsable ». Le groupe envisage d'intégrer le climat dans sa stratégie à travers cinq canaux : l'efficacité énergé-

¹⁶ « from oil company to energy company ».

¹⁷ Voir Pickl (2019), Zhong et Bazilian (2018) et Blas (2015).

tique, le gaz naturel, les activités rentables dans l'électricité bas carbone, les biocarburants ainsi que les activités de puits de carbone. Dans la présentation de ses comptes de l'exercice 2020, Total précise détenir un portefeuille de capacités brutes installées¹⁸ de 35 GW à horizon 2025. En 2021, le Groupe disposerait de 7 GW de capacités brutes installées en opération, de 5 GW en construction et de 23 GW en développement d'ici à 2025. Concernant les résultats financiers du groupe Total, celui-ci affiche une perte sur l'année 2020 de 7,2 milliards de dollars¹⁹ (contre un bénéfice de 11,3 milliards de dollars en 2019). Cette perte sèche serait principalement liée à des « dépréciations exceptionnelles d'actifs pour un montant de 10 milliards de dollars, notamment sur les actifs *oil sands* (sables bitumineux) au Canada, enregistrées pour l'essentiel dans ses comptes à fin juin ».²⁰ Concernant les différents résultats opérationnels nets par secteur, la branche « Integrated gas, Renewables and Power »²¹ (iGRP) affiche un résultat opérationnel net ajusté²² de 1,8 milliard de dollars (contre 2,4 milliards en 2019) représentant 28 % du résultat opérationnel net total du groupe, contre 37 % pour les activités « Exploration-Production » et « Raffinage-Chimie ». Par ailleurs, la branche iGRP affichait un investissement net de 2,2 milliards de dollars en 2020 contre 6,2 milliards en 2019 et 3,5 milliards en 2018, soit une augmentation d'environ 50 % entre 2018 et 2019 et une baisse de 21 % entre 2019 et 2020. Concernant la branche « Exploration-Production », le résultat net s'élevait à 10,1 milliards de dollars en 2018 contre 8,7 milliards de dollars en 2019, soit une baisse de 16 % de l'investissement net de la branche entre 2018 et 2019. Concernant l'année 2020, celui a été de 6,1 milliards de dollars, en baisse de 30 % comparativement à 2019.

¹⁸En 2021, les capacités installées sont réparties au Qatar (800 MW), au Royaume-Uni (1,5 GW), en Inde (3 GW) et en Espagne (5 GW).

¹⁹« Résultat net part du Groupe ».

²⁰Extrait de la déclaration de P. Pouyanné lors du conseil d'administration de Total SE, réuni le 8 février 2021 pour la présentation des comptes du Groupe pour l'exercice 2020.

²¹Secteur d'activité intégré au *reporting* de l'information financière du groupe en 2019. Il complète les secteurs « Exploration Production », « Raffinage Chimie » et « Marketing et Services » et remplace le secteur intitulé « *Gas, Renewables and Power* ». Ce secteur réunit l'ensemble des activités de la chaîne intégrée du gaz dont les activités *upstream* et *midstream* dédiées au gaz naturel liquéfié (GNL) ainsi que celles initialement intégrées au secteur « *Gas, Renewables and Power* » effectif en janvier 2017. Ce dernier secteur intègre alors le développement de l'aval gaz, des énergies renouvelables et des métiers de l'efficacité énergétique.

²²Les éléments d'ajustement comprennent : les éléments non récurrents, l'effet de stock et l'effet des variations de juste valeur. Ainsi, les résultats ajustés (résultat opérationnel ajusté, résultat opérationnel net ajusté, résultat net ajusté) se définissent comme les résultats au coût de remplacement, hors éléments non récurrents et hors effet des variations de juste valeur.

