Institutional Repository - Research Portal
Dépôt Institutionnel - Portail de la Recherche
researchportal.unamur.be
University of Namur

THESIS / THÈSE

MASTER EN SCIENCES DE GESTION À FINALITÉ DIDACTIQUE

L'évolution du système d'échange de quotas d'émission de l'Union Européenne et son impact sur les émissions de carbone et la valorisation boursière

Marechal, Esteban

Award date:
2019

Awarding institution:
Universite de Namur

Link to publication

General rights
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy
If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Download date: 19. Apr. 2024

L’évolution du système d’échange de quotas d’émission de l’Union Européenne et son impact sur les émissions de carbone et la valorisation boursière.

Esteban MARECHAL

Directeur: Prof. S. BEREAU

Mémoire présenté
en vue de l'obtention du titre de
Master 120 en Sciences de gestion,
à finalité didactique

ANNEE ACADEMIQUE 2018-2019

Université de Namur, ASBL
Faculté des Sciences économiques, sociales et de gestion – Département des Sciences de gestion

Rempart de la Vierge 8, B-5000 Namur, Belgique, Tel. +32 [0]81 72 48 41/49 58, Fax +32 [0]81 72 48 40

Au terme de ce mémoire, je souhaite remercier ma promotrice, Madame Sophie Béreau, pour ses conseils lors de la formalisation de la problématique.

Ma reconnaissance s'adresse également à ma famille pour leur soutien inconditionnel et leur générosité tout au long de mes études.

Table des matières

Résumé de la recherche **3**
Introduction **4**

PARTIE I : **6**

Cadre légal et revue de la littérature **6**
1. Le système européen d'échange de quotas de CO2 7
1.1. Phase I : 2005-2007 7
1.2. Phase II : 2008-2012 8
1.3. Phase III : 2013-2020 11
1.4. Phase IV 2021-2030 15
2. L'impact sur le profit et la valorisation boursière 16
2.1. L'impact du système EU ETS sur la structure de coûts des entreprises 16
2.2. Les bénéfices générés par les allocations gratuites (phase 1 et 2) 16
2.3. L'impact d'un système de mise aux enchères (phase 3) sur les profits 17
2.4. L'impact du système selon le degré de durabilité des entreprises 18
2.5. L'impact des négociations climatiques 19
3. L'impact de l'EU ETS sur les émissions de carbone 23
3.1 Préalable 23
3.2. Principe du pollueur-payeur et l'EU ETS 23
3.3. Les investissements économiseurs d'énergie dans un contexte de volatilité des prix du carbone 24
3.4. L'impact de la crise économique sur la réduction des émissions 26
4. Les déterminants du prix du carbone 27
Conclusion de la partie I 30

PARTIE II : **31**

Etude empirique **31**
La question de recherche 32
Les hypothèses de travail 32
Etape 1 : Analyse du cours du prix du carbone 33
Etape 2 : Modélisation du processus suivi par les prix du carbone 35
Etape 3 : Analyse de l'influence du prix du carbone sur des indices boursiers européens 39
Etape 4 : Analyse globale des rendements du carbone, des entreprises vertes et polluantes 44
Etape 5 : Analyse de l'influence du prix du carbone sur les portefeuilles d'entreprises vertes et polluantes 49
Etape 6 : Test de causalité au sens de Granger sur les portefeuilles 50
Interprétation de la partie empirique **51**
Limites de l'analyse **52**
Conclusion générale **53**
Bibliographie **55**
Annexe 1 : AR, CAR et p-value des indices du groupe 1 (CAC40, BEL 20 et AEX) 59
Annexe 2 : AR, CAR et p-value des indices du groupe 2 (DAX et FTSE100) 62
Annexe 3 : AR, CAR et p-value des indices du groupe 3 (Italy et IBEX35) 64
Annexe 4 : Description du sous-échantillon d'entreprises « brown » 66
Annexe 5 : Description du sous-échantillon d'entreprises « green » 68

Résumé de la recherche

Le système d'échange de quotas de CO2 de l'Union Européenne (EU ETS) a fait l'objet d'une modification majeure en 2013 visant à mettre en place une mise aux enchères des droits d'émission sur base de critères harmonisés pour tous les Etats membres ainsi qu'un système de report des quotas débutant en 2014. Cette troisième mouture limite les attributions de quotas gratuits afin de mettre en œuvre le principe du pollueur-payeur. Ce mémoire vise à étudier l'impact de cette réforme sur la valorisation boursière de la tonne de carbone et celle des entreprises en fonction de leurs émissions. Pour ce faire, deux échantillons d'entreprises européennes cotées, classées comme vertes ou polluantes selon Corporate Knights ont été analysés. Nous avons constaté :

- Un rendement plus important des entreprises vertes par rapport aux entreprises polluantes moyennant un risque plus élevé ;
- Un lien de causalité modéré au sens de Granger entre les prix du carbone et les indices boursiers nord européens principaux, associé à une faible corrélation mais significative
- Aucun lien significatif entre les prix du carbone et le rendement des entreprises cotées.

Introduction

Les changements climatiques sont devenus une préoccupation majeure et admise dans l'opinion publique. Pour la première fois, la définition du développement durable a été formulée dans le rapport Brundtland : « Le développement soutenable est celui qui répond aux besoins présents sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs » (Organisation des Nations Unies, 1987). Ce sujet est omniprésent dans l'actualité comme en attestent les manifestations pour le climat se déroulant durant le premier semestre de 2019.

Selon le dernier rapport du GIEC, l'objectif à atteindre serait de limiter le réchauffement climatique à 1,5 degré d'ici 2100 par rapport à l'ère préindustrielle. Or, si la tendance actuelle se poursuit, ce seuil critique pourrait déjà être atteint en 2030. Il y aurait lieu de s'attendre à une hausse de plus de 4 degrés à la fin du siècle. Derrière ces moyennes se jouent des conséquences multiples sur la migration climatique, l'économie, les risques de pauvreté, les phénomènes météorologiques, la biodiversité (Thunis & de Callataÿ, 2018).

Bien que les attentes portent sur l'inscription dans la Constitution Belge du risque climatique, les enjeux sont mondiaux. La Chine et les Etats-Unis représentent à eux seuls 43 % des émissions mondiales. En Europe, c'est la Commission qui se charge de la conduite de la politique environnementale. On peut noter que les programmes d'action communautaire (PAC) n'ont pas une force obligatoire mais orientent la politique. Déjà, dès 1982, dans 3^{e} PAC il est fait mention de l'importance des technologies propres. En 1987, le 4^{e} PAC évoque la nécessité de mettre en place des outils économiques en vue de responsabiliser les dommages causés à l'environnement. Le 5^{e} PAC de 1993 définit explicitement la notion d'internalisation des coûts écologiques (Thunis, 2009). A long terme, la commission vise une réduction de 70 % des émissions de gaz à effet de serre par rapport à 1990 (sixième PAC, 2001).

Le système européen d'échange de quotas de CO2 (European Union Emissions Trading Scheme ou EU ETS) a été introduit en 2005 par la Commission Européenne. Ce système d'échange est le plus important en nombre au monde (Ellermann & Buchner, 2008). Il limite les émissions de carbone de plus de 12000 sites d'exploitation et compagnies aériennes (De Perthuis & Trotignon, 2014). Ce système règlemente 45 % des émissions gaz à effet de serre des pays participants. L'ensemble des 28 pays membres de l'Union ainsi que la Norvège, le Lichtenstein et l'Islande sont visés par cette règlementation (Commission européenne[1]).

Le mode de fonctionnement repose sur un système de plafonnement et d'échange (cap-and-trade). Autrement dit, chaque installation ou site d'exploitation se voit attribuer un nombre de quotas, c'est-à-dire un droit de polluer, d'émettre du CO2. Pour le 30 avril qui suit la période de référence, l'installation doit restituer un nombre de quotas équivalent à ses émissions effectives. Cela implique donc l'existence d'un marché secondaire sur lequel les exploitants en surplus et en déficit de quotas se rencontrent et fixent un prix. (directive 2003/87/CE, art 12)

Cette étude s'inscrit dans le cadre de l'impact de la troisième mouture du système EU ETS mise en place en 2013 sur la valorisation du carbone sur le marché secondaire. Le but recherché étant d'évaluer l'impact des fluctuations du CO2 sur la valorisation boursière des entreprises en fonction de leur intensité carbone. Il s'agira de déterminer si la rentabilité des entreprises vertes peut être attractive pour les investisseurs. Autrement dit, évaluer dans quelle mesure le

[1] **https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_fr**, consulté le 26 mars 2019

développement durable des entreprises assujetties à la législation carbone européenne se traduit par de la rentabilité boursière.

Dans un premier temps, les étapes clés du cadre légal EU ETS seront développées. Ensuite, il s'agira de synthétiser les travaux préexistants sur l'impact du système sur le profit et la valorisation boursière au regard de leurs émissions. Un état de la littérature sur les déterminants du prix du carbone permettra de baliser les limites de la recherche.

La partie empirique sera une analyse du cours de la tonne de carbone sur les 10 dernières années et les liens de causalité que l'on peut observer sur les indices boursiers européens. Enfin, une dernière étape sera de capturer l'effet potentiel des variations du carbone sur des sociétés cotées sur base de deux sous-échantillons. L'un constitué d'entreprises dites durables et l'autre, d'entreprises polluantes sur base du classement Clean 200 repris par Bloomberg.

PARTIE I :

Cadre légal et revue de la littérature

1. Le système européen d'échange de quotas de CO2

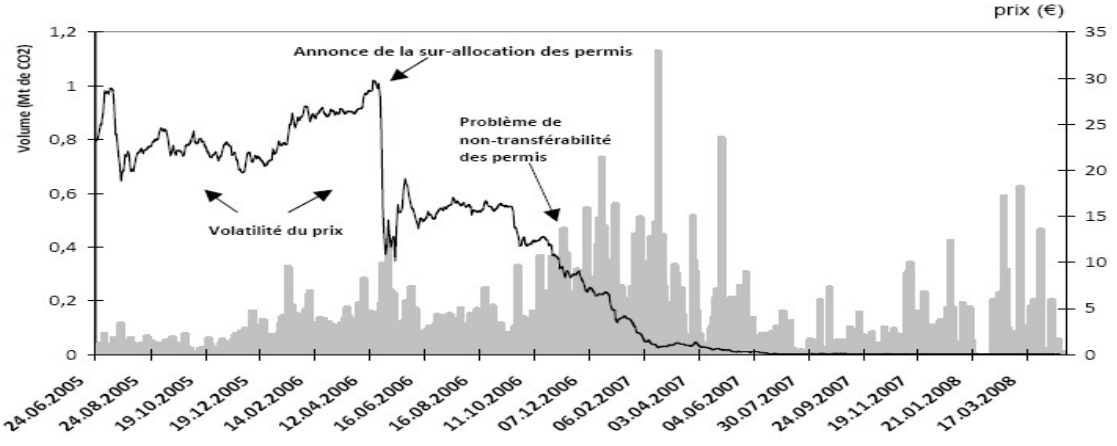
1.1. Phase I : 2005-2007

La première phase du système EU ETS s'apparente à une période de test pendant laquelle les plafonds de pollution étaient déterminés dans un Plan National d'Allocation (PNA). Chaque Etat membre était tenu de présenter pour approbation à la Commission un PNA détaillant le nombre de quotas qu'il prévoit d'attribuer pour la période de 3 ans aux installations présentes sur son territoire (directive 2003/87/CE, art 9).

La directive précisait que ces attributions devaient se faire sur base de critères objectifs et transparents. En pratique, le volume attribué par les Etats membres à chaque installation dépendait principalement des émissions passées (Convery, De Perthuis, Ellermann, 2008). Cette pratique est communément dénommée par les auteurs « grandfathering » et peut aboutir à favoriser certains secteurs d'activités, certaines entreprises en particulier. *« Le grandfathering commande à l'État de déterminer lui-même quels sont les besoins des entreprises (en prenant en considération leurs émissions historiques) tout en tenant compte des efforts de réduction qu'elles doivent assumer. Dans cette optique, l'État doit calculer au plus près combien de quotas seront alloués aux entreprises, ce qui induit nécessairement un lobbying intense auprès des pouvoirs publics mais également des arbitrages entre les secteurs d'activités soumis à la directive » (*Cheneviere, 2009).

Les secteurs visés par cette législation étaient initialement : « *les secteurs de l'électricité, du coke, de la sidérurgie, de l'acier, du ciment, du verre, des briques, des tuiles, de la raffinerie, du papier et de la pulpe, ainsi que d'autres industries, dont les installations de combustion d'une capacité supérieure à 20MW* » (Venmans, 2011).

Les quotas attribués en phase 1 ne pouvaient pas être reportés en phase 2 (directive 2003/87/CE, art 13**)**, ils perdaient donc toute valeur sur le marché secondaire à l'approche de l'échéance. C'est ainsi que le prix de la tonne de carbone a chuté de 29,20 € le 24 avril 2007 à 0,08 € fin 2007. Cette chute serait due à une surallocation de quotas par les Etats membres. La Belgique a attribué à ses entreprises 179 Mt d'allocations de Co2 alors qu'elles n'en ont consommé que 163 Mt (Venmans 2011).



Source : Laurent & Le Cacheux (2009)

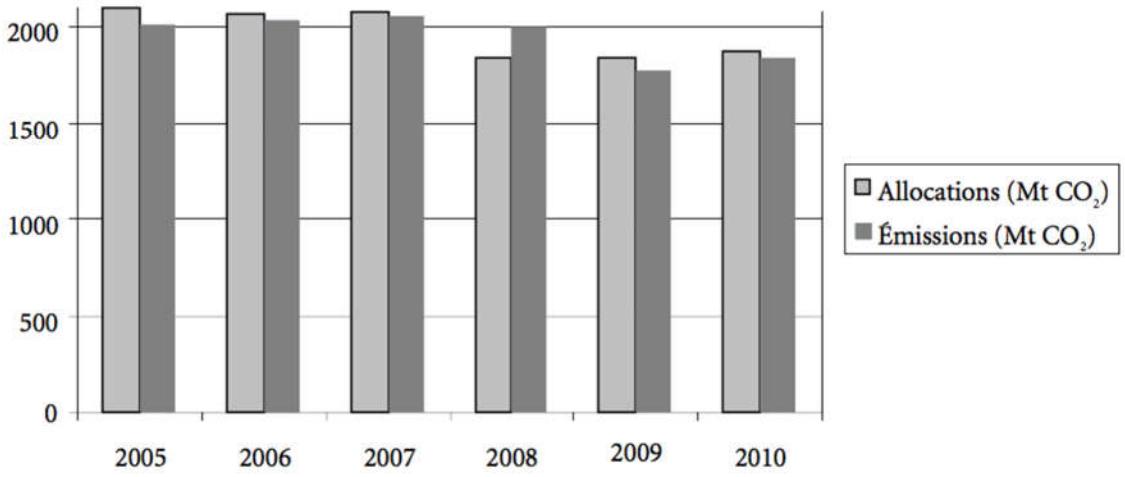
Il est important de préciser que durant cette première phase, les quotas attribués selon la méthode du « grandfathering » par les Etats l'étaient à titre gratuit. Les plans nationaux de chaque Etat membre devaient être avalisés par la Commission Européenne, cela aurait peut-être poussé les gouvernements nationaux à surestimer leurs demandes anticipant une attribution à la baisse.

