



Credit Risk

Rapport de Projet

# Risque climatique : risque de transition et risque physique

*Elouan Raymond, Gabriel Manhes, Zako Sapey-Triomphe*

10 février 2021

## Introduction

La prise en compte des effets du changement climatique sur les valeurs financières est un sujet en pleine expansion, sous l'impulsion de certains travaux majeurs et d'une prise de conscience générale. Depuis quelques années maintenant le monde financier a conscience de l'ampleur des risques sous-estimés dans les modèles actuels, à travers notamment (S Dietz, 2016), qui mesure la Value at Risk d'actifs financiers majeurs ou (Battiston, 2017) procédant de la même démarche mais intégrant un risque systémique. Les études se démultiplient pour tenter d'estimer le risque climatique pour toutes les classes d'actifs, sans oublier les obligations, pour lesquelles il est essentiel de l'intégrer au calcul de la probabilité de défaut étant donné leurs maturités importantes. (V Bouchet, 2020) modélise l'impact d'une taxe carbone sur la probabilité de défaut en l'intégrant à un modèle de Merton, selon différents scénarios. Cela permet de prendre en compte les risques de transition, mais n'adresse pas le problème des risques physiques.

Ce projet a pour ambition d'intégrer de manière simple les risques physiques au modèle de Merton modifié par (V Bouchet, 2020). Le but n'est pas ici de modéliser avec précision les futures probabilités de défaut, mais simplement d'explorer une méthode de modélisation, et éventuellement de parvenir à une analyse de sensibilité qui nous renseignerait sur l'importance relative du risque physique par rapport au risque de transition. Il est essentiel de préciser tout de même que de telles conclusions seraient à prendre avec un grand recul, car nos estimations du risque physique ne sont (et ne peuvent être sans données internes détaillées sur les entreprises) que de pures hypothèses.

Dans le cadre de notre projet, il nous est demandé de modéliser les risques physiques par un processus de Poisson, qui épisodiquement viendrait diminuer la valeur de l'entreprise dans le modèle de Merton. Nous avons voulu donner une assise réelle à notre modèle, ce qui suppose d'estimer les paramètres, dans la mesure du possible. Les trois paramètres clés sont l'exposition de l'entreprise aux risques physiques, l'intensité des catastrophes naturelles et leur fréquence. Certaines études, notamment (GIEC, 2012) et (N-C Lau, 2012), nous permettent d'estimer ces deux derniers paramètres. Pour ce qui est de l'exposition aux risques physiques, inhérente à l'entreprise, elle demeure impossible à évaluer sans une énorme incertitude, nous en donnerons donc une valeur approximative. L'intérêt de ce projet est de comparer les effets des risques physiques par rapport à ceux d'une taxe carbone, nous prendrons donc trois scénarios, inspirés des travaux du GIEC, présentant des évolutions différentes des paramètres de notre modèle. Enfin, nous comparerons des entreprises de même secteur afin de juger de l'impact de leurs caractéristiques financières.

Les résultats auxquels nous parvenons confirment l'intuition que l'on pourrait avoir sur ces risques climatiques (ce qui est naturel étant donné la simplicité du modèle) : ils ont un effet majeur sur la probabilité de défaut, et le scénario considéré est un élément clé pour déterminer son évolution. Par ailleurs il apparaît que les risques physiques ont plus d'impact à long terme, alors que les risques de transition influencent la probabilité à court terme. Nous présenterons à présent plus en détail notre méthodologie et nos résultats.

## Table des matières

<b>Introduction.....</b>	<b>2</b>
<b>I. Modèle théorique.....</b>	<b>4</b>
a. Risque de transition seul, l'approche Bouchet & Le Guenedal.....	4
b. Risque physique seul .....	5
c. Risque physique & risque de transition.....	6
<b>II. Détermination des paramètres.....</b>	<b>8</b>
a. Choix des scénarios : taxe carbone, fréquence et intensité des catastrophes climatiques ...	8
b. Entreprises modélisées : détermination des caractéristiques .....	9
<b>III. Présentation des résultats :.....</b>	<b>11</b>
a. Le secteur de L'agroalimentaire :.....	11
Danone :.....	11
Nestlé : .....	12
b. Les énergéticiens : .....	14
Schlumberger : .....	14
Areva : .....	15
c. Limites.....	17
<b>Conclusion .....</b>	<b>18</b>
<b>Travaux cités .....</b>	<b>19</b>

## I. Modèle théorique

Il s'agira dans cette section de présenter le déroulement logique qui nous mène au calcul de probabilité de défaut dans 3 cas : en prenant en compte le risque de transition seul, puis le risque physique seul et enfin, conjointement le risque physique et le risque de transition.

### a. Risque de transition seul, l'approche Bouchet & Le Guenedal

Cette étude fournit la base de notre étude, la trame théorique sera d'une part reproductible et permettra d'extraire des paramètres propres à chaque entreprise.

Le risque de transition se matérialise par le coût du carbone. Ce coût est introduit par une taxe qui se multiplie à la consommation de CO<sub>2</sub>, de l'entreprise en question (1).

$$\text{Coût}_{\text{carbone}} = \sum \text{EmissionsGHG}_{\text{CO}_2} \times \text{Prix}_{\text{carbone}} \quad (1)$$

Ce coût du carbone est ramené à l'EBITDA, via un paramètre  $\zeta$  (2).

$$\zeta = \frac{\text{Coût}_{\text{carbone}}}{\text{EBITDA}} \quad (2)$$

L'équation (2) matérialise un choc sur l'EBITDA, et à fortiori sur la valeur d'entreprise, tel que décrit dans l'équation (3).

$$V_{\text{après choc}} = (1 - \zeta) \times V_{\text{avant choc}} \quad (3)$$

Ainsi la valeur de l'entreprise est directement impactée par ce paramètre, et à plus forte raison par le prix du carbone.

Désormais, nous introduisons le modèle de Merton afin de formaliser la probabilité de défaut suite à ce choc.

$$\text{Equity} = V \times \phi(d1) - \text{Debt}_{\text{Merton}} \times e^{-rT} \times \phi(d1)$$

$$\text{Equity} = \frac{\sigma_v}{\sigma_e} \phi(d1) \times V$$

$$d1 = \frac{\ln \frac{V}{D} + (r + 0.5 \times \sigma_v^2) \times T}{\sigma_v \sqrt{T}}$$

$$d2 = d1 - \sigma_v \sqrt{T}$$

$$DD = \frac{\ln \left( \frac{(1 - \zeta) \times V_{\text{avant choc}}}{D} \right) + (r + 0.5 \times \sigma_v^2) \times T}{\sigma_v \sqrt{T}}$$

$$\text{Probabilité}_{\text{defaut}} = \phi(-DD)$$

Nous considérons ce jeu d'équation successive dans cette étude comme acquis, i-e nous ne rentrons pas dans le détail technique du modèle de Merton.