Concernant la sous-catégorie « renouvelables et électricité » de la branche iGRP, Total a vu ses capacités brutes installées de génération électrique renouvelables plus que doubler entre 2019 et 2020, passant de 3 GW en 2019 à 7 GW en 2020. Sa production nette d'électricité a augmenté de 24 % en 2020 pour s'établir à 14,1 TWh dont 4 TWh provenant de sources renouvelables²³ (+ 97 % par rapport à 2019). La mise en œuvre de la stratégie d'intégration dans la chaîne de l'électricité et du gaz de Total semble ainsi se confirmer en 2020, avec notamment une augmentation de ses clients au cours de l'année de 1,5 million pour l'électricité et 1 million pour le gaz.

Le **Chapitre 2** s'intéresse ainsi à la **valorisation de la transition énergétique par les marchés financiers**. Nous nous consacrons plus spécifiquement à l'étude de la réaction du marché suite aux récentes évolutions de Total SE – l'une des entreprises les plus diversifiées du secteur de l'énergie – souhaitant s'engager davantage dans la transition énergétique en développant des activités liées à sa stratégie climat. Comment cette tendance récente est-elle accueillie par les investisseurs ? Afin de répondre à cette interrogation, nous considérons différents types d'annonces selon que les investissements concernent les activités de l'amont pétrolier et gazier du groupe (activités *upstream*) ou ses activités dites bas carbone, s'inscrivant dans un objectif de décarbonation de sa production d'énergie. Une telle distinction nous permet ainsi d'être à même d'appréhender si les investisseurs accueillent favorablement certains types d'activités et s'ils en pénalisent d'autres. À cette fin, nous réalisons une étude d'évènements de 2009 à 2019 rassemblant 139 annonces. Nos résultats montrent que la réaction du marché faisant suite à ces deux grandes catégories d'annonces est significative et négative, mais le marché réagit davantage aux annonces liées à la stratégie climat du groupe : suite à une annonce relative à la stratégie climat de Total, les rendements anormaux du groupe diminuent de 44 points de base contre 12 points de base concernant les annonces liées

²³Solaire, éolien, biogaz, hydroélectricité et centrales à gaz à cycles combinés.

aux activités amont. Ainsi, l'intuition d'une réaction positive des marchés suite aux différentes activités de Total liées à sa stratégie de devenir une « entreprise de l'énergie responsable » paraît remise en question. En effet, nous trouvons que les investisseurs ne réagissent pas positivement à la stratégie climat de Total et qu'ils ont, au contraire, tendance à pénaliser l'entreprise de s'engager dans de telles activités, en lien avec l'hypothèse du *trade-off* de Milton (1962). Ce résultat négatif peut toutefois être interprété de deux manières différentes. D'une part, il est possible qu'une classe d'investisseurs soit peu sensible à la cause environnementale, mettant en avant d'autres objectifs pour l'entreprise. D'autre part, une deuxième classe d'investisseurs pourrait, au contraire, pénaliser l'entreprise pour laquelle la diversification serait encore trop faible pour répondre aux objectifs de transition énergétique et, en particulier, de production d'énergie bas carbone.

Enfin, dans le **Chapitre 3** nous nous consacrons au **financement de la transition énergétique en France**. Nous mettons l'accent sur un mode de financement qui connaît une notoriété grandissante depuis plusieurs années : le **financement participatif**. Pour atteindre cet objectif, l'Institut de l'économie pour le climat (*Institute for Climate Economics*, I4CE) estime entre 50 et 54 milliards d'euros par an les besoins en investissements entre 2020 et 2023 (2e budget carbone), puis entre 65 et 74 milliards d'euros par an entre 2024 et 2028 (3e budget carbone).²⁴ En 2019, I4CE estimait à 47,9 milliards d'euros les investissements climat en France. Ainsi, 13 à 17 milliards d'euros supplémentaires d'ici la fin du quinquennat devront être débloqués pour atteindre le 2e budget carbone (2020-2023). Bien que les investissements climat en France augmentent depuis 2014, ces derniers doivent encore significativement croître pour respecter les objectifs européens sur le climat. Force est de constater qu'aujourd'hui, le financement est une barrière importante au processus de transition énergétique. Les nouveaux systèmes de financement tels que les pla-

²⁴Source : Edition 2020 du Panorama des financements climat.