1.2. Phase II : 2008-2012

Cette phase correspond à la mise en œuvre des engagements du protocole de Kyoto. Les Etats signataires se sont engagés à réduire leur émission d'au moins 5% sur la période 2008-2012 en prenant pour référence les émissions de l'année 1990 (protocole de Kyoto, art. 3). La commission a quant à elle fixé pour ses Etats membres une réduction plus ambitieuse de 8% pour 2012 (sixième PAC, 2001**).**

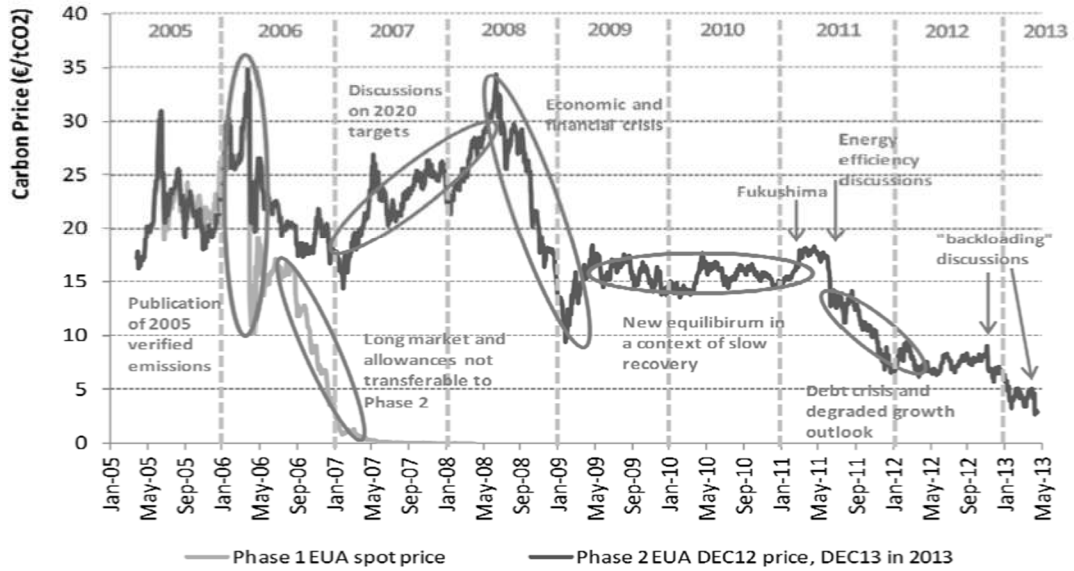
La Commission Européenne a imposé une réduction des quotas compte tenu des 3 premières années de surallocation de quotas par les Etats membres. Les plans nationaux soumis par les Etats ont donné lieu à des révisions de sorte que les allocations accordées en seconde période ont été 6,5 % inférieur à celles de la période de test. La directive autorise également aussi le report des quotas non utilisés de la 2e à la 3e phase afin d'éviter le scénario de l'année 2007. En outre le secteur aérien a été ajouté à la liste des activités assujetties à la législation carbone.

Graphique 3. Allocations et émissions vérifiées pour 2005-2009 pour l'ensemble des secteurs SQECE dans l'UE 25



Source : Venmans (2011)

Figure 2 – Observed EUA price since 2005

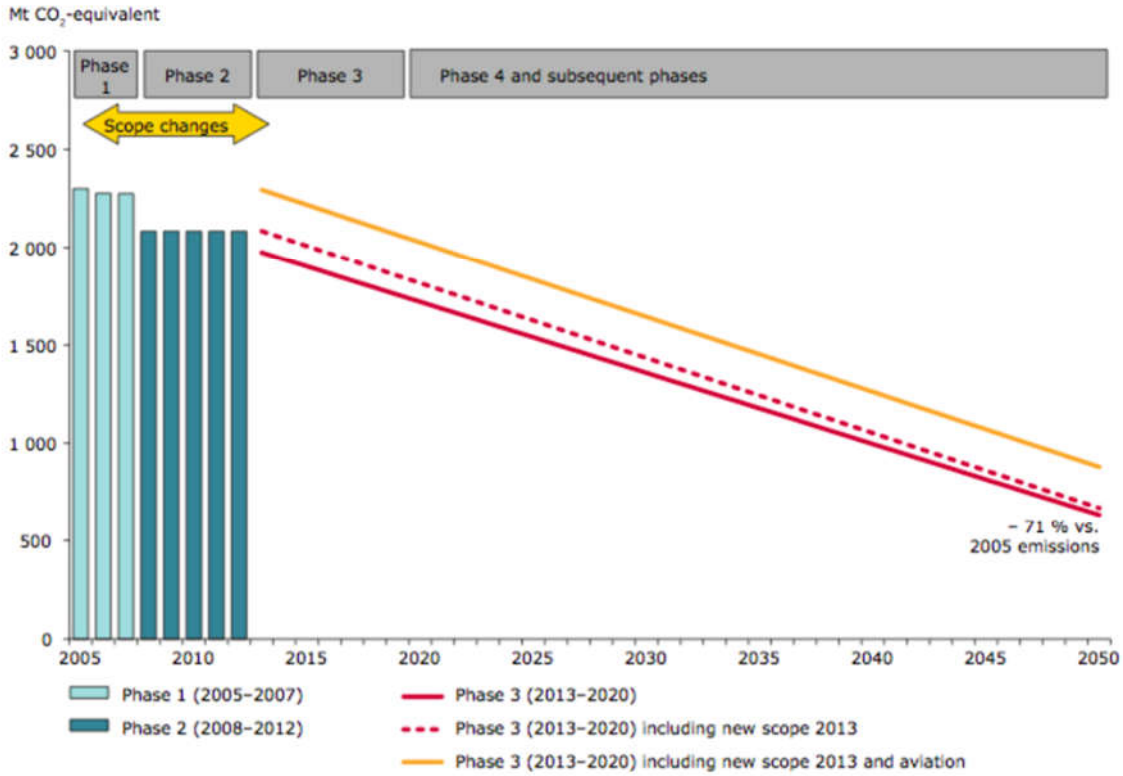


Source : De Perthuis & Trotignon (2014)

De Perthuis & Trotignon (2014) soulignent certaines faiblesses du système et de la possibilité de revendre sur un marché secondaire des quotas reçus gratuitement. Ils remettent en cause la formation du prix du carbone et expliquent son instabilité par 3 arguments. Premièrement, la crise financière de 2008 a eu une influence négative sur la production qui s'est traduite par une réduction d'environ 10 % voire même plus dans le secteur du ciment et de l'acier. Cela a entrainé une chute de la valorisation de la tonne de CO2. Il en a été de même pour la crise de la dette qui en a résulté et les perspectives de croissance économique faibles de l'année 2011. Deuxièmement, les incertitudes concernant le système international de Kyoto ont encouragé les entreprises à recourir massivement aux compensations carbones volontaires sur une courte période. La Commission Européenne (2015) donne dans son manuel quelques précisions sur ce système. Il s'agit en pratique de la possibilité pour l'entreprise d'investir dans des projets extérieurs à son activité permettant un développement durable. Le troisième argument des auteurs est l'incohérence entre le système EU ETS et les autres politiques énergétiques et climatiques qui peuvent avoir un impact sur le prix du carbone. C'est ainsi qu'une décision unilatérale d'un pays en faveur ou en défaveur de la réduction d'émissions de CO2 peut avoir un impact sur les prix supportés par l'ensemble des installations européennes assujetties au système.

Sur la figure précédente**,** les auteurs expliquent la hausse du prix de la tonne de carbone entre 2007 et 2008 par les négociations sur l'objectif à atteindre en 2020. Cela a abouti en janvier 2008 à la fixation de l'objectif 20-20-20. Il s'agit pour l'année 2020 de réduire de 20 % les émissions de gaz à effet de serre par rapport à la situation de 1990. En outre l'objectif est d'atteindre au niveau européen une part de 20 % d'énergies renouvelables et d'améliorer l'efficacité énergétique de 20 % par une baisse de la consommation et une amélioration des investissements verts (Commission européenne, 2008).

Comme indiqué, ci-dessous, les émissions devraient être réduites de 71 % à l'horizon 2050 en comparaison avec l'année de mise en œuvre du système en 2005. Comme on peut le constater, pour atteindre cet objectif, la réduction devra être beaucoup plus drastique qu'actuellement.



Source: Agence de l'environnement européenne (2013)

On peut en conclure que la seconde phase du système s'apparentait davantage au prolongement de la phase de test. Le point commun entre les 2 premières phases de système EU ETS est l'allocation gratuite (grandfathering) de quotas aux installations sur base de leurs émissions historiques. Ces quotas pouvaient ensuite être échangés entre les participants sur un marché secondaire. Dans cette configuration, ce système ne s'apparentait pas à proprement parler à une taxe carbone dans la mesure où cela n'engendre pas de recettes fiscales mais des échanges financiers entre les installations déficitaires et en surplus de quotas.

1.3. Phase III : 2013-2020

Dès le 1er janvier 2013, de nombreux secteurs d'activité sont nouvellement soumis à la législation. Il s'agit des secteurs de la pétrochimie, de l'ammoniac et de l'aluminium. Les secteurs de la construction et du transport ne sont pas pris en considération bien qu'ils soient générateurs d'une part non négligeable des émissions de CO2 (EurActiv, 2011).

La Commission a tiré les conclusions des limites des plans d'allocation nationaux décidés par les Etats membres et ayant mené inévitablement à des règles internes différentes avec le risque de favoriser certains secteurs ainsi que de créer une certaine complexité et opacité. Selon Ahman & Holmgren (2006), les divergences dans les mécanismes d'attribution de quotas ont un effet sur les décisions d'investissement, ce qui induit un risque de distorsion de la concurrence.

Le mécanisme de mise aux enchères

Dans cette 3e phase, un mécanisme de mise aux enchères des quotas est mis en place. Cela devrait mettre fin aux bénéfices anormaux dont ont bénéficié les entreprises les plus polluantes par le biais de quantités massives de quotas gratuits attribués par les Etats sous l'impulsion des lobbys (Grubb, 2006). La mise aux enchères de quotas d'émission est une manière plus simple et aussi plus efficiente d'un point de vue économique dans la mesure où les quotas sont attribués de manière centralisée (directive 2009/29/CE, considération n°15).

Cette phase vise également à restaurer l'équité entre les acteurs existants et les nouveaux entrants qui ont la possibilité de se procurer eux-mêmes des quotas mis aux enchère sans devoir attendre le prochain plan d'attribution de quotas. Pour ce faire, la directive prévoit que 5% des émissions de la période 2013-2020 sont mis en réserve à destination des nouvelles installations. Les quotas résiduels en fin de période seront mis aux enchères par les Etats membres.

La Commission fixe la quantité attribuée à chaque pays conformément à la directive en lieu et place des PNA :
« 2. La quantité totale de quotas que les États membres mettent aux enchères se ventile comme suit:
a) 88 % de la quantité totale des quotas à mettre aux enchères sont répartis entre les États membres en parts identiques à la part des émissions de l'État membre concerné vérifiées dans le cadre du système communautaire en 2005, ou à la moyenne de l'État membre concerné pour la période 2005-2007, le montant le plus élevé étant retenu;
b) 10 % de la quantité totale des quotas à mettre aux enchères sont répartis entre certains États membres aux fins de la solidarité et de la croissance dans la Communauté, augmentant ainsi la quantité de quotas que ces États membres mettent aux enchères conformément au point a) selon les pourcentages précisés à l'annexe II bis; et
c) 2 % de la quantité totale des quotas à mettre aux enchères sont répartis entre les États membres dont les émissions de gaz à effet de serre, en 2005, étaient d'au moins 20 % inférieures aux niveaux de leurs émissions de l'année de référence qui leur sont applicables en vertu du protocole de Kyoto. La répartition de ce pourcentage entre les États membres concernés est indiquée à l'annexe II ter. » (directive N° 2009/87/CE, art. 10 §2)

La répartition entre les pays s'apparente à la méthode du « grandfathering » dans la mesure où 88 % des quotas sont attribués sur la base des émissions historiques du pays à la différence que ceux-ci seront attribués aux entreprises à titre onéreux. Ce qui fait dire à certains auteurs que le

système pénalise l'économie des Etats membres qui ont été pionniers dans la mise en œuvre des objectifs climatiques au bénéfice des Etats qui se contentent d'une mise en conformité avec la législation.

La directive précise aussi que les Etats devront justifier de l'affectation de 50 % des recettes générées par les enchères dans le financement d'une économie plus verte. Une liste de postes de dépenses est limitativement prévue par la Commission à savoir : l'efficacité énergétique, les énergies renouvelables, les mesures visant à lutter contre la déforestation, le financement de la recherche en matière de technologies propres, le financement des frais de fonctionnement occasionnés par le système EU ETS aux Etats membres (op. cit., art. 10 §2).

En principe, chaque Etat met en place son système de mise aux enchères mais en pratique, la désignation d'une plateforme d'échanges est également possible. Une infrastructure commune a toutefois l'avantage de prévenir les distorsions de concurrence. Une telle approche permet une efficacité optimale du système, assure le respect des conditions et permet une plus grande transparence. Si chaque Etat devait mettre en œuvre sa propre plateforme, cela génèrerait des charges administratives inévitables. C'est ainsi que pour une période de 3 ans, Energy Exchange a été désigné comme plateforme communautaire (Ec.Europa, 2012).

- **Maintien du système d'allocations gratuites à des secteurs restreints**

Une part décroissante de quotas continue d'être attribuée sans contrepartie à certains secteurs. La Commission justifie cette gratuité par la nécessité d'éviter les délocalisations de certaines installations et de protéger les secteurs soumis à une concurrence internationale. C'est ce que la Commission appelle les fuites de carbone. Sur l'ensemble de la 3e période, 43 % des quotas seront attribués à titre gratuit, le reste étant mis aux enchères. Par exemple, les compagnies aériennes vont recevoir la totalité de leurs quotas gratuitement (op. cit.).

Certains secteurs les plus soumis à ces risques de fuite de carbone perçoivent la quasi-totalité de leurs quotas gratuitement, notamment les secteurs du ciment, du papier et de l'aluminium

Pour déterminer le nombre de quotas gratuits, les Etats doivent privilégier l'application d'un benchmark. Ces balises définies par des décisions de l'UE permettent de prévenir un risque de surallocation tel que dans les 2 premières phases.

Voici un exemple concret élaboré intégralement par le Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique (CITEPA).

Exemple* : *Installation produisant des tuiles

On considère ici une installation fictive produisant des tuiles en terre cuite. Ci-dessous, un extrait de l'Annexe 1 de la Décision 2011/278/UE du 27 avril 2011 :

Référentiel de produit	Définition des produits inclus	Définition des procédés et émissions inclus (limites du système)	Exposition au risque de fuite de carbone conformément à la décision 2010/2/UE pour les années 2013 et 2014	Valeur du référentiel (quotas/tonne)
Tuiles	Tuiles en terre cuite telles que définies dans la norme EN 1304:2005, excepté les tuiles «bleu fumé» et les accessoires.	Sont inclus tous les procédés directement ou indirectement liés aux procédés de production: préparation des matières premières, mélange des composants, mise en forme des produits, séchage des produits, cuisson des produits, finition des produits et épuration des gaz de combustion.	non	0,144

Figure 1 : Extrait de l'annexe 1 de la Décision 2011/278/UE du 27 avril 2011

Le référentiel « Tuiles » s'applique aux tuiles en terre cuite telles que définies dans la norme EN 1304:2005, excepté les tuiles « bleu fumé » et les accessoires.

La sous-installation comprend « *tous les procédés directement ou indirectement liés aux procédés de production : préparation des matières premières, mélange des composants, mise en forme des produits, séchage des produits, cuisson des produits, finition des produits et épuration des gaz de combustion* ». La valeur retenue pour le référentiel est :

$$BM_{tuiles} = 0{,}144 \text{ quotas/tonnes de tuiles produites}$$

Attention ! L'exposition au risque de fuite de carbone a été actualisée avec la Décision du 27 octobre 2014. Cette caractéristique doit ainsi être récupérée directement dans la liste établie par la Décision du 27 octobre 2014.

Source : CITEPA, (2016)

La directive prévoit également des facteurs réducteurs dégressifs à appliquer au référentiel pour baliser la détermination de quotas gratuits. En fonction des cas un seul ou plusieurs de ces facteurs seront appliqués.

- CLEF (Cabone Leakage Exposure Factor) : Afin de réduire graduellement les quotas gratuits en tenant compte des catégories qui subissent une forte concurrence
- LRF (Linear Reduction Factor) : L'article 9 de la Directive introduit à partir de cette troisième phase, un facteur linéaire d'abattement visant l'atteinte des objectifs européens. Les attributions annuelles de quotas de l'ensemble des secteurs sont réduites de 1,74% par an.

On constate que le secteur de l'aviation est considéré comme exposé à la concurrence. Il est ainsi favorisé dans les attributions et ne subit pas la décote « CLEF ».

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
CLEF - secteurs non exposés	0,8000	0,7286	0,6571	0,5857	0,5143	0,4429	0,3714	0,3000
CLEF - secteurs exposés	1	1	1	1	1	1	1	1
CLEF - aviation	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
LRF	1,0000	0,9826	0,9652	0,9478	0,9304	0,9130	0,8956	0,8782

Source : CITEPA (2016)

Report de la mise aux enchères d'une partie des quotas (backloading)

Afin d'éviter le scénario de surallocation de quotas, la Commission a décidé en 2014 de réduire le volume de quotas de CO2 mis aux enchères sur la période 2014-2016 pour les reporter à 2019-2020.

Le but voulu est de redresser à court terme le prix de la tonne de CO2. Cependant, cette intervention unilatérale de la Commission pourrait avoir l'effet inverse en décrédibilisant la sécurité juridique du système. En effet, les entreprises sont moins incitées à effectuer des investissements sur le long terme dans la mesure où ce type de modification affecte la prévisibilité du marché des quotas (règlement 1031/2010).