Néanmoins, retenons que  $Probabilité_{defaut}$  est une fonction de  $Coût_{carbone}$ , et plus précisément de l'évolution des prix du carbone. Intuitivement, une augmentation de la taxe va dévaluer l'entreprise.

Désormais, il s'agit d'indexer ces éléments au temps, nous calculons chaque année :

- 1- Le cout du carbone à l'année t : Pour cela nous considérons 2 cas :
  - 1.1 *Emission constante sur la durée T*
  - 1.2 *Emission décroissante d'un pourcentage annuel, calculé en fonction de la décroissance moyenne passée de l'entreprise*
- 2- Le  $\zeta$  associé, nous faisons l'hypothèses d'un EBITDA constant sur la durée T de l'étude.
- 3- La Valeur de l'entreprise à t comme donnée par le choc  $\zeta$ , par rapport à l'année t-1
- 4- Puis DD et enfin la probabilité de défaut à l'année t.

#### b. Risque physique seul

Nous nous intéressons au risque de sécheresse que nous traduisons par un choc sur l'EBITDA, ce choc est aléatoire et soudain. Ce point le distingue du risque de transition. Nous utilisons une loi de poisson dans le but de connaître le nombre d'apparitions chaque année d'un cas de sécheresse, cette loi de poisson prend en paramètres une fréquence prévisionnelle. En somme, c'est un processus de poisson à fréquence variable, le nombre de saut varie sur des intervalles de 10 ans.

Tentons un parallèle artificiel avec la partie précédente :  $Coût_{physique}$  n'existe pas réellement. Ce coût physique est ramené à l'EBITDA, via un paramètre  $\varsigma$  (1').

$$\zeta' = \frac{Coût_{physique}}{EBITDA} \quad (1')$$

L'équation (1') matérialise un choc sur l'EBITDA, et à fortiori sur la valeur d'entreprise, tel que décrit dans l'équation (2').

$$V_{après\ choc} = (1 - \zeta) \times V_{avant\ choc} \quad (2')$$

En vérité, notre modélisation est telle que :

Nous introduisons le paramètre  $loss$  et le paramètre  $x_t$  qui correspond annuel dû aux potentielles sècheresses, soulignons que plusieurs peuvent survenir par an.

Le paramètre  $x_t$ , suit une loi de poisson avec en paramètre la fréquence et une durée égale à l'intervalle où la fréquence est fixe, ici 10 ans avec 4 intervalles, soit 40 ans.

$$loss_t = -x_t \times Perte_{d\hat{u}e \text{ à une secheresse}}$$

Ensuite, nous calculons V

$$V_t = (1 - x_t \times Perte_{d\hat{u}e \text{ à une secheresse}}) \times V_{t-1}$$

$$\text{In fine: } \zeta' = x_t \times Perte_{d\hat{u}e \text{ à une secheresse}}$$

Ainsi la valeur de l'entreprise est directement impactée par ce paramètre, et à plus forte raison par le prix du carbone.

Désormais, nous introduisons le modèle de Merton afin de formaliser la probabilité défaut suite à ce choc.

$$Equity = V \times \phi(d1) - Debt_{Merton} \times e^{-rT} \times \phi(d1)$$

$$Equity = \frac{\sigma_v}{\sigma_e} \phi(d1) \times V$$

$$d1 = \frac{\ln \frac{V}{D} + (r + 0.5 \times \sigma_v^2) \times T}{\sigma_v \sqrt{T}}$$

$$d2 = d1 - \sigma_v \sqrt{T}$$

$$DD = \frac{\ln \left( \frac{(1 - \zeta') \times V_{avant \text{ choc}}}{D} \right) + (r + 0.5 \times \sigma_v^2) \times T}{\sigma_v \sqrt{T}}$$

$$Probabilité_{defaut} = \phi(-DD)$$

Retenons que  $Probabilité_{defaut}$  est une fonction d'une variable aléatoire qui dépend d'une fréquence en input et dépend d'une amplitude de choc, calculée au préalable.

Désormais, il s'agit d'indexer ces éléments au temps, nous calculons chaque année :

- 1- La loi de poisson donnant le nombre d'occurrence de sécheresse :
- 2- Le  $\zeta'$  associé, nous faisons l'hypothèse de sa constance sur les intervalles de l'étude.
- 5- La Valeur de l'entreprise à t comme donnée par le choc  $\zeta'$ , par rapport à l'année t-1
- 6- Puis DD et enfin à la probabilité de défaut à l'année t.

#### c. Risque physique & risque de transition

Nous nous intéressons au risque de transition ainsi qu'au risque de sécheresse (risque physique) que nous traduisons par deux chocs, chaque année.

Le risque de physique se matérialise par une amplitude de choc et une fréquence d'apparition. Le risque de transition, lui, se matérialise par le coût du carbone. Ce coût est introduit par une taxe qui se multiplie à la consommation de CO2, de l'entreprise en question.

En joignant les deux modèles nous obtenons :

$$V_t = (1 - \zeta) \times (1 - \zeta') \times V_{t-1}$$

$$\text{Avec : } \zeta' = x_t \times \text{Perte}_{\text{due à une secheresse}}$$

Et

$$\zeta = \frac{\text{Coût}_{\text{carbone}}}{\text{EBITDA}}$$

Ainsi la valeur de l'entreprise est directement impactée par ces paramètres, et à plus forte raison par le prix du carbone et la fréquence d'apparition de sécheresse.