teformes de financement participatif (*crowdfunding*) – qui consiste en un échange de fonds entre individus en dehors des circuits financiers institutionnels permettant de financer un projet *via* une plateforme en ligne – se développent actuellement fortement. Ils permettent d’encourager le placement d’une épargne locale, mais sont encore peu pris en compte dans les modèles et scénarii de transition énergétique. Dans le cadre de l’intégration des énergies renouvelables variables dans le mix électrique et face à certaines problématiques d’acceptabilité, les questions liées au financement participatif recouvrent des enjeux de territorialité (critère de résidence des investisseurs et réserve d’épargne, ancrage local) et de participation citoyenne (engagement en capital et acceptation accrue des projets). La problématique d’acceptabilité sociale des projets énergétiques et l’importance grandissante du consommateur-citoyen font qu’il est désormais nécessaire de s’interroger sur ces différentes questions dans le cadre de la transition énergétique. À cette fin, dans le dernier chapitre de cette thèse, nous recourrons à la méthode des préférences déclarées (*Discret Choice Experiment*). Cette méthodologie permet de réaliser une analyse socio-économique approfondie tout en prenant en compte la question monétaire. À notre connaissance, l’étude que nous réalisons est la première à s’intéresser au financement participatif des énergies renouvelables en France *via* l’application d’une méthodologie expérimentale des préférences déclarées.

Cette méthodologie, appliquée à un panel représentatif de la population française de 1020 personnes, nous permet de recueillir des données socio-économiques de la population *via* la présentation d’un questionnaire. Dans ce dernier, dix cartes de choix sont présentées aux répondants, ce qui nous permet d’obtenir les préférences de la population quant aux différents modes de financement volontaires de la transition énergétique en France. En particulier, nous proposons à travers ces cartes de choix différentes options de financement de projets d’énergies renouvelables (solaire photovoltaïque et éolien terrestre) : le financement participatif, l’achat d’actions et un *statu quo*

qui correspond à la taxe actuellement prélevée aux Français sur leur facture d'électricité.²⁵ Le *statu quo* constitue ainsi une troisième option de financement où les répondants ne changent rien par rapport à leurs pratiques habituelles. À chaque option de financement sont associés : 1) un type de technologie, 2) une contribution financière, 3) un rendement moyen de cette contribution, 4) la localisation du projet et 5) l'alimentation électrique correspondante. L'estimation d'un modèle *Random Parameter Logit* (RPL) met en évidence deux résultats principaux : l'existence d'une forte hétérogénéité des préférences des répondants ainsi qu'un engouement certain de leur part pour un mode de financement volontaire, comparativement au *statu quo*. Par ailleurs, nous montrons que le financement participatif (comparativement à l'achat d'actions sur le marché) apparaît comme le mode de financement préféré des Français. Dans notre échantillon, seulement 9,6 % ont systématiquement choisi le *statu quo*, quelle que soit la carte de choix proposée. Par ailleurs, 52 % des répondants seraient prêts à recourir au financement participatif pour financer des projets d'énergies renouvelables, alors que seulement 27 % sont familiers avec ce mode de financement et que seuls 3 % ont déjà investi dans de tels projets. Enfin, nos résultats indiquent que les Français semblent peu enclins à financer des projets d'éolien terrestre comparativement au solaire photovoltaïque, qui apparaît comme étant la technologie renouvelable préférée des répondants, devant l'éolien en mer et la géothermie. De plus, les Français sont sensibles à la taille des projets proposés (plus le projet est grand et plus cela les satisfait), ainsi qu'à leur localisation ; ils préfèrent en effet financer un projet proche de leur lieu d'habitation afin d'en bénéficier localement. Le chapitre 3 fournit ainsi des éléments originaux et novateurs sur le financement participatif comme alternative crédible à la finance traditionnelle pour les projets d'énergies renouvelables en France. Les Français étant enclins à utiliser ce mode de financement dans le cadre national, les politiques publiques destinées à favoriser la transition énergétique devraient en conséquence intégrer une telle dimension lors de

²⁵Cette taxe correspond à 22,5€/MWh.

leur définition.