«*ANNEXE IV*

Ajustements des volumes de quotas (en millions) à mettre aux enchères pour la période 2013-2020 visés à l'article 10, paragraphe 2

Année	Volume de la réduction	Volume de l'augmentation
2013		
2014	400	
2015	300	
2016	200	
2017		
2018		
2019		300
2020		600»

Source : (règlement n°176/2014)

1.4. Phase IV 2021-2030

Les 900 millions de quotas initialement prévus pour être reportés de 2014-2016 à 2019-2020, ont finalement été placés dans une réserve de stabilité et ne seront libérés qu'en 2021-2030 (Commission européenne, 08/07/2015).

En février 2018, La Commission a approuvé une réforme du système EU ETS et vise une réduction linéaire des émissions de 2,2 % par an. La Commission européenne entend prolonger le système d'allocations gratuites pour les secteurs soumis à une concurrence internationale. Ces secteurs particuliers devront faire l'objet d'une réévaluation tous les 5 ans afin de s'assurer de la cohérence du système. Toutefois, pour les autres installations, le taux de quotas gratuits devra graduellement s'établir à un maximum de 30 % pour 2026 et disparaitre à l'horizon 2030. Les 54 benchmarks seront recalculés tous les 3 ans afin de coller à la réalité des évolutions technologiques (Commission européenne, 27/02/2018).

L'élaboration de la liste des secteurs soumis à la concurrence tiendra compte d'une analyse qualitative mais aussi quantitative. Les secteurs pour lesquels l'intensité d'émission ou l'intensité des échanges est supérieur à 30 % feront partie de cette liste qui sera établie en 2019.

$$Intensité\ d'émission = \frac{(émissions\ directes + émissions\ indirectes}{\text{valeur ajoutée brute}}$$

$$Intensité\ des\ échanges = \frac{(importations + exportations)}{(importations + turnover)}$$

« Emissions directes : il s'agit d'émissions émanant de sources qui appartiennent à l'organisation ou sont contrôlées par elle, par exemple les émissions des cheminées d'usine, des procédés industriels, ainsi que celles des véhicules appartenant à l'organisation ou gérés par celle-ci.
Emission indirectes : il s'agit d'émissions qui résultent des activités de l'organisation, mais proviennent de sources qui sont la propriété ou sous le contrôle d'une autre organisation. Ces émissions résultent de la production d'électricité, de chaleur, de vapeur et de froid importée (que l'entreprise achète et consomme). » SPF Wallonie. (2014). Guide pour réaliser un bilan des émissions de Gaz à Effet de Serre en Wallonie et pour utiliser le calculateur de l'AWAC, p9.

2. L'impact sur le profit et la valorisation boursière

Un point qu'il nous semblait important d'analyser est l'impact que peut avoir ce système sur les charges et par conséquent sur les bénéfices des entreprises européennes assujetties à l'EU ETS et par extension sur leurs valorisations boursières. A ce titre, la littérature afférente à des systèmes de quotas organisés par les pays tiers nous semble également pertinente.

2.1. L'impact du système EU ETS sur la structure de coûts des entreprises

Vollebergh et al (1997), soulignent le fait qu'un système cap and trade entraine une hausse des coûts marginaux. Ceux-ci seraient en majorité répercutés sur le client.

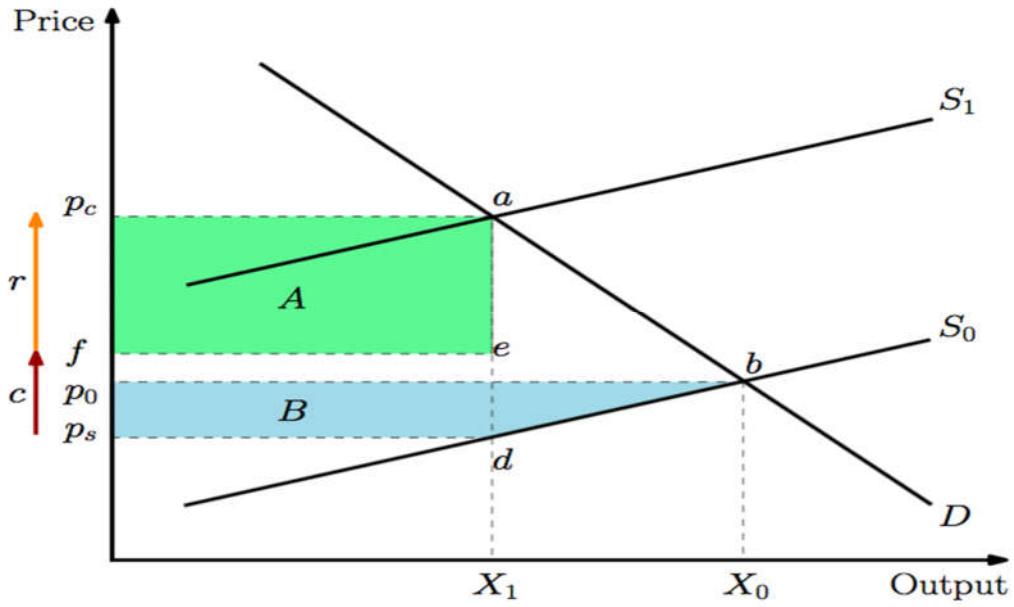
Jaraité, Convery & Di Maria (2010) ont mené une étude empirique pour analyser les différentes catégories de coûts générés pendant la phase de test (de 2005 à 2007) à charge de 27 entreprises irlandaises soumises à l'EU ETS. Ils ont classé ces coûts en différentes catégories.

- Les coûts préalables à la mise en place du système **:** Ce sont les coûts supportés avant le 1er janvier 2005. Il s'agit des coûts uniques qui ont été nécessaires à l'entreprise pour se familiariser avec la législation, la procédure d'évaluation des émissions.
- Les coûts de monitoring, reporting et vérification (MRV) : Ces charges sont supportées annuellement pour la réalisation du rapport environnemental obligatoire. Ces activités peuvent être confiées à du personnel de l'entreprise. Toutefois, ce rapport doit être avalisé par un expert indépendant.
- Les coûts de transaction : Ce sont des coûts variables en fonction du nombre de transactions et de leur volume. L'entreprise peut internaliser ces coûts ou décider de confier à un prestataire le soin d'effectuer de gérer son stock de quotas sur le marché secondaire. Il s'agit également des frais administratifs. Ces transactions incluent tant les échanges de quotas entre entreprises qu'entre installations d'un même groupe.

Il en ressort que les coûts de transaction, particulièrement les frais administratifs sont significativement plus élevés pour les plus petits opérateurs. Les coûts de monitoring, reporting et vérification sont les plus conséquents pour les petites et moyennes entreprises.

2.2. Les bénéfices générés par les allocations gratuites (phase 1 et 2)

Goulder, Halfstead & Dworsky (2010) proposent une illustration de l'impact d'un système basé uniquement sur les allocations gratuites de quotas sur l'équilibre du marché.



Source : Goulder, Halfstead & Dworsky (2010)

- **Initialement**

  - ⇨ p0 et X0 représentent le prix et la quantité d'équilibre
  - ⇨ b est le point d'équilibre

- **En présence d'un système cap-and-trade**

  - ⇨ La courbe d'offre en raison de la hausse des coûts de production en raison du coût actuel ou d'opportunité du carbone notée **r**
  - ⇨ **c** représente le coût des investissements verts
  - ⇨ **a** est le nouveau point d'équilibre qui se situe à un prix **pc** plus élevé et à une quantité **X1** moins élevée que l'équilibre initial.
  - ⇨ Le consommateur paye un coût excédentaire (**c** + **r**)
  - ⇨ Le profit excédentaire du producteur est important et représenté par l'aire du rectangle **A**
  - ⇨ La perte de surplus du producteur notée **B** est négligeable par rapport au profit excédentaire

Le système de quotas gratuits mis en place de 2005 à 2012 aurait selon ces auteurs engendré une augmentation importante des profits des entreprises bénéficiaires. Les profits seraient plus élevés qu'en l'absence de législation alors que dans le même temps, les quantités produites sont en baisse.

2.3. L'impact d'un système de mise aux enchères (phase 3) sur les profits

La mise aux enchères de quotas permet un transfert de richesse du producteur vers l'Etat. Cette recette peut alors être investie dans le financement de politiques environnementales. Puisque le système engendre des coûts à charges des entreprises, ils préconisent une répartition 15%/85% respectivement en allocations gratuites et quotas mis aux enchères (op.cit.).

Selon Sijm et al. (2005), outre la hausse des recettes publiques, 2 autres effets positifs pour l'atteinte des objectifs climatiques sont à noter :

- L'internalisation des coûts sociaux et environnementaux des émissions de CO2 dans le prix de revient.
- Cela évite les distorsions de concurrence entre les entreprises existantes et les nouveaux entrants.

2.4. L'impact du système selon le degré de durabilité des entreprises

Smale, Hartley & Hepburn (2006) ont étudié l'impact de la réduction du nombre de quotas EU ETS sur les bénéfices d'un échantillon d'installations des secteurs du ciment, du papier, du pétrole, de l'acier et aluminium. Pour ce faire, ils ont testé plusieurs scénarios d'attribution de quotas. Leurs résultats indiquent que le durcissement de la législation a eu le plus d'impact sur les firmes des secteurs les plus dépendants de l'énergie et sur les secteurs qui font face à une importante concurrence internationale.

Oestreich & Tsiakas (2015) ont mené une étude empirique en classifiant les entreprises en 3 portefeuilles d'actions d'entreprises allemandes selon le nombre de quotas reçus pendant les 2 premières phases :

- Dirty : constitué de 18 entreprises qui ont reçu plus d'1 million de quotas.
- Medium : constitué de 17 entreprises qui ont reçu moins d'1 million de quotas à titre gratuit et ont dû acheter le surplus sur le marché secondaire.
- Clean : constitué d'entreprises qui n'ont reçu aucun quota.

Ils ont ensuite mesuré l'étendue et la signifiance de l'alpha étant le rendement anormal des 3 portefeuilles. Selon ces auteurs, le système constitue une barrière à l'entrée pour les nouveaux entrants. Cela confirme les travaux de Juraïté et al. (2010) sur les coûts du système EU ETS. Les firmes existantes pourraient par leur importance exercer une pression sur le monde politique. L'ensemble des firmes recevant des quotas (medium et dirty) ont une prime carbone significative et positive. Pour les entreprises de la catégorie dirty, le rendement anormal va jusqu'à 18 % sur base annuelle.

Bushnell, Chong & Mansur (2013) affirment que le processus d'attribution des émissions des quotas induit nécessairement des manœuvres politiques. Un système cap-and-trade qui octroie des attributions gratuitement engendre une source de revenus pour les entreprises bénéficiaires lorsqu'il y a surallocation. Ils ont étudié la chute des prix de la tonne de CO2 lors de la fin de la première phase. Un point marquant des résultats est le fait que les entreprises qui ont subi les plus importants rendements négatifs anormaux sont celles qui émettent le plus de CO2. Dans leur étude d'évènements, ils ont observé que les entreprises du secteur électrique qui ont l'empreinte carbone la moins importante sont également celles qui ont surperformé lors de la chute des prix. Le marché intégrerait le fait qu'un coût faible de l'électricité annule la baisse espérée des coûts supportés par les entreprises ayant investi pour réduire leur empreinte carbone.

Da Silva, Moreno & Figueiredo (2016) se sont intéressés à la manière dont les fluctuations de prix du carbone sur le marché secondaire pouvaient avoir un impact sur la rentabilité des entreprises. Pour ce faire, ils se sont basés sur des données journalières de janvier 2008 à juillet 2014. Le but étant d'analyser les relations entre le prix de la tonne de carbone et les rendements des entreprises espagnoles du secteur de l'électricité en appliquant un Vector Error Correction

Model (VECM). Le prix du carbone aurait globalement un impact significatif et négatif uniquement à long terme sur la valorisation boursière. L'intensité de cet impact est corrélée avec le degré de durabilité de l'énergie de l'entreprise. L'effet est asymétrique : les entreprises « vertes » répondent positivement au durcissement de la législation en phase 2 (2013) tandis que la valorisation boursière des firmes dites non-durables a baissé.

Ces travaux semblent se rejoindre sur la survenance de conséquences contraires à l'intention du législateur. En effet, les allocations gratuites basées sur les émissions historiques constitueraient alors une rente pour les entreprises existantes. Réduire ses émissions entraîne donc de facto une baisse des droits futurs conduisant les entreprises à ne pas modifier leur comportement.

2.5. L'impact des négociations climatiques

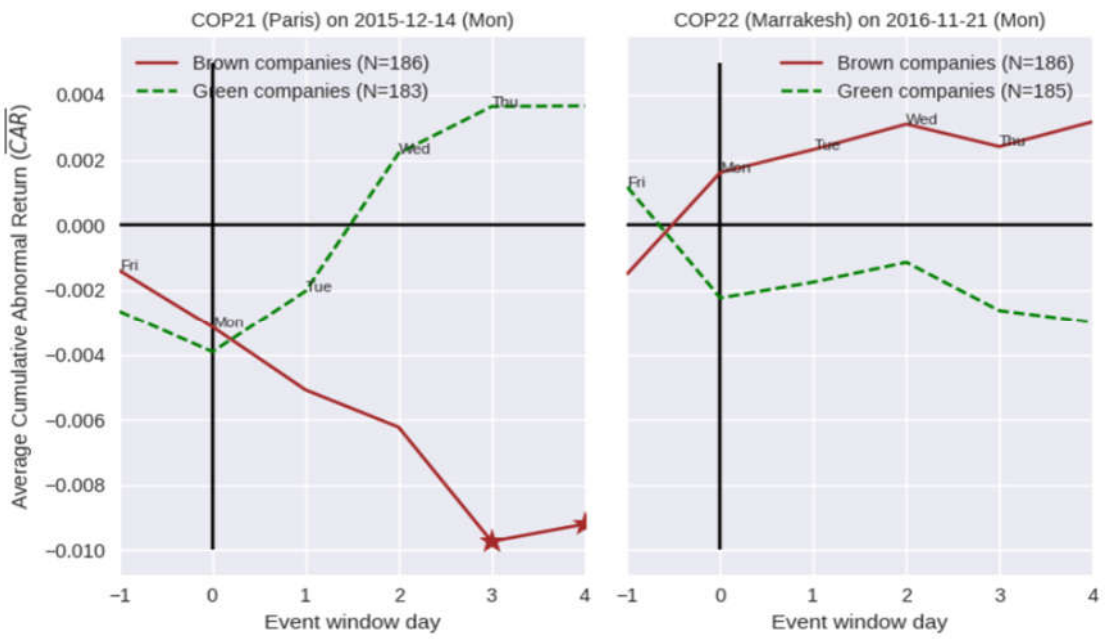
Afin de mesurer la sensibilité du marché boursier aux négociations environnementales Schutze, Aleksovski & Mozetic (2018) ont par le biais d'une étude d'évènements, mesuré l'impact à court terme des négociations climatiques sur un échantillon selon 2 classifications :

1. Le degré de soutenabilité environnementale
   - Entreprises durables (green) : la liste Clean200 de Corporate Knights (entreprise de presse financière canadienne) qui répertorie les 200 entreprises cotées mondialement qui font usage de la plus grande part d'énergies renouvelables en 2016. Pour pouvoir entrer dans ce classement, la valeur boursière minimale est d'un milliard de dollars et 10 % de chiffre d'affaires doit provenir d'activités durables.
   - Entreprises non durables (brown) : les 200 plus importants émetteurs de CO2 de la liste Standards & Poors 500

2. La situation économique du pays
   - Les entreprises issues des pays émergents (eme)
   - Les entreprises issues des pays développés (dev)