Désormais, nous introduisons le modèle de Merton afin de formaliser la probabilité défaut suite à ce choc.

$$\text{Equity} = V \times \phi(d1) - \text{Debt}_{\text{Merton}} \times e^{-rT} \times \phi(d1)$$

$$\text{Equity} = \frac{\sigma_v}{\sigma_e} \phi(d1) \times V$$

$$d1 = \frac{\ln \frac{V}{D} + (r + 0.5 \times \sigma_v^2) \times T}{\sigma_v \sqrt{T}}$$

$$d2 = d1 - \sigma_v \sqrt{T}$$

$$DD = \frac{\ln \left( \frac{(1 - \zeta') \times (1 - \zeta \times V_{\text{avant choc}})}{D} \right) + (r + 0.5 \times \sigma_v^2) \times T}{\sigma_v \sqrt{T}}$$

$$\text{Probabilité}_{\text{defaut}} = \phi(-DD)$$

C'est ainsi que nous obtenons une étude qui permet d'intégrer une brique supplémentaire aux modèles précédent de Bouchet & Le Guenedal

## II. Détermination des paramètres

Comme expliqué plus haut, notre modèle requiert des paramètres soigneusement choisis pour offrir une profondeur d'analyse pertinente. En effet si ces paramètres représentent mal la réalité, les conclusions que nous en tirerons seront d'emblées fausses. Le choix de ces paramètres s'est opéré en deux phases : scénarios d'évolution des variables climatiques d'une part, choix des secteurs et détermination de leurs caractéristiques d'autre part. Nous donnons dans la suite des explications détaillées sur la réflexion qui justifie ces choix.

### a. Choix des scénarios : taxe carbone, fréquence et intensité des catastrophes climatiques

Étant donné les consignes de notre projet, nous nous sommes basés sur (V Bouchet, 2020) pour choisir les scénarios du GIEC que nous allions donner au modèle. Bouchet et Le Guénédal ont sélectionné quatre scénarios dits SSP2 (SSP2-19, SSP2-26, SSP2-34, SSP2-Baseline) sur lesquels il est facile de trouver des données d'évolution des taxes carbone. Les scénarios SSP (Shared Socio-economic Pathways) sont des projections à l'horizon 2100 sur l'évolution des conditions socio-économiques et géopolitiques au niveau mondial, et les impacts sur le climat correspondants. Ils sont répartis en 4 catégories, qui diffèrent par leurs hypothèses sur l'organisation de l'effort mondial pour la sauvegarde de l'environnement. Les scénarios SSP2, choisis par Bouchet et Le Guénédal, représentent les hypothèses les plus probables dans la mesure où ils envisagent peu ou pas d'effort coordonné, et un ordre mondial relativement stable. Ils présentent par ailleurs l'avantage d'avoir un scénario particulièrement optimiste (le SSP2-19) permettant d'arriver à un réchauffement global de +1,5°C à la fin du siècle. Le scénario le plus pessimiste (SSP2-Baseline), aboutit à un réchauffement de +3,8°C, et ainsi l'ensemble des scénarios balaye relativement bien l'univers des possibles (en restant optimiste). Les données correspondantes à ces scénarios sont accessibles sur la base de données (IAMC, 2019), sur laquelle nous avons récupéré les valeurs des taxes carbone selon la période et le scénario, de 2020 à 2060.

Pour ce qui est des paramètres liés aux événements climatiques extrêmes, la question est plus compliquée. De par leur nature profondément imprédictible et la complexité des mécanismes qu'elles mettent en jeu, les catastrophes naturelles sont difficiles à modéliser, et l'impact de l'activité humaine sur leur évolution reste fortement incertaine. Si la majorité des études s'accorde sur leur très probable augmentation, aussi bien en fréquence qu'en intensité, peu parviennent à quantifier ces projections. Par cette réserve les auteurs évitent aussi de potentiellement nourrir le climato-scepticisme, si leur « prédictions » s'avéraient fausses. Les seuls événements climatiques bien connus et modélisés sont les sécheresses, en cela qu'elles sont une conséquence directe du réchauffement et donc plus facilement prédictibles à partir des estimations de réchauffement (GIEC, 2012). Le GIEC donne pour l'horizon 2100 des estimations du temps de retour des valeurs extrêmes des températures maximales (température la plus chaude entre 1981 et 2000 selon la zone géographique). Par exemple dans un scénario pessimiste (équivalent du SSP2-Baseline), une journée de chaleur extrême, qui n'arrivait qu'une fois tous les 20 ans, se produira tous les 2 ans en moyenne à la fin du siècle, et la température



sera de 5°C plus élevée. Le tableau 1 résume les valeurs données par le GIEC pour les différents scénarios, et donne les extrapolations que nous avons faites pour avoir une évolution par décennie.

Scénario	Variable	2021	2030	2040	2050	2060
SSP2-Baseline (3.8°C)	Cout Carbone (US\$2010/tCO2)	0	0	0	0	0
	Temps de retour températures extrêmes (années)	20	15	10	5	2
	Augmentation intensité températures extrêmes (°C)	0	+1	+2	+3	+4
SSP2-34 (2.2°C)	Cout Carbone (US\$2010/tCO2)	7	85	135	240	390
	Temps de retour températures extrêmes (années)	20	16	12	8	4
	Augmentation intensité températures extrêmes (°C)	0	+0,5	+1	+1,5	+2
SSP2-26 (1.8°C)	Cout Carbone (US\$2010/tCO2)	7	390	640	1124	1850
	Temps de retour températures extrêmes (années)	20	17	14	11	8
	Augmentation intensité températures extrêmes (°C)	0	0	0	0	0

*Tableau 1 : Caractéristiques des différents scénarios du GIEC*

En plus d'être abondamment étudiées et modélisées, les vagues de chaleur présentent un risque physique pour la majorité des secteurs, et la majorité des géographies. On peut considérer que la majorité des entreprises exposées à un risque physique sont exposées aux sécheresses, et donc que ces dernières peuvent être une approximation du risque dans son ensemble. Ainsi nous prendrons les données de fréquence et d'intensité des sécheresses pour modéliser le risque physique dans notre modèle. Les valeurs de fréquence correspondent à la période (10 ans) divisée par le temps de retour selon le scénario.

#### **b. Entreprises modélisées : détermination des caractéristiques**

Une fois les scénarios choisis, reste à déterminer l'exposition aux risques physiques des entreprises que l'on souhaite modéliser. Quelques études vont dans ce sens : (S Dietz, 2016) effectue des projections macro-économiques sur le PIB à travers un modèle DICE, (Blackrock, 2019) se concentre sur certains secteurs ou actifs très spécifiques, enfin (CCR, 2018) évalue le coût potentiel des catastrophes naturelles dans le domaine des assurances. Ces études sont difficilement adaptables à notre problème, à l'heure actuelle aucune recherche disponible publiquement ne permet d'évaluer le risque physique en tant que tel pour une entreprise.

Quoiqu'il en soit, il nous a semblé que la nature si incertaine de cette exposition au risque rendait vaine toute tentative de la quantifier précisément, et qu'une estimation grossière suffirait. Dans cet esprit, nous avons repris la proposition de notre enseignant B. Roger, de regarder la perte de valeur de BP après la catastrophe de Deepwater Horizon. La valeur de l'action BP est passée d'environ 580\$ en moyenne dans les mois de février-

mai 2010 à 410\$ dans les mois de juin-septembre 2010, soit une perte de valeur de 18%. Nous fixons donc à 30% la perte de valeur maximale d'une entreprise face à une catastrophe naturelle, qui sera notre valeur de référence. Selon le scénario et donc la gravité des catastrophes naturelles, nous diminuons cette perte maximale dans le cas des scénarios optimistes.

Nous prenons la probabilité de défaut actuelle des entreprises pour évaluer les  $d_1$  et  $d_2$ , paramètres du modèles de Merton, et nous considérons la valeur de l'entreprise et de la dette constante dans le temps. Enfin, dans l'esprit de (V Bouchet, 2020), nous avons considéré que les risques de transition se manifesterait par un coût carbone, que nous avons évaluée comme le produit des émissions directes des entreprises, retrouvées sur le Carbon Disclosure Project, et la taxe carbone prévue selon le scénario et la période. Lorsque nous considérons les émissions constantes, les résultats de notre modèle donnaient des probabilités de défaut atteignant 1 très rapidement, étant donné l'impact fort des deux risques additionnés. Il nous a alors paru pertinent de considérer une diminution progressive des émissions, en concordance avec le comportement de la majorité des entreprises.

### III. Présentation des résultats :

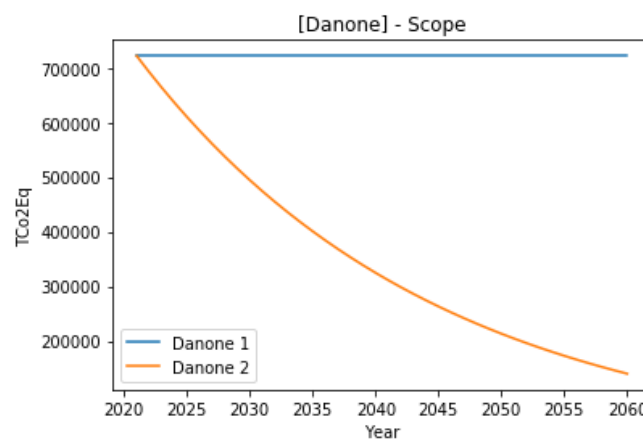
#### a. Le secteur de L'agroalimentaire :

Danone :

Comme nous l'avons évoqué précédemment, nous nous sommes intéressés à la modélisation de l'impact des risques climatiques, à la fois les risques physiques et les risques de transition. Tout d'abord pour Danone, afin d'évaluer le risque de transition, et donc le coût annuel de la taxe carbone, il nous a fallu fixer un scope d'émission carbone en (TCo2eq).

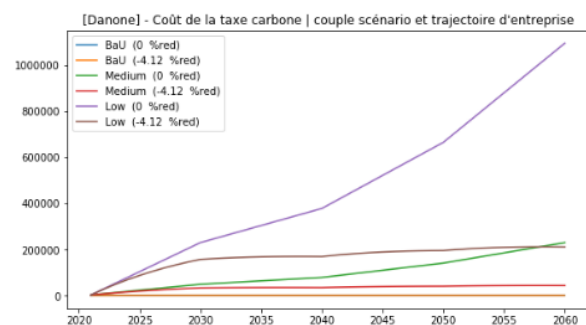
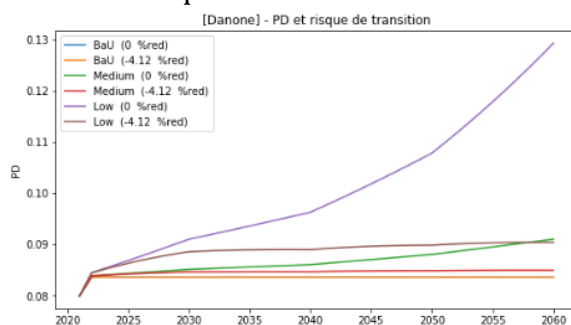
Deux possibilités s'offrent à nous :

Le maintien de l'empreinte carbone à 722kTCo2eq ou bien une diminution annuelle de 4.12% par rapport à ce chiffre (diminution entre 2019 et 2020).

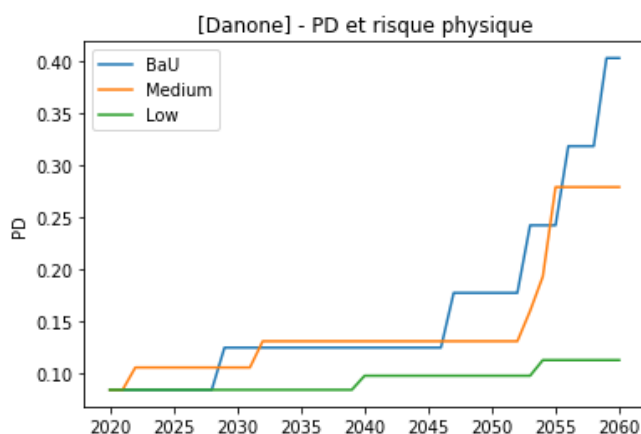


On affiche sur ce graphique l'empreinte carbone de Danone jusqu'à 2060 sur la base des deux scénarios évoqués.

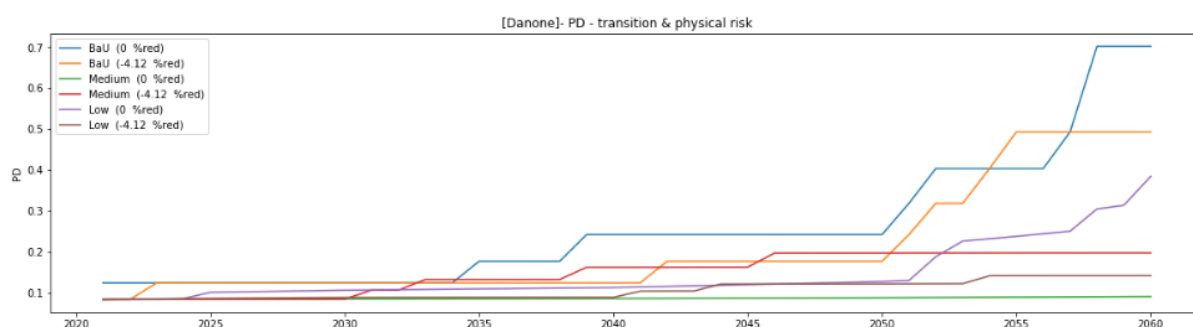
Il nous faut désormais calculer l'impact du risque de transition sur la probabilité de défaut de l'entreprise. Pour chacun des scénarios de taxe carbone (BaU – Business as Usual ; Medium ; Low), et pour les deux trajectoires d'émission de l'entreprise nous avons déterminé la probabilité de défaut.