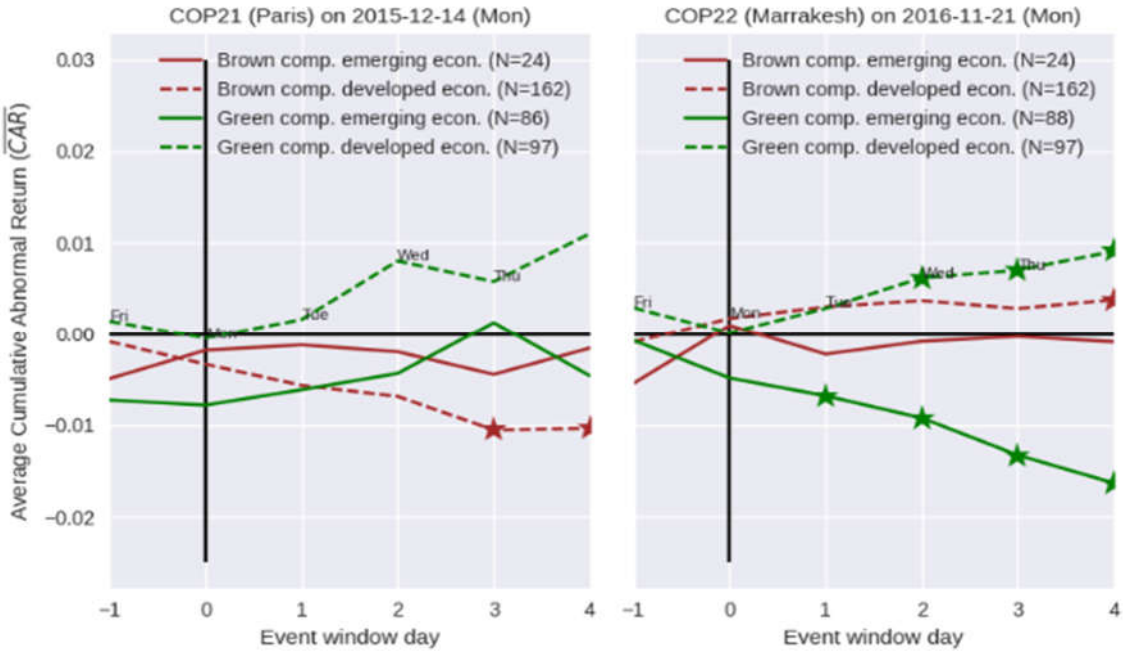
Selected event	Date	Main outcome	Expected price effect
COP15 (Copenhagen)	2009-12-18	Failed to establish a post-Kyoto Agreement	(-) for green, (+) for brown
COP16 (Cancun)	2010-12-10	Extension of Kyoto Protocol until 2012	(+) for green, (-) for brown
COP17 (Durban)	2011-12-09	Agreement on a second Kyoto period. launch of Green Climate Fund	(+) for green, (-) for brown
COP18 (Doha)	2012-12-07	Amendment to Kyoto Protocol (EU, AUS, etc.)	(+) for green, (-) for brown
COP19 (Warsaw)	2013-11-25	Package to keep climate negotiations on track	no effect expected
COP20 (Lima)	2014-12-12	Joint emission reduction announcement by US and China	(+) for green, (-) for brown
COP21 (Paris)	2015-12-14	Paris Agreement as landmark deal	(++) for green, (-) for brown
COP22 (Marrakesh)	2016-11-21	No specific outcome reached	no effect expected
US presidential election	2016-11-08	Announcement to revive the coal industry	(-) for green, (+) for brown
US withdrawal	2017-06-01	US announcement to step out of Paris Agreement	(-) for green, (+) for brown
COP23 (Bonn)	2017-11-17		no effect expected
One Planet Summit (Paris)	2017-12-12	Global Investor Initiative launched	(++) for green, (-) for brown

Source : Schutze et al (2018)



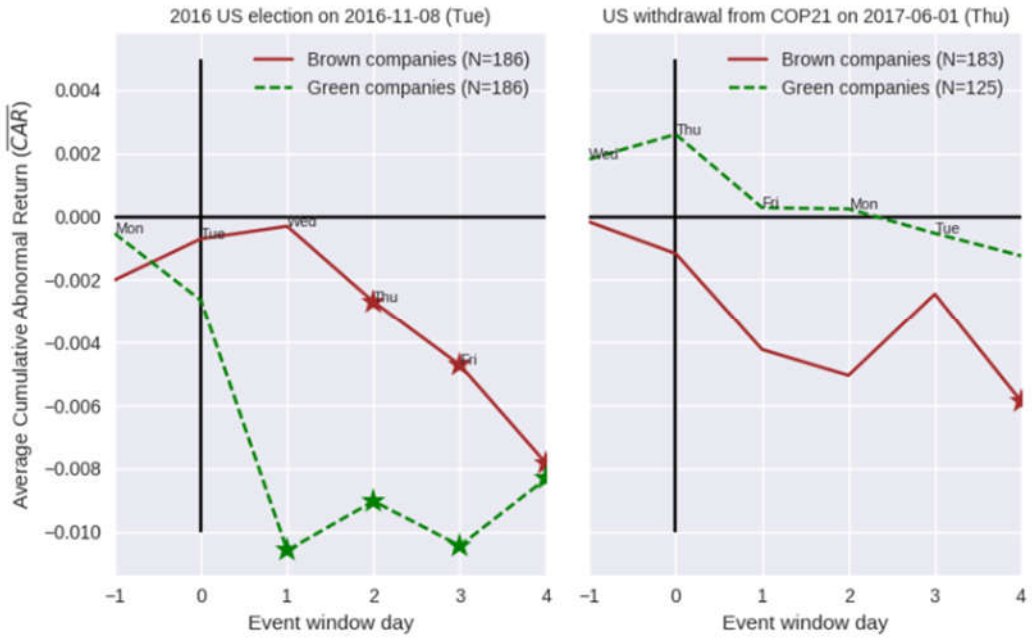
Source : Schutze et al. (2018)

L'accord de Paris a eu un impact négatif significatif sur les entreprises non durables. L'effet est positif mais non significatif pour les entreprises vertes. En comparaison, la COP 22 de Marrakech n'a eu aucun impact significatif sur l'échantillon. Cela s'explique par le succès de l'accord de Paris tandis que la COP22 n'a pas mené à des décisions inattendues ou ambitieuses.



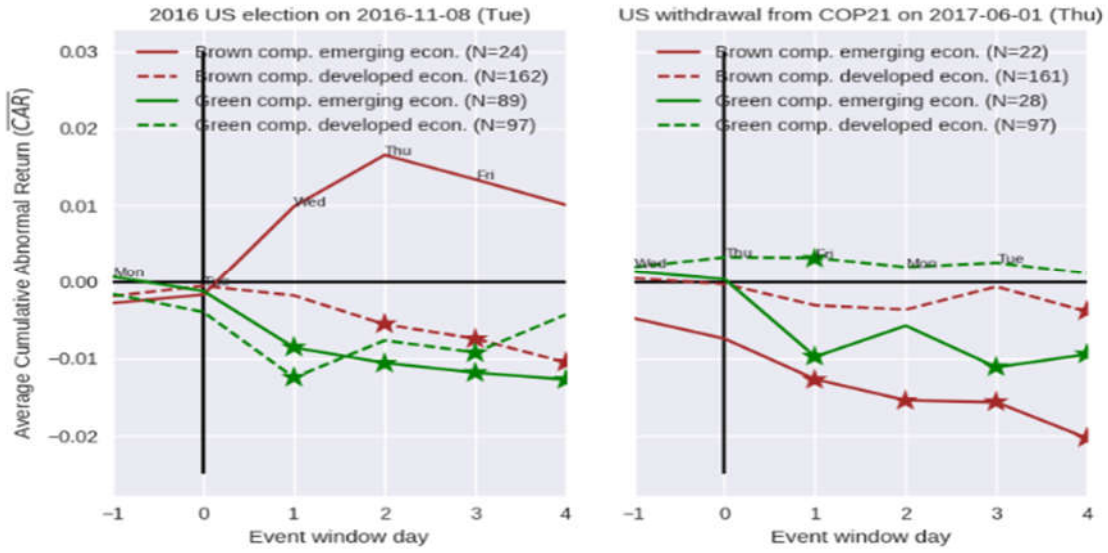
Source : Schutze et al. (2018)

En distinguant les entreprises des pays développés et émergents, Schutze et al. (2018) constatent que l'effet de la COP 21 est plus marqué sur les entreprises tant vertes que non-vertes des pays développés. Par contre pour la COP 22 qui s'est révélée moins ambitieuse, ils constatent que l'impact est asymétrique sur les entreprises vertes.



Source : Schutze et al. (2018)

L'élection de Trump a été également étudiée car sa volonté de retrait de l'accord de Paris était une de ses promesses de campagne. Les entreprises durables ont subi une baisse significative. L'effet négatif sur les autres entreprises pourrait être expliqué par une anticipation de mesures protectionnistes. Toutefois, l'annonce officielle du retrait effectif de l'accord n'a pas eu d'effet significativement négatif sur les firmes « vertes ». Les auteurs expliquent ce résultat soit par une anticipation des agents économiques soit un manque de crédibilité de l'effectivité de cette annonce.



Source : Schutze et al. (2018)

En considérant le second critère, le retrait de l'accord a eu un impact significativement négatif pour l'ensemble des entreprises des pays émergents. Cela pourrait indiquer qu'elles sont plus sensibles aux risques d'augmentation des droits de douane.

Les travaux de Schutze et al. (2018) résumés ci-dessus permettent de dégager deux tendances possibles lors de négociations climatiques qui tendent vers des objectifs environnementaux ambitieux. Ils observent soit un impact positif sur les résultats des entreprises vertes et rien de significatif pour les entreprises non vertes : soit, un impact significativement négatif pour les entreprises non vertes et aucun impact significatif pour les entreprises vertes. Ils expliquent cela par un changement de paradigme des marchés financiers depuis 2012, qui autrefois récompensaient les entreprises vertes alors qu'ils ont actuellement plus tendance à sanctionner les entreprises non vertes.

3. L'impact de l'EU ETS sur les émissions de carbone

3.1 Préalable

Smale, Hartley & Hepburn (2006) synthétisent en 4 points les débats qui ont animé la Commission Européenne à la publication en mars 2000 du *livre vert sur l'établissement dans l'Union européenne d'un système d'échange de droits d'émissions de gaz à effet de serre*. Les sujets d'inquiétude étaient les suivants :

1. L'Union Européenne risquait de créer un désavantage concurrentiel en comparaison avec les entreprises des pays tiers.
2. Le mode d'attribution par des plans nationaux d'allocation qui laisse à chaque pays membre la possibilité de les répartir les quotas entre les différentes installations présentait un risque d'abus qui pourrait s'apparenter à une aide Etat. En cas d'allocation excessive à une entreprise, celle-ci pourrait convertir ce surplus en liquidités en le revendant sur le marché secondaire. Ainsi il y a un risque de créer une distorsion de concurrence.
3. Le système risquait de ne pas permettre d'atteindre les objectifs environnementaux escomptés.
4. Le pouvoir d'achat des ménages européens risquait de baisser vu la répercussion des coûts qui pourraient être transférés aux consommateurs (en particulier pour les prix de l'électricité).

Le point 3 n'est pas à négliger car il peut aussi être une source de pertes pour les entreprises. La surallocation de quotas qui a causé la chute des prix du CO2 en 2007 en est la preuve. Les entreprises qui disposaient d'excédent en raison d'investissements verts se sont retrouvés avec des quotas qui avaient une valeur proche de zéro sur le marché secondaire.

3.2. Principe du pollueur-payeur et l'EU ETS

Le principe du pollueur-payeur défini en 1993 par le 5e PAC, s'apparente à la théorie des externalités. Elle a été développée depuis les travaux de Pigou en 1958. *« Il y a externalité quand les décisions d'un agent économique affectent positivement ou négativement un autre agent sans que cela soit pris en compte par le marché. La pollution est un cas typique d'externalité négative. Celle-ci provient d'une distorsion entre le coût privé supporté par l'agent qui décide de produire et le coût social que sa décision entraine pour l'environnement et pour la collectivité. »* (Thunis, 2010).

Un exemple concret de surexploitation des terres a été formulé par G. Hardin en 1968 dans son article intitulé « La tragédie des communaux ». Si on laisse le libre accès à des éleveurs à un champ commun, ceux-ci vont mettre en place une stratégie de maximisation et de concurrence en élargissant au plus vite leur troupeau pour tirer profit de ce bien public et appauvriront ainsi peu à peu la terre commune. A un certain point, il ne restera qu'une marre de boue où rien ne pousse. Une des solutions envisageables est alors la nationalisation avec un Etat qui est soit le seul exploitant ou qui fixe des conditions pour une utilisation raisonnée de la ressource comme le payement d'une taxe. Il est aussi envisageable de privatiser la ressource car les propriétaires auront intérêt à préserver leur patrimoine. La rationalité à l'échelle d'un individu n'est donc pas comparable à celle d'une collectivité.

Si on fait le parallèle avec la législation carbone, en accordant un certain nombre de quotas gratuits aux entreprises (principalement de 2005 à 2012), l'Etat leur accorde ainsi un droit de propriété sur les quotas. Elles ont le droit de rejeter un certain nombre de tonnes de CO2 ou de vendre ce droit à un tiers. La mise aux enchères de quotas serait davantage une nationalisation dans la mesure où l'opérateur doit payer un droit d'usage à l'Etat. Sans la législation EU ETS, des entreprises pourraient rejeter du carbone qui va avoir un impact négatif sur le climat considéré comme un bien publique. Il y aurait donc un transfert de richesses de la collectivité vers les sociétés privées. Toutefois, ce transfert n'est que relatif puisque tôt ou tard l'ensemble des acteurs ressortent perdants lorsque le bien public est détérioré.

Le producteur va donc être confronté à un dilemme et devoir choisir entre une modification de son comportement, de son processus de production ou une hausse de ses coûts. Les deux premières phases du système EU ETS ne s'apparentent pas à ce principe du pollueur-payeur dans la mesure où l'allocation de permis gratuits était basée essentiellement sur les émissions historiques. La troisième phase semble s'y conformer davantage vu l'introduction du système de mise aux enchères de quotas. Ce principe a ses limites et suppose aussi que celui qui a les moyens de se procurer des quotas ne doit pas lui-même réduire ses émissions.

Vu le fonctionnement assez complexe et évolutif du système, il apparait que le comportement des entreprises ne va pas être nécessairement une réduction efficace de ces quotas. On peut identifier plusieurs pistes pour une société face à ce système :
- Obtenir des quotas gratuits comme c'est encore le cas pour certains secteurs
- Se procurer des quotas sur le marché secondaire
- Acheter des quotas aux enchères
- Dans un contexte de mondialisation, il ne faut pas négliger les fuites de carbone évoquées par Smale (2011). Autrement dit, il s'agit d'entreprises qui délocaliseraient leurs installations hors de l'UE pour échapper à la législation.

3.3. Les investissements économiseurs d'énergie dans un contexte de volatilité des prix du carbone

Tschach Solutions (2013) formule 3 conditions nécessaires au bon fonctionnement de la législation carbone européenne. Une caractéristique importante des marchés, des investisseurs en général est qu'ils ne tiennent compte que de l'efficience à court terme, mais qu'ils ne tiennent pas suffisamment compte de l'optique de long terme comme expliqué dans le principe du pollueur-payeur. Les marchés ne sont donc pas capables de s'auto-réguler dans une optique de long terme. Les dirigeants doivent donc pouvoir créer des incitants pour orienter le marché. Afin de favoriser la transition vers une économie durable, des décisions doivent être prises en amont pour encourager un comportement futur. Une deuxième condition est de permettre la réduction des émissions. Plus les investissements dans les infrastructures et machines sont commencés tôt, moins ceux-ci seront coûteux pour les acteurs économiques. Le marché des quotas doit donc donner un incitant à investir au plus vite afin de minimaliser les coûts de long terme. Une dernière condition importante est la stabilité législative pour permettre aux investisseurs de prendre des décisions d'investissement dans un contexte serein.

Un prix du carbone plus élevé va générer un surcoût pour les installations assujetties. Celles-ci devront engager des moyens supplémentaires pour réduire leurs émissions ou acheter des quotas à un prix qui viendra augmenter le prix de revient final. Généralement, l'essentiel du surcoût sera répercuté sur le client final (Fell et al., 2015). Le budget du consommateur étant

limité, on peut s'attendre à ce que, conformément à la théorie économique, il réduise sa consommation et se tourne vers des produits de substitution à moindre coût. Ce type de comportement sur le marché pourrait bouleverser les acteurs économiques : les secteurs polluants qui subissent une forte augmentation des charges seront amenés à réduire leur production tandis que les secteurs les plus propres, moins dépendants de cet aléa pourront probablement augmenter leur production.

La concurrence internationale n'est pas non plus à négliger. Lorsque les concurrents ne sont pas confrontés au surcoût lié à une hausse des prix du carbone, cela mène à une détérioration de la compétitive des entreprises européennes. La conséquence logique pourrait être une fuite vers des pays tiers appliquant une législation moins ambitieuse (Levinson & Taylor, 2008). D'autres auteurs avancent qu'au contraire, les entreprises assujetties développeront des innovations permettant une meilleure productivité renforçant finalement leur position concurrentielle (Ambec et al., 2013). Ainsi, les entreprises perdantes sur le plan concurrentiel à court terme pourraient être les gagnantes à long terme. Jaffe et al. (1995) évoquent la notion de « early mover advantage », c'est-à-dire que les entreprises européennes pourraient par exemple, tirer profit des innovations et du savoir-faire mis en œuvre antérieurement tandis que d'autres Etats devront tôt ou tard adapter leur règlementation et ne bénéficieront pas encore de la même productivité que les entreprises des Etats précurseurs.