On observe sur le premier graphique qu'un scénario avec une forte taxe carbone ("Low") et pas de réduction de l'empreinte carbone entraîne une forte augmentation de la probabilité de défaut : pic à 13%. Comme on pouvait s'y attendre, le scénario avec une réduction constante de l'empreinte carbone est plus résilient et augmente la probabilité de défaut de 1% dans le pire des cas.



Une faible taxe carbone dans un scénario BaU se fait au détriment du risque physique qui croît et entraîne une augmentation très importante de la PD sur les dernières années, là où le risque physique est le plus intense.

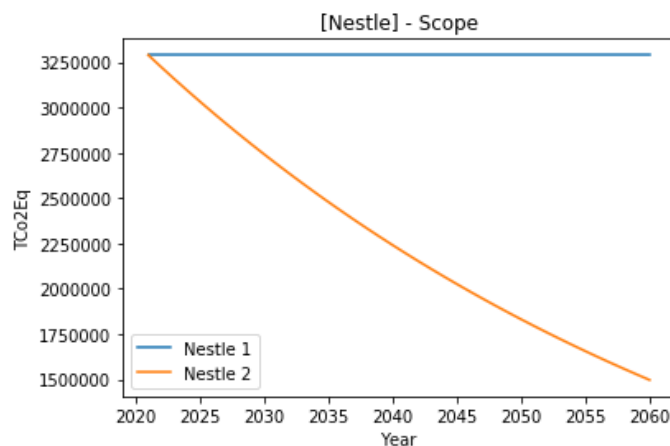


Si l'entreprise ne diminue pas ses émissions carbonees, un risque physique accru va entraîner le défaut de l'entreprise sur les dernières années. Une diminution contrôlée des émissions de Co2 stabilise la probabilité de défaut sur les dernières années. Sur cette simulation, on observe donc que le scénario BaU finit par être très préjudiciable à l'entreprise qui atteint une probabilité de défaut de 0.7. Il est important d'avoir à l'esprit que les résultats varient d'une simulation à l'autre, ce qui est inhérent à la loi de poisson utilisée pour caractériser le modèle et qui influe indirectement sur la valeur de l'actif et donc de la taxe carbone annuelle. Toutefois, la tendance observée sur le graphe précédent est la plus récurrente.

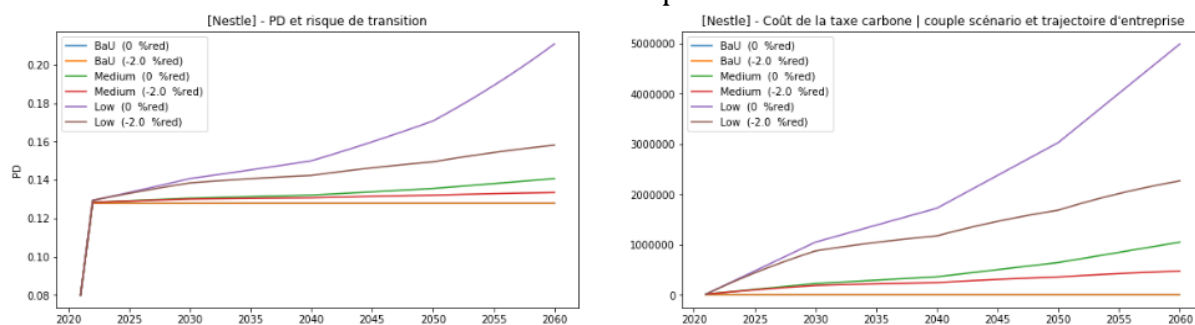
Nestlé :

Nous répétons le même mode opératoire pour Nestlé, avec un scope d'émission supérieur initialement : 3290kTCO2eq et une réduction de 2% des émissions dans le meilleur des cas. Il apparaît en effet que l'effort de réduction des émissions carbonees de Nestlé est moins performant que celui de Danone. Nous pouvons donc anticiper une plus forte exposition aux risques climatiques.

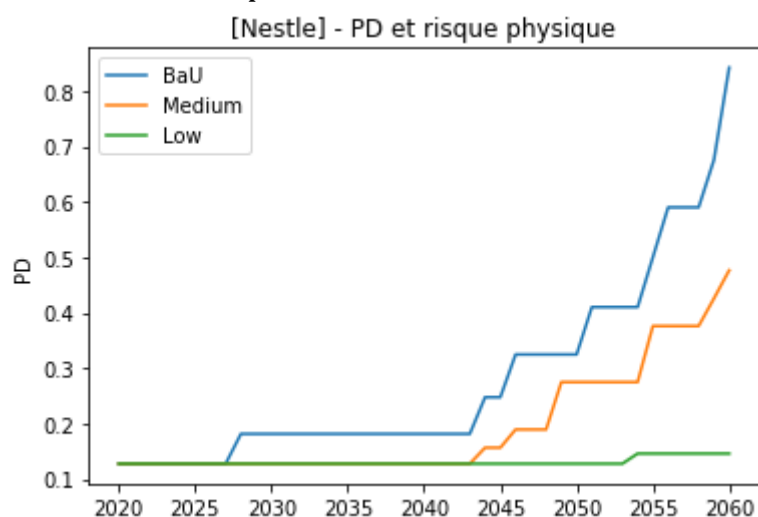
## Évolution des émissions de Nestlé entre 2020 et 2060.



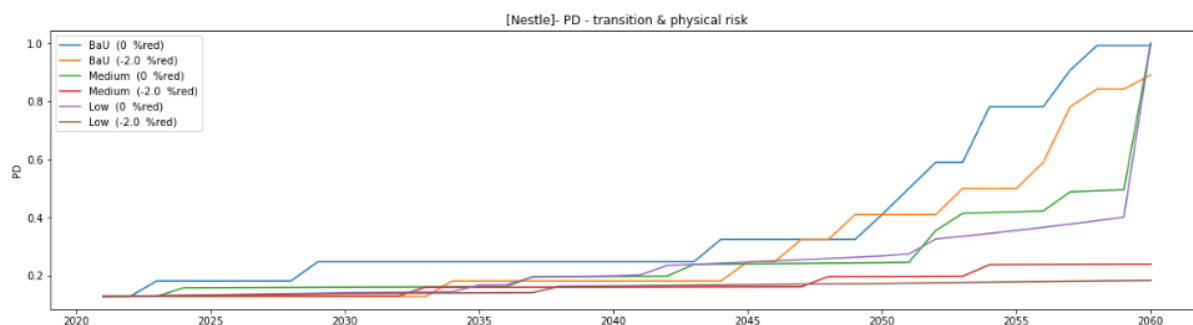
Avec la même méthodologie, on calcule la PD en fonction du couple : scénario de transition - scénario de décarbonation de l'entreprise.



Nestlé ayant une empreinte carbone plus importante que son concurrent Danone, on observe une forte croissance de la PD, avec 20% de probabilité de défaut en 2060 pour le scénario avec la taxe carbone la plus élevée.



Une fois de plus, persévérer sur un scénario BaU entraîne une l'augmentation très forte de la probabilité de défaut sur les dix dernières années.

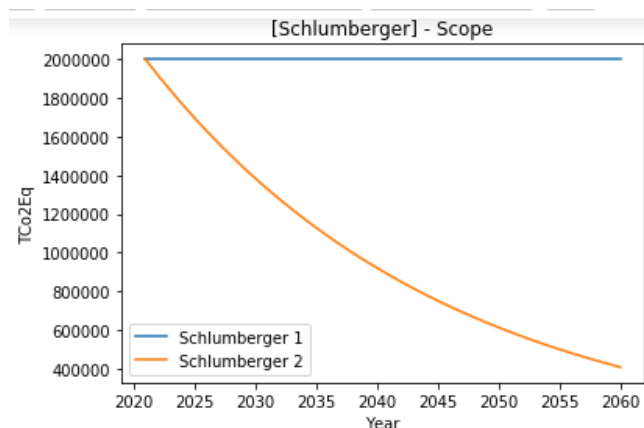


En synthétisant ces deux risques climatiques, Nestlé se retrouve en défaut dans 3 cas sur 6. Et ce à chaque fois que les émissions de Co2 restent constantes au cours du temps. Il apparait clair que la réduction des émissions de Co2 n'est pas suffisante en l'état. Cela conduit à un accroissement global de la probabilité de défaut de Nestlé, qui est donc bien loin du niveau de Danone.

### b. Les énergéticiens :

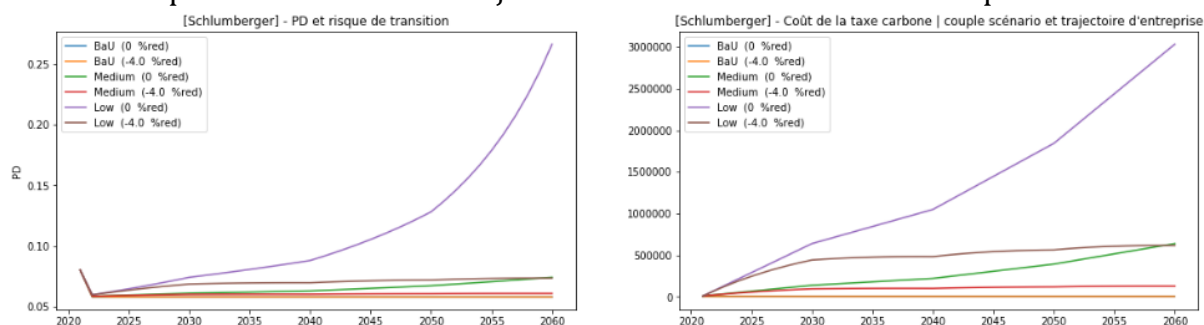
Schlumberger :

Schlumberger est une entreprise parapétrolière, mais aussi productrice de *shale oil* aux Etats-Unis qui émet 2000kTCo2eq par an. Face aux risques liés à son activité, Schlumberger entend réduire ses émissions de 4% par an de 2020 à 2060 afin de diminuer son exposition aux risques climatiques.

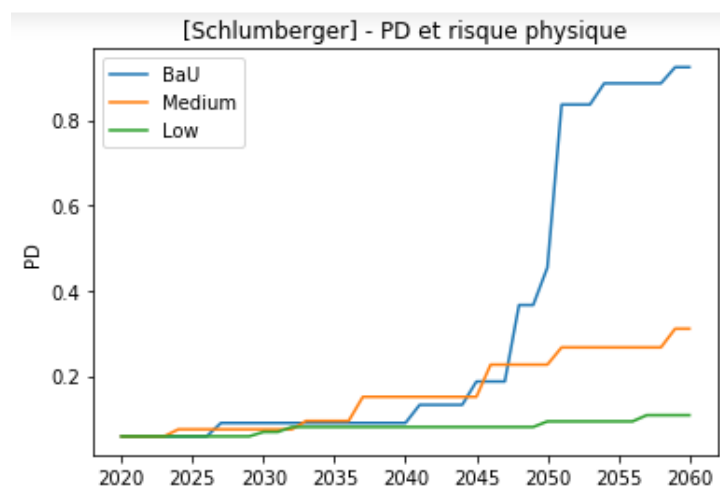


### Evolution des émissions de Schlumberger entre 2020 et 2060

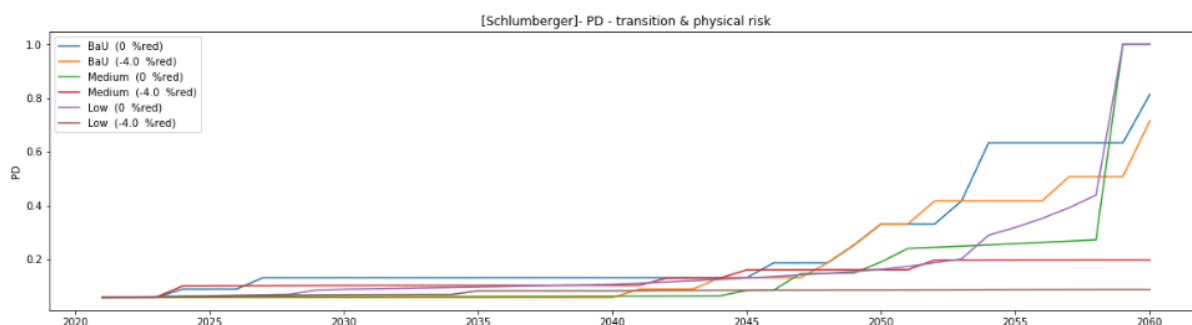
Nous appliquons la même méthodologie que précédemment afin d'évaluer l'exposition de Schlumberger au risque de transition, avec toujours la comparaison entre le couple scénario du prix du carbone et la trajectoire de décarbonation de l'entreprise.