Sandoff & Schaad (2009) ont étudié la problématique de l'efficacité de l'EU ETS pour réduire les émissions. Ils se sont basés sur un échantillon de 221 entreprises suédoises assujetties. Ces dernières ont été soumises à un questionnaire de 51 questions autour de 3 thèmes : la gestion des quotas attribués, les échanges d'allocations sur les marchés secondaires et les mesures prises par l'entreprise visant à réduire son empreinte environnementale. Il en ressort que les participants déclarent prendre des mesures pour réduire leurs émissions. Leurs initiatives partent du principe que le prix de la tonne de CO2 est en perpétuelle augmentation. Les auteurs identifient 2 stratégies d'investissement dans la réduction du CO2. La première est le fait de considérer ceux-ci comme un moyen de maximiser le rendement espéré. Autrement dit, l'entreprise part du principe que les risques sont calculables et effectue des investissements verts car elle anticipe le fait qu'ils entraineront un rendement grâce à leur valorisation future sur le marché. Cette stratégie se concentre sur le contexte externe à l'entreprise, essentiellement le coût des quotas. La seconde consiste à considérer ces investissements comme une technique permettant de réduire l'incertitude. L'entreprise considère que le risque est très important et difficilement évaluable. Les investissements ont alors pour rôle de garder les coûts sous contrôle et de réduire la dépendance de la société aux prix du marché. Dans cette optique, l'entreprise se focalise sur les leviers internes de l'entreprise. Elle améliore ainsi l'efficience de son processus opérationnel par des investissements économiseurs d'énergie et met en place une stratégie pour se prémunir contre les variations des prix et réduire sa dépendance aux énergies fossiles. La conclusion de cette étude qualitative tend ainsi à considérer l'incertitude des prix du carbone comme un incitant pour l'investissement et la réduction des émissions. Ces observations devraient être interprétées avec précaution. Elle se base sur des questionnaires qui ont été soumis aux entreprises en avril 2006 pendant la phase de test de l'EU ETS. Les réponses données par les participants sont aussi tributaires du contexte économique et législatif suédois et peuvent donc difficilement être généralisées à l'échelle européenne.

Sur base d'une enquête menée auprès d'entreprises irlandaises, Anderson, Convery & Di Maria (2011) ont conclu que la phase 1 du système EU ETS n'a eu qu'une influence modérée en tant qu'incitant à la conversion vers des technologies plus propres. Cependant, ils nuancent leurs résultats en ajoutant que la mise en œuvre du système aura eu le mérite d'initier les entreprises

à la démarche de réduction des émissions. En effet, 41 % des entreprises ont entamé un processus de réduction de la dépendance aux énergies fossiles, à des intensités diverses. La variation des prix du carbone aurait pour conséquence de rendre les entreprises frileuses dans leur choix. 46 % des entreprises étudiées ont reporté leurs décisions d'investissement.

Lofgren, Wrake & Hagberg (2013) ont fait une analyse empirique de l'impact des 2 premières phases du système sur les investissements verts d'un échantillon de 229 entreprises suédoises. Ils constatent qu'à la date de leurs travaux, la législation carbone européenne n'a pas eu un impact significatif sur les investissements dans des technologies visant à réduire l'empreinte carbone. Les décisions d'investissements seraient alors déterminées essentiellement par des caractéristiques propres à l'entreprise : sa taille, son environnement interne. Toutefois, ils soutiennent que le système doit être maintenu mais réformé afin de remédier à la problématique de surallocation.

3.4. L'impact de la crise économique sur la réduction des émissions

Une des difficultés dans l'évaluation du système EU ETS est de distinguer les réductions d'émissions imputables à la législation de celles induites par les fermetures d'entreprises et réductions d'activité dues à la crise économique de 2008. La Directive de la commission de 2009 fait à titre illustratif l'éloge de pays ayant effectué des réductions de CO2 anticipées et se voyant dès lors octroyer un calcul plus favorable du nombre de quotas attribuables.

ANNEXE II ter

RÉPARTITION DES QUOTAS À METTRE AUX ENCHÈRES PAR LES ÉTATS MEMBRES CONFORMÉMENT À L'ARTICLE 10, PARAGRAPHE 2, POINT C), ET REFLÉTANT LES EFFORTS ANTICIPÉS ACCOMPLIS PAR CERTAINS ÉTATS MEMBRES POUR ATTEINDRE 20 % DE RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

État membre	Répartition en pourcentage des 20 % par rapport à la base Kyoto
Bulgarie	15 %
République tchèque	4 %
Estonie	6 %
Hongrie	5 %
Lettonie	4 %
Lituanie	7 %
Pologne	27 %
Roumanie	29 %
Slovaquie	3 %»

On constate que ces quotas visant à récompenser des efforts sont majoritairement octroyés aux pays ayant un PIB/habitant les plus faibles d'Europe. En effet la méthodologie de calcul ne tient pas compte des investissements verts mais des émissions globales observées.

Afin de distinguer les réductions globales de gaz à effet de serre sur la période 2005-2012 attribuables à la crise économique de celles attribuables au système ETS, Bel et Joseph (2015) ont fait usage d'une approche en panel dynamique. Sur les 294,5 millions de tonnes de réduction d'émissions de gaz à effet de serre observés, seuls 40 millions seraient directement dues à la législation européenne. La majeure partie de la réduction serait imputable à la situation économique. La réduction du prix de la tonne de CO2 due à la crise a réduit également la rentabilité des investissements économiseurs d'énergie.

4. Les déterminants du prix du carbone

Etant donné l'impact que la littérature accorde au prix du carbone sur les décisions d'investissements verts, il peut être intéressant de détailler les facteurs qui peuvent influencer le prix d'équilibre du carbone sur le marché secondaire.

Le nombre de quotas en circulation a une influence sur les prix. La demande de quotas est tributaire des émissions attendues (ex-ante) et des émissions réelles (ex-post) des installations qui réalisent des échanges dans le système EU ETS. Dans les 2 premières phases, la demande de quotas était déterminée par la différence entre les émissions réelles et le nombre de quotas obtenus gratuitement, eux-mêmes principalement déterminés par les émissions historiques.

Selon De Bruyckere (2007), le prix du carbone est influencé par les indicateurs économiques, le prix de l'énergie, les conditions météorologiques, les marchés financiers, …

- **Les prix de l'énergie**

Un pan important de la littérature se consacre à l'opportunité pour les producteurs d'électricité de changer leur mix-energétique et cette décision de transition vers des sources durables est fortement corrélé aux prix du CO2. Des prix élevés de l'énergie entrainent une hausse des prix du carbone (Bunn & Fezzi, 2007).

- **Les conditions météorologiques**

Mansanet-Bataller et al. (2007) ont démontré que les conditions météorologiques pouvaient avoir un impact sur le prix de la tonne de CO2 puisque cela influence la demande d'énergie.

Alberola et al. (2008) indiquent que la relation entre la température et la demande d'électricité n'est pas linéaire. Lors des étés particulièrement chauds, l'usage des climatiseurs soutient la demande, de même que la demande en électricité et gaz est accrue pendant les hivers les plus rudes. L'augmentation de la production nécessaire entraine une hausse des rejets de CO2 et par conséquent de la valeur des quotas.

Reinaud (2007) a étudié l'impact des faibles précipitations qui génèrent pour les pays comme le Danemark possédant un nombre important de centrales hydroélectriques, la nécessité de se tourner vers ses centrales à charbon impliquant une forte consommation de CO2.

Le vent a également une influence sur la productivité des éoliennes. Une vitesse importante exercera donc une pression à la baisse sur les prix du carbone. (Benz & Trück, 2009).

- **La croissance économique**

La croissance économique a une influence notable sur la demande de quotas. Une croissance moins forte qu'attendue peut être une des causes d'une surallocation de quotas d'émission (Sijm et al, 2005). La crise financière de 2007 a encouragé une vente massive des quotas de carbone utilisés pour renflouer facilement les liquidités et a ainsi mené à une chute des prix du marché (Vlachou, 2010).

La structure du marché et la régulation

Par structure du marché, il faut entendre le nombre d'agents économiques actifs sur le marché et l'influence de leurs décisions stratégiques sur le prix du marché. La régulation du marché englobe les décisions politiques qui sont prises pour réguler les émissions de carbone telles que la méthode d'attribution des quotas et les secteurs assujettis. Ce type de modifications de la législation qu'elles soient effectives ou prévisibles ont une influence significative sur le cours boursier (Sijm et al, 2005).

Un contexte législatif trop mouvant comme c'est le cas pour le système EU ETS est peu sécurisant pour les entreprises qui sont amenées à prendre des décisions d'investissements de long terme. Un report de ces investissements va influencer la demande de quotas et donc le prix de ceux-ci (Reinaud, 2007).

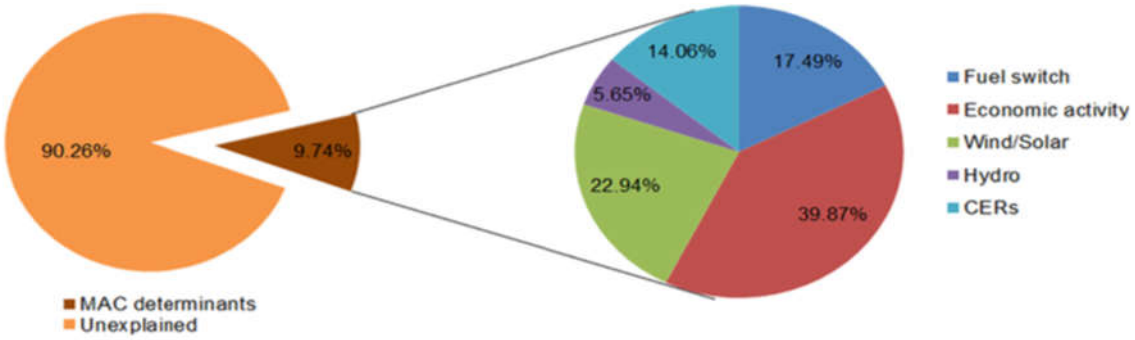
Source : www.sandbag.org

Koch, Fuss & Grosjean (2014) se sont concentrés sur les facteurs pouvant expliquer la chute des prix du carbone de 2008 à mi-2013. Pour ce faire, ils ont analysé le modèle suivant par la méthode OLS:

$$EUA_t = \beta_0 + \beta_1 Gas_t + \beta_2 Coal_t + \beta_3 Economy_t + \beta_4 Wind/Solar_t + \beta_5 Water_t + \beta_6 CER_{t-1} + \varepsilon_t$$

- Gas : les variations de prix des carburants
- Coal : les variations de prix du charbon
- Economy : STOXX Europe 600 : l'indice boursier des 600 principales capitalisations boursières.
- Wind/Solar et Water : la croissance de la production d'électricité verte
- CER t-1 (certified emission reduction) : le nombre de certificats achetés représentant l'équivalent d'une tonne de CO2. Les entreprises peuvent en obtenir en investissant dans des projets visant à réduire les émissions.

Les variations de prix des carburants ont eu un impact significatif sur le prix de la tonne de carbone. Une grande partie de la variation s'explique par l'activité économique. La croissance de la part des énergies vertes a eu sur la période étudiée, un impact négatif et significatif sur les prix. Les CER ont eu aussi un impact significativement négatif mais minime. Cela peut s'expliquer par le fait que le recours à ce type de certificats est limité et fixé ex-ante. Toutefois, 90 % de la variation du prix reste inexpliquée par leur étude. Cela pourrait en partie résulter de l'usage de données mensuelles qui n'ont pas permis de capturer l'ensemble des variations.



Source : Koch, Fuss, Grosjean (2014 RF44)

Les pistes possibles seraient le fait que les investissements économiseurs de carbone ont par définition une vision de long-terme. Les perspectives économiques futures perçues par les investisseurs pourraient avoir un impact. La stagnation à un faible prix du carbone connue jusqu'en 2014 pourrait aussi être due à un manque de crédibilité sur les objectifs climatiques futurs.

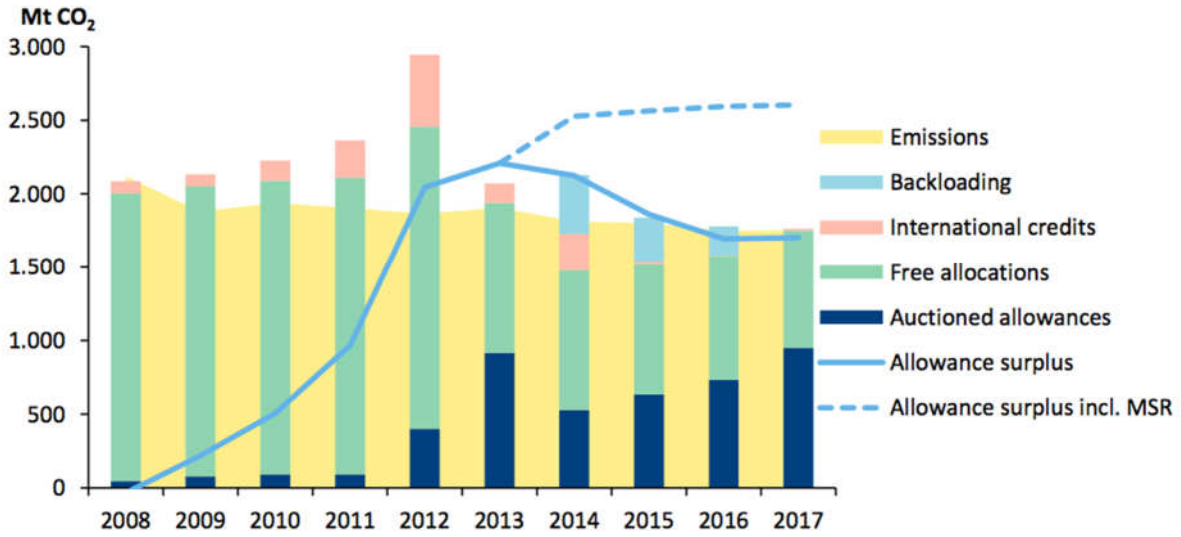
Conclusion de la partie I

Le système EU ETS est un précurseur dans le domaine de la réduction des émissions. L'intention du législateur européen était d'internaliser le coût social et environnemental des émissions de CO2. Ce but de réduction mis en œuvre dans le cadre du protocole de Kyoto ne peut être rencontré que dans la mesure où le prix du carbone attendu est en perpétuelle augmentation. En effet, pour être un instrument économique efficace, il faut que l'investissement dans des technologies propres puisse générer un retour sur investissement par une baisse du volume d'achat voire une vente des quotas en surplus à un prix suffisamment élevé.

Le mix énergétique aurait donc d'après la littérature, un impact sur l'intensité de la réaction des investisseurs à des variations du prix du carbone. Ainsi les entreprises qui réalisent des investissements pour réduire leur empreinte carbone vont voir leurs rendements futurs espérés diminuer lorsque des nouvelles annonces indiquent une baisse des prix du carbone. Celles-ci verront la valeur des potentiels quotas excédentaires dégagés par leurs investissements verts baisser sur le marché secondaire. A l'inverse, les entreprises les moins avant-gardistes en matière environnementale se verraient récompensées par un tel scénario dans la mesure où elles pourraient se procurer les quotas manquants à moindre coût sans réduire leurs émissions.

Nombre d'auteurs se rejoignent ainsi sur l'impact du prix du carbone sur la valorisation boursière des entreprises mais à des ampleurs diverses en fonction de la structure, de la stratégie environnementale adoptée.

Comme on peut le constater sur la figure suivante, la réduction des émissions n'a pas été particulièrement importante sur la période 2005-2017. Cette quasi-stagnation aurait principalement été causée par les effets de la crise économique. Cependant, le principe du pollueur-payeur semble peu à peu s'affirmer par une internalisation des coûts caractérisés par le volume croissant de quotas mis aux enchères. On observe toutefois que la 3^{e} phase a permis une réduction du surplus cumulé de quotas par la décision de la commission de février 2014 visant à reporter la mise aux enchères de 900 millions de tonnes de CO2.



Source : Silbye (2018)

PARTIE II :

Etude empirique

La question de recherche

Le but de cette recherche est de déterminer quel est l'impact de la troisième phase du système EU ETS sur la valorisation boursière du carbone, sur celle des entreprises et dans quelle mesure cette législation favorise la réduction des émissions ?

Les hypothèses de travail

La littérature permet de retenir plusieurs hypothèses de travail :

- Hypothèse 1

Les prix du carbone sur le marché secondaire augmentent lorsque la législation européenne durcit le mécanisme de quotas.

- Hypothèse 2

Les variations de prix du carbone ont un impact différent sur les entreprises vertes et non durables.