Disposant d'une forte valeur d'entreprise, l'impact du risque de transition pour schlumberger reste minime, sauf dans une trajectoire de non-réduction des émissions avec une forte taxe carbone.



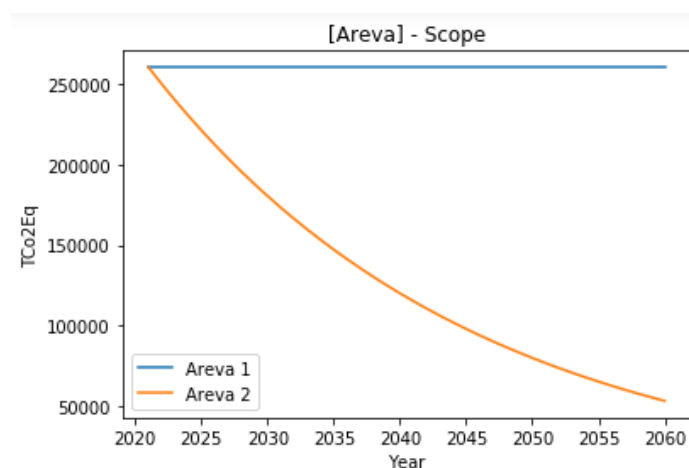
Une fois de plus, suivre un scénario BaU entraîne une forte augmentation de la probabilité de défaut sur les dernières années de notre étude.

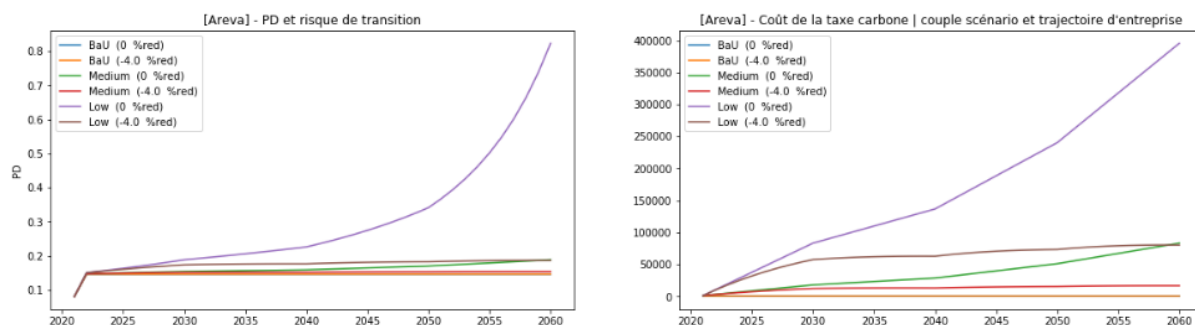


Enfin quand on combine les risques de transitions et les risques physiques, on observe que le principal danger réside dans la capacité de Schlumberger à réduire ses émissions, et c'est bien ici le risque de transition qui semble peser le plus lourd sur la capacité de l'entreprise à faire défaut ou non.

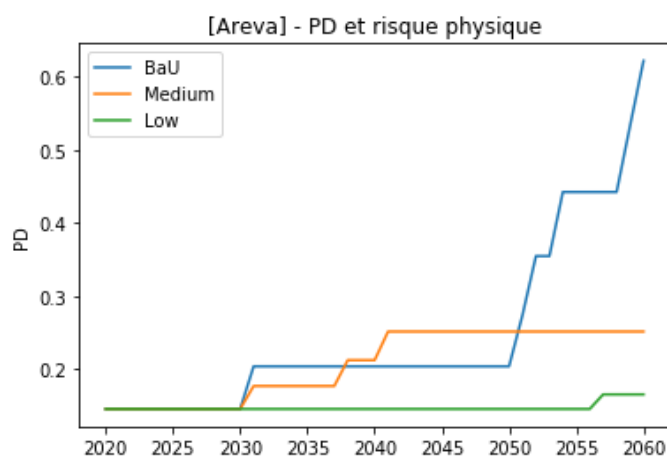
Areva :

Areva (ou Orano) est le leader du nucléaire en France, et possède donc déjà une empreinte carbone faible - 260 687kTCO<sub>2</sub>eq par an. Areva se distingue par un fort engagement sur la réduction de son empreinte carbone avec une baisse annuelle de 4% de ses émissions.

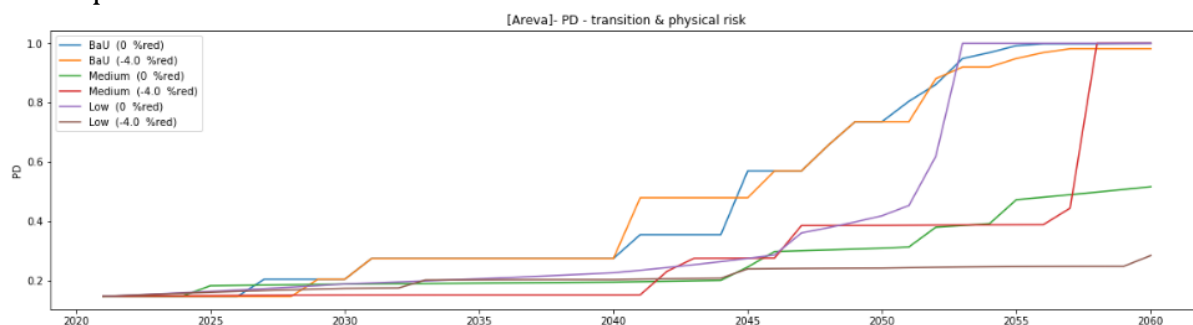




De même, on s'intéresse à l'exposition d'Areva au risque de transition, qui reste assez faible, sauf pour le scénario avec les prix les plus importants et aucune réduction de l'empreinte carbone de Areva.