- Hypothèse 3

La mise aux enchères de quotas depuis 2013 a eu un impact négatif sur la valorisation boursière des entreprises non durables en mettant fin aux quotas gratuits basés sur les émissions historiques.

- Hypothèse 4

Le backloading (report des attributions de quotas) de 2014 a eu une influence à la hausse sur le cours de la tonne de CO2.

- Hypothèse 5

Les entreprises ayant réalisé des investissements verts voient leur valorisation boursière augmenter par la révision des attributions gratuites.

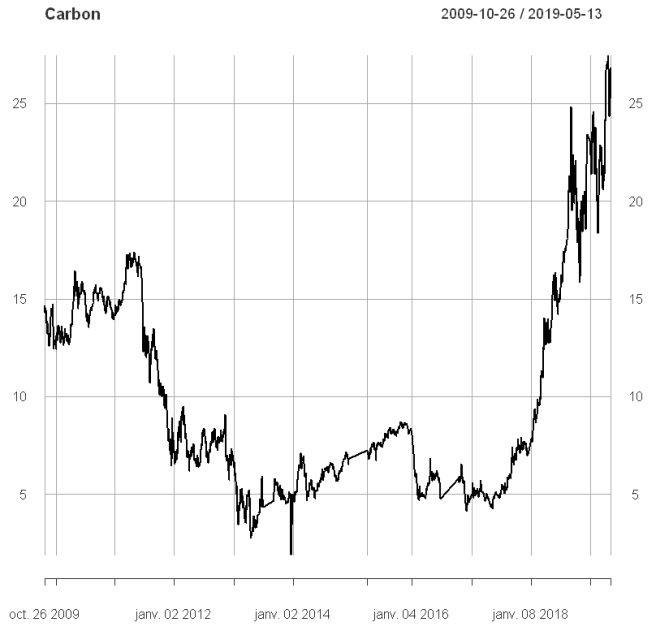
- Hypothèse 6

L'impact sur les rendements des entreprises est d'autant plus significatif dans les secteurs les plus dépendants au carbone.

Etape 1 : Analyse du cours du prix du carbone

Tout d'abord, une analyse graphique du prix du carbone sera effectuée afin de déterminer les tendances et changements ayant impacté son cours. Ceci permettra de déterminer les évènements clés ayant entrainé un changement de régime et de voir ultérieurement s'il est corrélé avec le marché. En effet, un choc négatif comme la crise des dettes souveraines peut aussi bien impacter les bourses européennes que les prix du carbone, tandis qu'une nouvelle règle d'octroi des ETS pourrait ne provoquer qu'un changement limité sur les prix du carbone sans incidence sur les autres valeurs principales.

Les données proviennent du site Yahoo Finance du 26/10/2009 jusqu'au 13/05/2019.



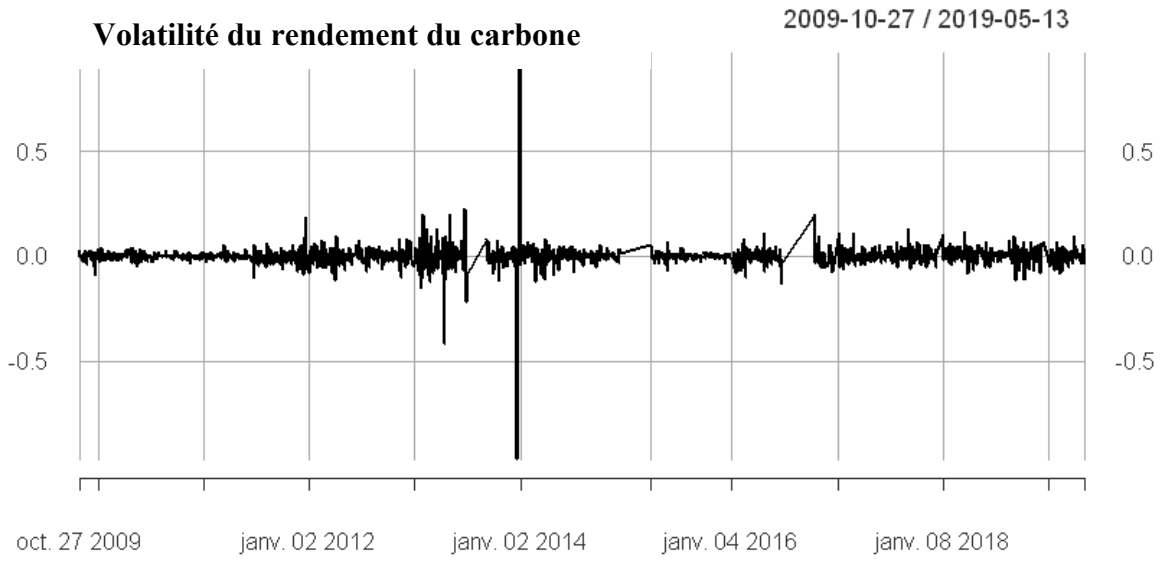
Le graphique suivant montre 3 grandes zones :

- De 2009 à mi-2011 : une zone de prix croissante atteignant 17€/tonne
- De mi-2011 à début 2017 : une zone de baisse fluctuant à un niveau moyen de 5€/tonne
- De 2017 à 2019 : une zone de prix fortement croissante atteignant 25€/tonne qui correspond aux négociations concernant la méthode à appliquer pour la phase 2021-2030.

  Les statistiques descriptives nous donnent une moyenne de 9.965€/tonne tout au long de la période étudiée.

Statistiques prix du carbone	
Minimum	1.900
Q1	5.900
Médiane	7.880
Moyenne	9.965
Q3	14.210
Maximum	27.460

L'analyse de l'évolution de la rentabilité et de la volatilité nous donne les résultats suivants :



Globalement, seuls 2 événements importants peuvent être identifiés :

- Vers mars 2013, un choc négatif apparaît, ce qui correspond à la mise en œuvre des enchères de quotas et aux négociations sur la mise en œuvre du backloading (report de quotas) de 3^{e} période.

- Janvier 2014, un choc négatif suivi directement d'un choc positif. Celui-ci correspond à la mise en application effective du backloading par le retrait du marché de 400 millions de tonnes de quotas destinés initialement à être mis aux enchères.

Etape 2 : Modélisation du processus suivi par les prix du carbone

La modélisation du processus du prix du carbone devrait permettre de confirmer les évènements détectés sur base d'une simple analyse graphique et de distinguer les effets propres à cette série temporelle afin de faciliter les analyses ultérieures.

Test de stationnarité

Une première étape est de tester si la série est stationnaire, ceci s'effectue via un test de Dickey Fuller où :

$$H_o: la\ série\ n'est\ pas\ stationnaire$$
$$H_1: la\ série\ est\ stationnaire$$

En appliquant ce test à la série des prix du carbone, la p-value donne un résultat de 0.99 et donc la série n'est pas stationnaire.

```
        Augmented Dickey-Fuller Test

data:  Carbon
Dickey-Fuller = 0.44216, Lag order = 12, p-value = 0.99
alternative hypothesis: stationary
```

Si on utilise les différences de la série, on obtient une série stationnaire comme l'atteste la p-value inférieure à 0.05 pour un seuil de confiance de 95%.

```
        Augmented Dickey-Fuller Test

data:  diff(Carbon)[-1]
Dickey-Fuller = -12.736, Lag order = 12, p-value = 0.01
alternative hypothesis: stationary
```

La même conclusion s'applique si on utilise les rendements logarithmiques des prix du carbone.

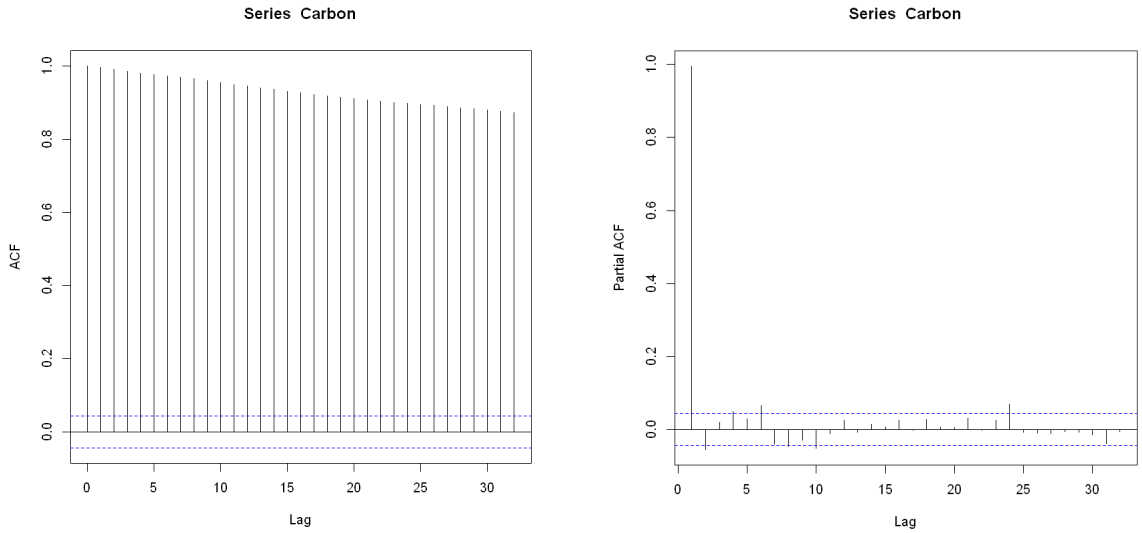
```
        Augmented Dickey-Fuller Test

data:  Return.calculate(Carbon, method = "log")[-1]
Dickey-Fuller = -13.378, Lag order = 12, p-value = 0.01
alternative hypothesis: stationary
```

Pour modéliser la série, un modèle ARIMA peut donc être envisagé, le test de Dickey-Fuller nous renseigne sur la nécessité d'avoir un coefficient de différentiation (I) d'un ordre au moins égal à 1.

Détermination du processus ARIMA

Pour analyser les coefficients des processus AR (Auto-Régressif) et MA (Moving-Average), on utilise le graphique des autocorrélations (ACF) et autocorrélations partielles (PACF).



La série ne suit pas un processus MA puisque ses autocorrélations suivent une pente descendante sans interruption. En revanche, un processus AR d'un ordre au moins égal à 1 peut être envisagé puisque le premier retard est hautement significatif.

En utilisant la fonction « auto.arima » qui sélectionne le modèle le plus adapté aux données, on obtient un processus ARIMA (2,2,0) ce qui est conforme à nos observations. Les coefficients sont tous deux significatifs au seuil de 95%.

Coefficients du modèle ARIMA (2,2,0)

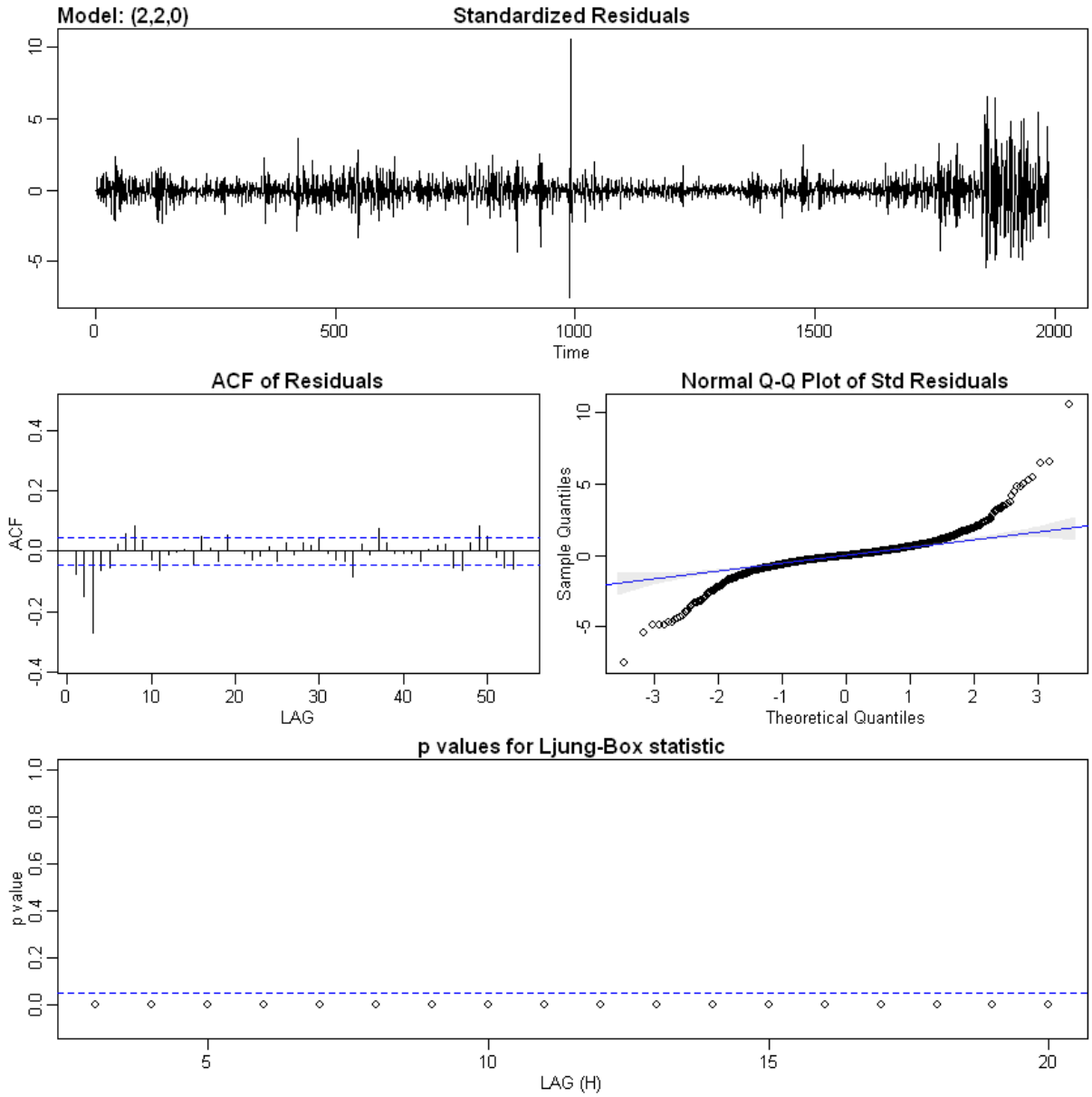
```
Call:
stats::arima(x = xdata, order = c(p, d, q), seasonal = list(order = c(P, D,
    Q), period = S), include.mean = !no.constant, transform.pars = trans, fixed = fixed,
    optim.control = list(trace = trc, REPORT = 1, reltol = tol))

Coefficients:
          ar1      ar2
      -0.5907  -0.3239
s.e.   0.0213   0.0213

sigma^2 estimated as 0.1678:  log likelihood = -1045.77,  aic = 2097.54
```

	Estimate	SE	t.value	p.value
ar1	-0.5907	0.0213	-27.7439	0
ar2	-0.3239	0.0213	-15.1852	0

Analyses et résidus du modèle ARIMA (2,2,0)



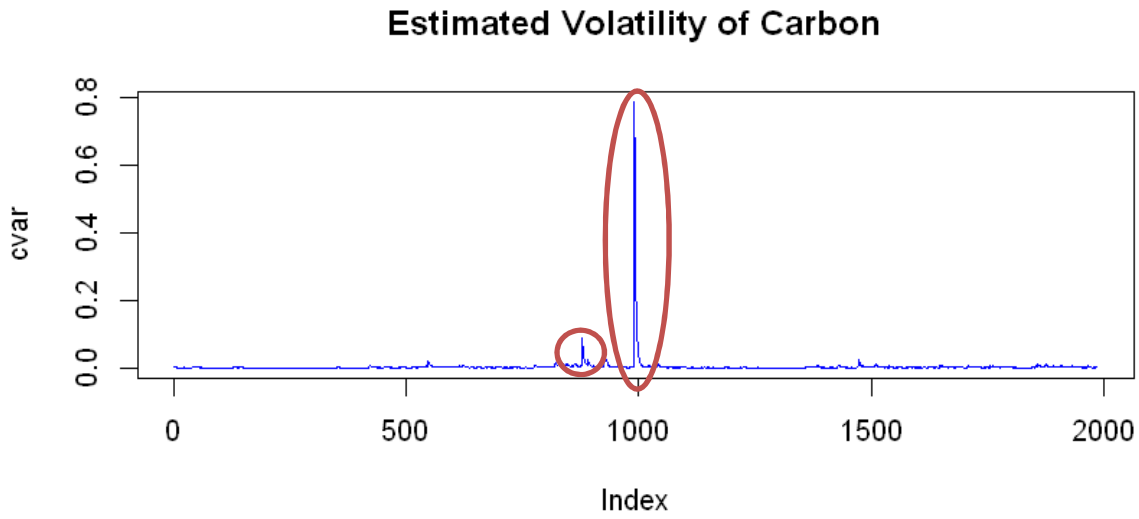
Détermination du processus GARCH

Afin de détecter les chocs de volatilité, un modèle GARCH est utilisé. Celui-ci indiquera les événements ayant provoqué le plus d'impact et pouvant mener à un changement de régime dans l'évolution des valeurs du carbone.