Concernant le risque physique, un scénario BaU entraîne une forte augmentation de la probabilité de défaut sur les dernières années, mais rien qui entraîne le défaut global de l'entreprise.



L'agrégation des risques de transition et du risque physique amène dans de nombreux cas à un défaut. Il n'est pas possible de tenir l'empreinte carbone de Areva pour seule responsable. Nous pensons que cela est lié aussi à la structure même de l'entreprise qui apparaît comme peu résiliente dans chacune des simulations et des couples scénarios-trajectoire de décarbonation.

Dans l'ensemble, le secteur de l'énergie est très vulnérable face aux risques de transition et aux risques physiques. Avec la convergence de fortes émissions de carbones et d'une structure d'entreprise qui est peu résiliente face aux aléas futurs.



### c. Limites

Les limites de nos résultats tiennent à deux aspects : celles inhérentes au modèle, et celles liées aux paramètres choisis en entrée.

Notre modèle comporte des processus aléatoires, et les résultats en sortie sont donc dépendants du hasard. Il aurait fallu effectuer des milliers d'itérations de notre modèle et calculer les moyennes pour obtenir résultats plus stables. Cette limite reste peu contraignante, et nous aurions pu la lever si le temps ne nous avait pas manqué.

Concernant les paramètres choisis, les limites sont de plusieurs sortes. Nous tenons pour constants le rapport EBITDA sur valeur de l'entreprise, la volatilité et l'exposition aux risques physiques. En réalité ces valeurs sont évidemment appelées à changer au cours du temps. De plus, si les paramètres des scénarios sont relativement ancrés dans la réalité – dans la mesure de ce que le GIEC peut nous en dire – l'exposition au risque physique a été mesurée très grossièrement, et ne saurait représenter la réalité pour chaque entreprise. Ces dernières limites paraissent plus difficiles à lever, et sortent de l'ambition de notre projet.

## Conclusion

Nous avons au cours de ce projet tenté d'incorporer le risque physique à un modèle simple de calcul de la probabilité de défaut d'une entreprise. Partant du postulat que ce risque se caractériserait par l'occurrence épisodique de catastrophes impactant fortement l'appareil productif des entreprises, nous l'avons modélisé par un processus de Poisson diminuant leur valeur dans le modèle de Merton. Ces risques physiques ont été ajoutés aux risques de transition déjà pris en compte dans le travail de (V Bouchet, 2020), que nous avons tenté de recréer. Nous nous étions donné comme but d'étudier l'influence des risques physiques par rapport à l'impact d'une taxe carbone. Une fois les risques physiques incorporés au modèle de Merton, la question a été de déterminer les paramètres pertinents pour cette analyse.

Repartant de la méthode employée par Bouchet et Le Guénédal, nous avons ajouté un paramètre donnant la perte engendrée par une catastrophe naturelle. Cette perte advient de manière probabiliste, tant son amplitude que l'année d'occurrence advenant selon des variables aléatoires. Ainsi les entreprises confrontées aux risques physiques vont voir leur valeur brusquement diminuer lorsque les catastrophes ont lieu. Cette diminution se répercutera sur leur probabilité de défaut, suivant le modèle de Merton.

Afin de centrer notre discussion sur des valeurs empiriques cohérentes, nous avons recherché dans la littérature des estimations des paramètres qui nous intéressent. Les scénarios du GIEC nous ont permis de poser différentes hypothèses d'évolution des taxes carbones, ainsi que des fréquences et des amplitudes des catastrophes naturelles. Pour celles-ci, nous avons choisi de nous concentrer sur les risques de sécheresse, phénomène à la fois le plus documenté et pour lequel la majorité des entreprises sont concernées. Nous avons par ailleurs choisi des entreprises des secteurs de l'agroalimentaire et de l'énergie, qui sont les plus directement exposés aux risques climatiques. Nous avons sélectionné pour chacun deux entreprises relativement différentes mais représentantes de leurs secteurs.

Nous arrivons à deux résultats principaux : 1) le choix du scénario, et donc les paramètres en découlant est le premier facteur d'influence de la probabilité de défaut. Par exemple, dans un monde où l'effort pour le climat est organisé, et les taxes carbones importantes, les risques physiques sont faibles mais les entreprises n'ayant pas diminué leurs émissions font presque certainement défaut. 2) Les risques physiques ont un impact à long terme, tandis que les risques de transition ont un impact à court terme. En effet notre modèle ne prend pas en compte la réaction des entreprises suite aux catastrophes, et nous supposons que les pertes de valeurs engendrées ne sont pas récupérées. Ainsi ces pertes se cumulent, entraînant presque certainement le défaut dans les scénarios où ces catastrophes ont lieu avec une fréquence élevée.

Si ce projet n'avait pas vocation à modéliser la réalité, les résultats que nous présentons restent pertinents. Nos paramètres ne sont pas hors de propos, et ils permettent donc de donner une idée – même approximative – des impacts relatifs des risques physiques et de transition. Par ailleurs, nous avons pu soulever au cours de ce travail les possibilités et les limites de la prise en compte du risque climatique. Il apparaît crucial de continuer l'effort de compréhension et de modélisation du problème afin de mieux s'en prémunir, et en passant de sauvegarder notre environnement.

## Travaux cités

- Battiston, S. M. (2017). A climate stress-test of the financial system. *Nature Climate Change*, 283–288.
- Blackrock. (2019, Avril 4). *Getting physical: assessing climate risks*. Récupéré sur Blackrock: <https://www.blackrock.com/us/individual/insights/blackrock-investment-institute/physical-climate-risks>
- CCR. (2018). *Conséquences du changement climatique sur le coût des catastrophes naturelles en France à horizon 2050*.
- GIEC. (2012). Rapport spécial sur la gestion des risques de catastrophes et de phénomènes extrêmes pour les besoins de l'adaptation au changement climatique.
- IAMC. (2019, Aout 8). *IAMC 1.5°C Scenario Explorer hosted by IIASA*. Récupéré sur IIASA: <https://data.ene.iiasa.ac.at/iamc-1.5c-explorer/#/login>
- N-C Lau, M. J. (2012). A Model Study of Heat Waves over North America: Meteorological Aspects and Projections for the Twenty-First Century. *Journal of Climate*, 4761–4784.
- S Dietz, A. B. (2016). 'Climate value at risk' of global financial assets. *Nature Climate Change*, 676-679.
- V Bouchet, T. L. (2020). Credit Risk Sensitivity to Carbon Price.