Les modèles GARCH ont été développés par Bollerslev (1986) et Taylor (1986). Dans un modèle GARCH, la variance conditionnelle pourra dépendre de ses propres valeurs retardées. Ainsi, dans le cas le plus simple, appelé GARCH(1,1), on aura

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 u_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2$$

En utilisant un modèle GARCH, on obtient le résultat suivant :



Tous les coefficients du modèle sont significatifs, nous pouvons donc l'utiliser pour étudier la volatilité. On observe que le cours du carbone est sujet à des phénomènes de « volatility clustering » où celle-ci se concentre et s'intensifie par moments en raison de l'occurrence d'un évènement.

Les mêmes évènements identifiés auparavant sont à nouveau mis en évidence, ceux-ci seront utilisés ultérieurement afin d'analyser leur impact éventuel sur d'autres variables boursières.

Tableau des coefficients du modèle GARCH(1,1)

```
Coefficient(s):
     omega      alpha1       beta1
1.3367e-05  4.8126e-01  7.3262e-01

Std. Errors:
 based on Hessian

Error Analysis:
        Estimate  Std. Error  t value Pr(>|t|)
omega  1.337e-05   4.188e-06    3.191  0.00142 **
alpha1 4.813e-01   3.860e-02   12.466  < 2e-16 ***
beta1  7.326e-01   1.651e-02   44.363  < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Log Likelihood:
 3896.968    normalized:  1.961232
```

Etape 3 : Analyse de l'influence du prix du carbone sur des indices boursiers européens

Sur base des informations des tests précédents, le rendement logarithmique du prix du carbone contient un effet de stationnarité permettant d'identifier plus facilement les relations avec d'autres variables boursières. Dans cette étape-ci, les rendements du carbone vont être comparés à ceux de grands indices boursiers européens : Eurostox50, CAC40, BEL20, AEX, DAX, FTSE, l'indice italien et PSI35.

La distribution des rendements du prix du carbone va être comparée dans une première approche avec l'indice de référence européen, l'Eurostoxx50, sur une période s'étalant du 26/10/2009 au 13/05/2019. La méthodologie de référence utilisée est celle de l'étude d'évènements et a été empruntée à l'ouvrage « Econometrics of Event Studies » de Khotari et Warner (2006).

Afin d'analyser les différences entre 2 séries de rendements boursiers, il est nécessaire de définir ce qu'on appelle des rendements anormaux (AR : Abnormal Return), ce qui veut dire des rendements significativement différents de la série de référence (dans ce cas-ci l'Eurostoxx50).

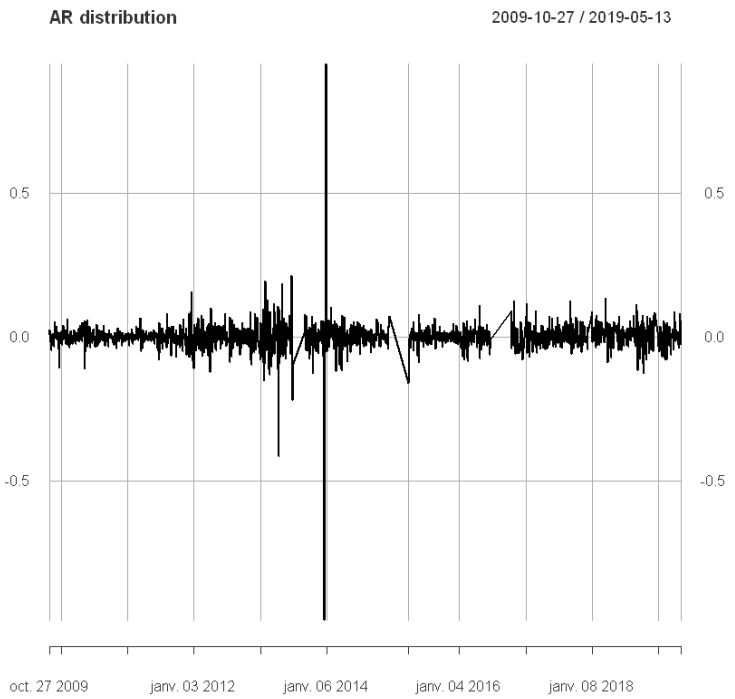
Les rendements anormaux (AR) sont calculés selon la formule suivante :

$$AR_{i;t} = R_{i;t} - R_{M;t}$$

Où

- Ri représente le rendement journalier pour le titre i (prix du carbone)
- RM est le rendement journalier de l'indice.

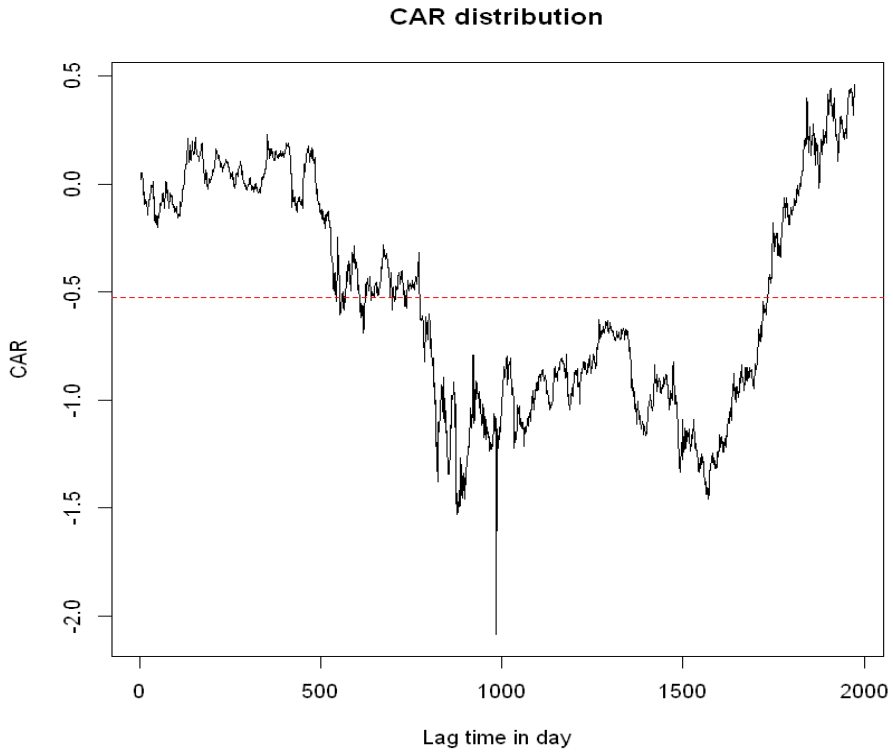
Les valeurs de AR au cours du temps prennent la forme du graphique suivant :



On remarque que les rendements anormaux les plus importants ont été observé en mars 2013 et début 2014 qui correspondent aux événements présentés précédemment. Pour analyser si ces rendements persistent dans le temps, il est nécessaire de calculer la valeur cumulée (CAR : Cumulated Abnormal Return) des rendements anormaux entre le temps T1 et T2 donnés par la formule suivante[2] :

$$\mathrm{CAR}_{\mathrm{i};(\mathrm{T}_1:\mathrm{T}_2)} = \sum_{i=T_1}^{T_2} AR_t$$

On constate que le cours du carbone a globalement sous-performé l'indice eurostoxx50 sur toute la période étudiée mais les t-stats ne sont pas significatives.



Leur moyenne (CAAR), ligne rouge sur le graphique, est égale à -0,5233%. Afin de savoir si ces rendements cumulés sont significativement différents de 0, un test statistique doit être effectué dont la formule est donnée par :

$$\frac{CAR_{T_1;T_2}}{\sigma^{2\,\frac{1}{2}}_{T_1;T_2}} \quad \text{où } \sigma^2_{T_1;T_2} \text{ est la variance donnée par } L * \sigma^2 * AR_t$$

En utilisant un t-test, les hypothèses du test sont données :

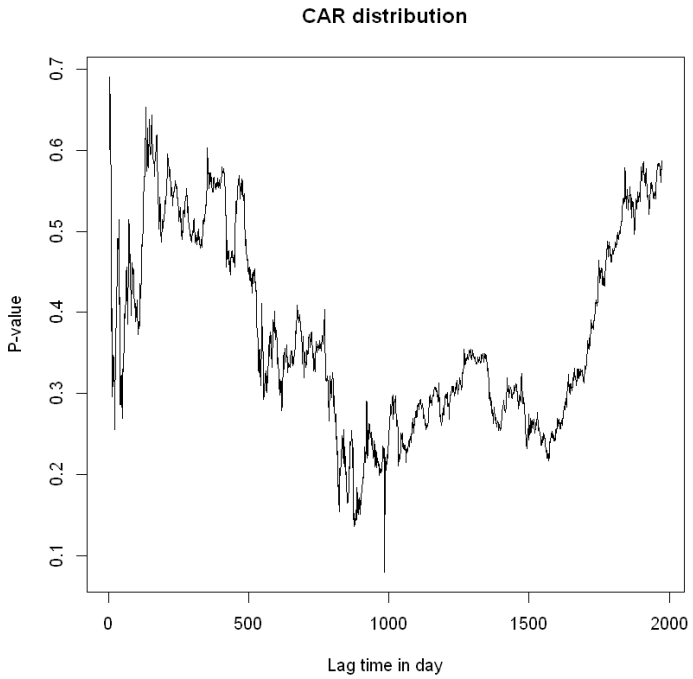
$$H_0 : \frac{CAR_{T_1;T_2}}{\sigma^{2\,\frac{1}{2}}_{T_1;T_2}} = 0$$

$$H_1 : \frac{CAR_{T_1;T_2}}{\sigma^{2\,\frac{1}{2}}_{T_1;T_2}} \neq 0$$

[2] Le temps T1 étant fixé à la première observation qui est le 27/10/2009

Toutes les valeurs sont non-significatives comme l'indique le tableau résumé des p-values du test :

Min	Q1	Médiane	Moyenne	Q3	Max
0,3097	0,5113	0,6575	0,6254	0,7210	0,9203



Les résultats donnent donc une sous-performance tout au long de la période considérée du prix de carbone par rapport à l'indice Eurostoxx 50 mais aucune valeur ne peut être considérée significativement différente de 0. Même si l'évènement de 2014 tend à être plus significatif que le reste de la série temporelle, aucune différence notable entre le rendement du prix du carbone et le rendement de l'Eurostoxx n'apparaît.

En conduisant le même test sur les autres indices étudiés, aucun rendement n'est significativement différent de 0. Notons tout de même que différents groupes apparaissent :

- Groupe 1 : Celui formé par l'Eurostoxx, le CAC40, BEL20 et l'AEX (annexe 1) où seul l'évènement de 2014 tend à être plus significatif que les autres. Les indices étant composés majoritairement de pays limitrophes et à haut niveau de PIB, une corrélation plus forte peut être attendue entre ceux-ci.

- Groupe 2 : Celui formé par le DAX et le FTSE (annexe 2) qui sont plus fortement liés à l'international par leurs exportations où l'évènement de mars 2013 est donc plus significatif que le groupe précédent.

- Groupe 3 : Celui formé par l'indice italien et l'IBEX35 (annexe 3), où aucun évènement ne tend à être significatif.

Analyse des corrélations

La corrélation des rendements du prix du carbone avec les autres indices est résumée avec le tableau ci-dessous.

	Eurostoxx
Carbon	0.1144049

	DAX
Carbon	0.1175712

	CAC40
Carbon	0.1262602

	Italy
Carbon	0.1184654

	FTSE
Carbon	0.1298053

	AEX
Carbon	0.1205748

	BEL20
Carbon	0.1331026

	IBEX35
Carbon	0.1126725

La corrélation reste relativement faible à un seuil d'environ 0,12. Néanmoins, les p-values correspondantes sont toutes significatives à un seuil de confiance de 99%.

Pour la suite de l'analyse, seuls les 2 premiers groupes seront considérés en raison de la faible relation du cumul des rendements anormaux (CAR) de l'indice italien et de l'IBEX35 avec ceux du prix du carbone.

Test de causalité au sens de Granger

Vu la faible corrélation significative, il apparaissait opportun de faire usage de la méthodologie de Granger afin de déterminer si le prix de la tonne de carbone peut être une cause du rendement des indices.

Ce type de test a été introduit en 1969 par Granger et peut s'interpréter comme un test de causalité. Si on rejette l'hypothèse H0, cela veut dire que la variable carbone peut causer au sens de Granger la variable rendement de l'indice. En cas de non-rejet, on dira que la variable carbone ne cause pas au sens de Granger le rendement de l'indice.

$$x_t = \alpha + \sum_{i=1}^{k} \zeta_i x_{t-i} + \sum_{i=1}^{k} \varphi_i y_{t-i} + \varepsilon_t \qquad H_0 : \gamma_1 = \gamma_2 \ldots = \gamma_k = 0$$

$$H_1 : \text{au moins un des } \gamma_i \neq 0$$

$$y_t = \psi + \sum_{i=1}^{k} \chi_i y_{t-i} + \sum_{i=1}^{k} \gamma_i x_{t-i} + \nu_t \qquad H_0 : \varphi_1 = \varphi_2 \ldots = \varphi_k = 0$$

$$H_1 : \text{au moins un des } \varphi_i \neq 0$$

Si la p value est inférieure à 0,05, on pourra dire que le prix du carbone cause la variation de l'indice au sens de Granger.

Il convient de noter qu'au sens de Granger, la causalité veut dire que le passé d'une variable explique l'évolution actuelle d'une autre. Ce n'est donc pas de la causalité contemporaine.

Tableau des p-values du test de Granger (rejet H0 si p-value < 0.05)

Eurostoxx		CAC40		BEL20	
Order	P-value	Order	P-value	Order	P-value
1	**0,0217**	1	**0,0067**	1	**0,0148**
2	0,0804	2	**0,0306**	2	0,0623
3	0,1037	3	**0,0348**	3	0,0851
4	0,1099	4	**0,0260**	4	0,1096
5	0,1190	5	**0,0226**	5	0,0802
6	0,0972	6	**0,0118**	6	0,0593
7	0,1338	7	**0,0246**	7	0,0988
AEX		**DAX**		**FTSE**	
Order	P-value	Order	P-value	Order	P-value
1	**0,0040**	1	**0,0185**	1	**0,0051**
2	**0,0199**	2	0,0715	2	**0,0230**
3	**0,0242**	3	0,1006	3	**0,0229**
4	**0,0270**	4	0,0888	4	**0,0207**
5	**0,0164**	5	0,0617	5	**0,0106**
6	**0,0093**	6	**0,0400**	6	**0,0097**
7	**0,0149**	7	0,0640	7	**0,0170**

L'Eurostoxx, le BEL20 et le DAX sont liés avec un ordre 1 au sens de Granger avec le prix du carbone, tandis que le CAC40, l'AEX et le FTSE possèdent un lien de causalité avec le prix du carbone (en valeur absolue) sur au moins 7 ordres de grandeur. La situation est en revanche très différente si on utilise les rendements logarithmiques qui eux, n'ont aucun lien de causalité avec les rendements du prix du carbone.

Si l'on applique une simple régression OLS avec comme variable indépendante les rendements du carbone et comme variable indépendante le rendement de l'indice, on obtient une relation très significative. Il en est de même en utilisant le prix du carbone et le niveau de l'indice (en valeur absolue) mais le R^2 de la régression deviendrait non significatif au seuil de confiance de 95%. Les coefficients sont négatifs avec un niveau moyen de 3%, cela signifie que si les rendements du carbone augmentent de 100%, le rendement des indices baisserait de seulement 3%.

Sur base des résultats des tests précédents, il existerait donc une certaine relation entre les prix du carbone et les indices boursiers mais celle-ci reste très ténue.

Pour conclure la partie concernant l'impact du carbone sur les indices :

- Les rendements anormaux simples et cumulés (AR et CAR) ne sont pas significativement de 0 par rapport aux rendements des indices, même si certains évènements tendent à être plus significatifs mais sans jamais atteindre un seuil minimal.
- Les corrélations entre le prix du carbone et des indices sont significatives mais faibles avec un ordre de 0,12
- La causalité du prix du carbone impacte les indices principaux d'Europe du Nord avec un ordre de 1 à 7 mais cette relation n'impacte pas ou très peu les rendements.

Etape 4 : Analyse globale des rendements du carbone, des entreprises vertes et polluantes

Pour comparer l'impact des prix du carbone sur des cours boursiers individuels, la méthode choisie a été de constituer un échantillon d'entreprises européennes divisé en 2 groupes. Le premier est constitué de 23 entreprises dont le bilan environnemental a été considéré comme vert (green), tandis que le second se base sur 49 entreprises polluantes (brown).

La méthodologie de constitution des échantillons a été la suivante.

- Entreprises durables (green) : pour constituer la liste Clean200 de Bloomberg qui répertorie les 200 entreprises cotées mondialement qui font usage de la plus grande part d'énergie renouvelable en 2016. Pour pouvoir entrer dans ce classement, la valeur boursière minimale est d'un milliard de dollars et 10 % de chiffre d'affaires durable. Ensuite cette liste a été limitée aux 23 entreprises européennes (annexe 5) afin de mieux capturer l'impact des effets de la législation EU ETS.

- Entreprises non durables (brown) : les 200 plus importants émetteurs de CO2 de la liste Standards & Poors 500 établie par Schutze et al (2018). Dans la même optique, il a été retenu les 49 entreprises européennes (annexe 4).

Le rendement journalier de ces entreprises a été compilé dans un portefeuille selon une répartition égale des poids de chaque action (Equally-weighted). Diverses relations et influences sont envisagées en prenant en compte la valeur absolue du prix du carbone ou bien la série des rendements qui y sont liés.

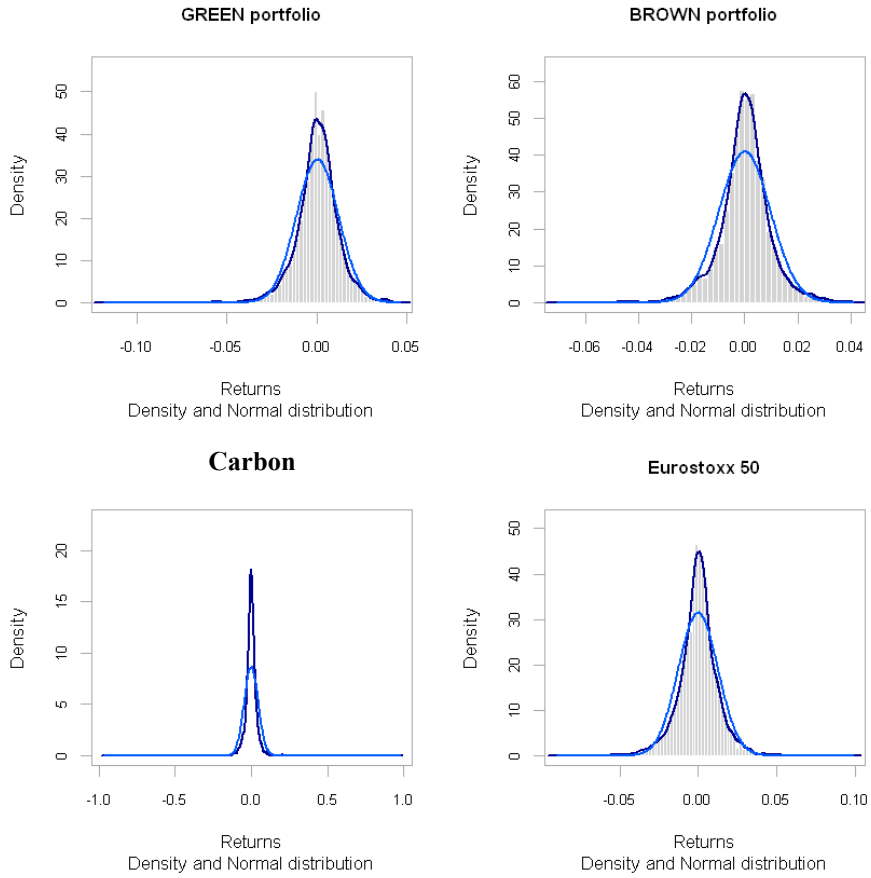
Distribution des rendements des variables boursières étudiées :

Les statistiques générales (exprimés sous une périodicité journalière) sur le risque du portefeuille Green, Brown, Carbon et Eurostoxx sont présentés dans le tableau suivant :

	Green	**Brown**	**Carbon**	**Eurostoxx**
Mean	0.0003	0.0001	0.0003	0.0001
Std Dev	0.0118	0.0098	0.0463	0.0127
Skewness	-0.8658	-0.4693	-0.2122	-0.1691
Kurtosis	6.8891	3.7099	196.6873	4.4272
VaR 95%	-0.0201	-0.0165	NA	-0.0202
ES 95%	-0.0432	-0.0285	NA[3]	-0.0334

Le cours du carbone est de loin le plus risqué des actifs étudiés en considérant la grandeur de sa variance (0.0463). Le portefeuille Brown quant à lui, serait le moins risqué comme le montre sa variance (0.0098) ou son Expected Shortfall (ES) de -2.85%. Le rendement le plus élevé est observé pour le portfeuille Green mais possède par relation un risque plus élevé.

[3] Les résultats pour la VaR et l'ES n'étant pas calculables vu les valeurs extrêmes prises par le rendement du prix du carbone.



Interprétation et explication des statistiques de distribution :

Skewness

Le skewness est un coefficient d'asymétrie, lorsqu'il est négatif, cela signifie que la distribution a un nombre d'observations plus important à gauche (côté pertes), c'est le cas pour tous les portefeuilles observés et plus particulièrement pour le portefeuille d'entreprises vertes. Cela indique que les pertes les plus négatives ont un poids plus important que dans une loi normale dans le cadre des entreprises dites vertes.

Kurtosis

Le rendement des entreprises « brown » présente un coefficient d'aplatissement de 3,7 qui se rapproche d'une distribution normale correspondant à une valeur de 3. Le coefficient des entreprises « green » indique une distribution leptokurtique de 6,9, contenant plus d'observations ayant une valeur moyenne qu'une distribution de type normal.

Value at Risk et Expected Shortfall

Cette notion est apparue dans les années 80 dans le milieu des assurances mais a été véritablement popularisé par la banque JP Morgan dans le courant des années 90. Il s'agit d'une mesure de référence du risque sur les marchés financiers car elle mesure la perte potentielle qui ne devrait être atteinte qu'avec une probabilité donnée sur un espace temporel donné. Il s'agit de la perte la plus préjudiciable attendue sur un horizon temporel donné et pour un niveau de

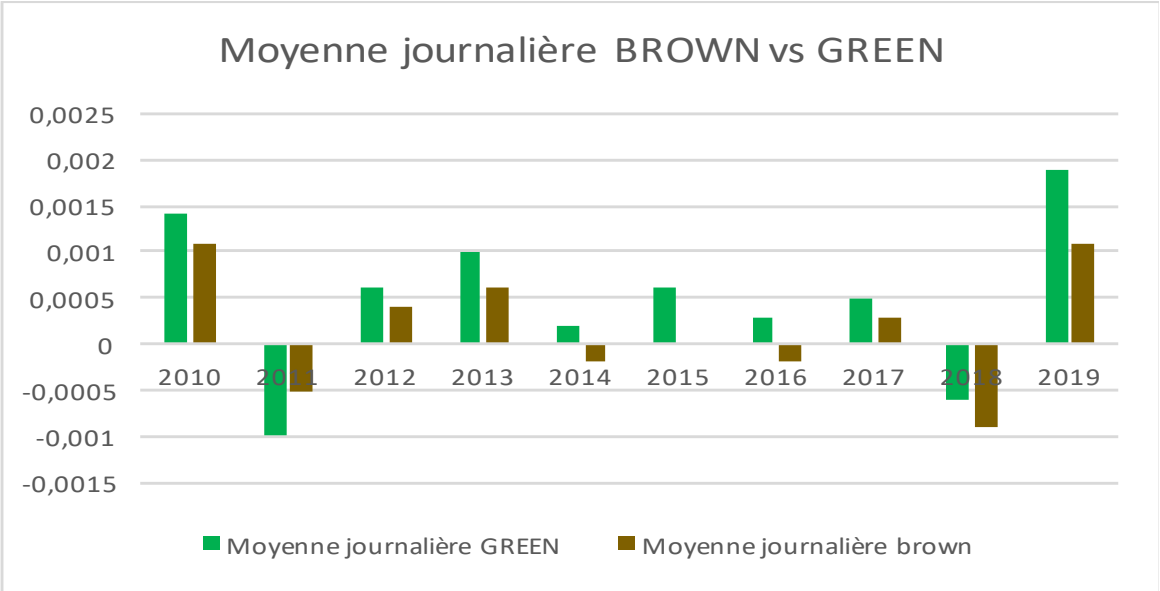
confiance donné. Sur le plan statistique, elle reflète l'information contenue dans la queue gauche de la distribution des pertes et profits des actifs. De son côté, l'Expected Shortfall (ES) indique la perte moyenne sur les 5% plus bas rendements (ou pertes) de la distribution. Cette mesure permet d'éviter de négliger les pertes plus importantes au-delà du seuil de confiance, ce qui n'est pas le cas de la Value At Risk. Ces indicateurs permettent donc de synthétiser facilement le risque global d'un portefeuille.

L'interprétation de la Value At Risk indique qu'avec le portefeuille Brown, l'investisseur ne peut s'attendre à perdre 1,65 % sur une base de 95% de la population des rendements journaliers du portefeuille Brown. Le portefeuille Green performe moins bien puisque sa Value At Risk est de -2,01% pour le même niveau de confiance. Ceci se confirme lors de l'analyse de l'Expected Shortfall qui correspond à la moyenne des 5% de pertes les plus importantes.

Les résultats de cette étape semblent nous mettre sur la piste d'un retour sur investissement plus important obtenu par les entreprises qui effectuent des investissements verts. Toutefois, le risque des entreprises vertes est en moyenne 3 fois plus élevé que celui des entreprises dites polluantes. Cela pourrait s'expliquer par le fait qu'un investissement écologique représente un risque supérieur du fait de l'incertitude généré par les prix du carbone.

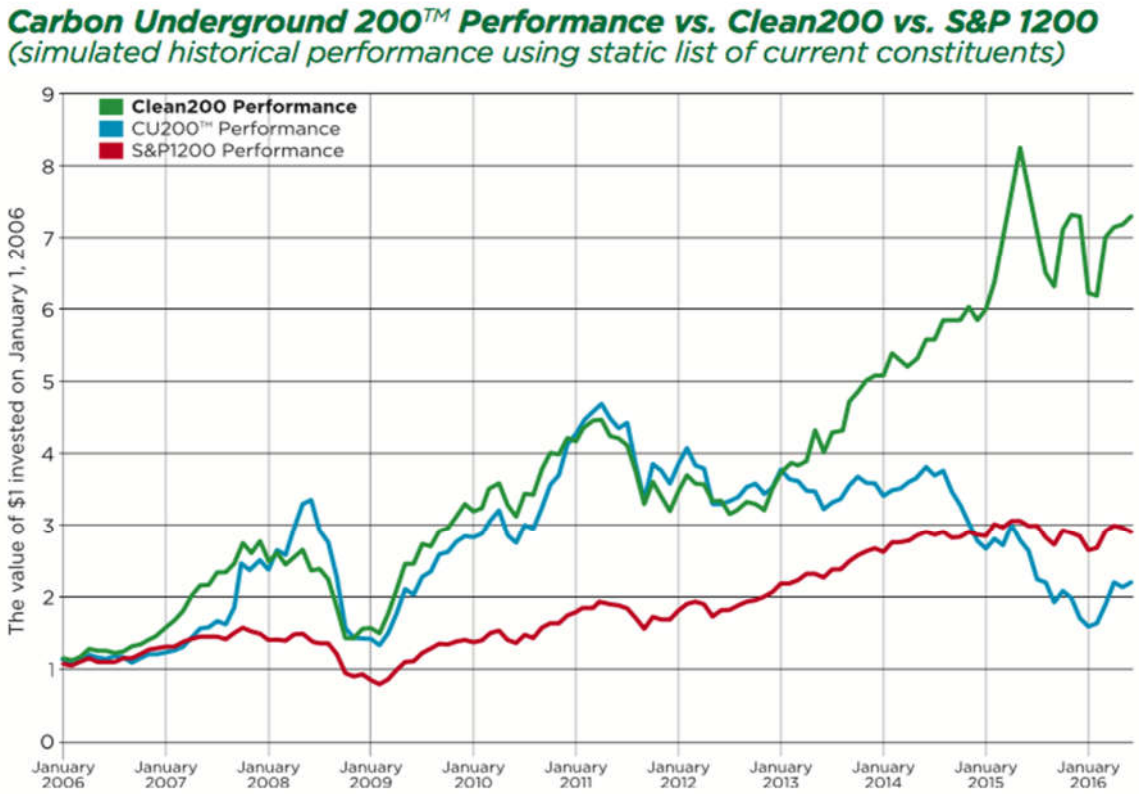
Comparaison des portefeuilles

Année	Moyenne journalière Green	Ecart-type Green	Moyenne journalière Brown	Ecart-type Brown
2010	0.0014	0.0117	0.0011	0.0100
2011	-0.0010	0.0170	-0.0005	0.0148
2012	0.0006	0.0119	0.0004	0.0099
2013	0.0010	0.0088	0.0006	0.0073
2014	0.0002	0.0096	-0.0002	0.0081
2015	0.0006	0.0124	0.0000	0.0118
2016	0.0003	0.0145	-0.0002	0.0112
2017	0.0005	0.0072	0.0003	0.0048
2018	-0.0006	0.0106	-0.0009	0.0074
2019	0.0019	0.0103	0.0011	0.0065



On constate que les entreprises vertes procurent en moyenne un taux d'intérêt plus élevé sur l'ensemble des observations. Toutefois en 2011, les rendements sont négatifs pour tous. Cela pourrait résulter de la crise de la dette des Etats. En moyenne, investir dans des entreprises vertes s'avère plus rémunérateur que dans des entreprises polluantes.

- **Comparaison avec le classement Clean200 mondial**



Source : Corporate Knight, 2016[4]

[4] https://www.asyousow.org/report/clean200-2019-q1, consulté le 9 avril 2019

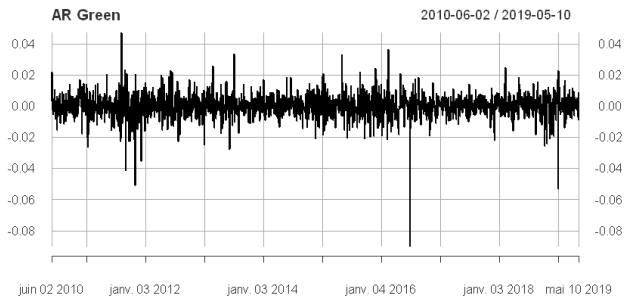
Les résultats obtenus précédemment concordent avec les performances observées pour l'ensemble des entreprises Clean 200 sur base restreinte utilisée dans l'étude de Schutze et al. (2018). On constate que sur base mondiale, le Clean 200 a surperformé l'indice S&P 1200 et les entreprises polluantes. Un point d'inflexion peut être constaté début 2013 où les entreprises vertes ont commencé à surperformer par rapport aux entreprises polluantes. Ceci correspond approximativement à la date du premier évènement identifié dans les étapes 1 et 2.

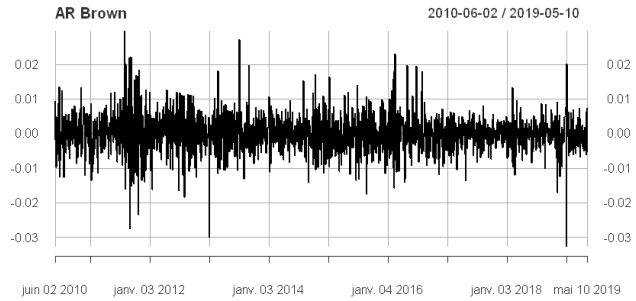
Toutefois, dans le cadre de ce travail, nous nous concentrons uniquement sur les entreprises européennes dans le but de capturer les rendements anormaux attribuables au contexte législatif EU ETS.

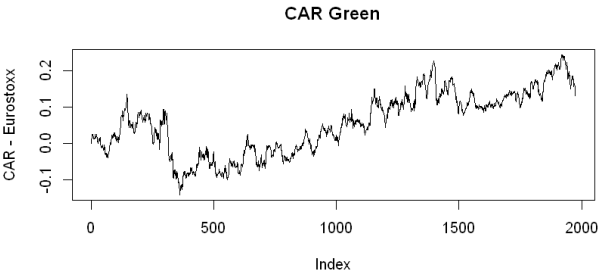
Etape 5 : Analyse de l'influence du prix du carbone sur les portefeuilles d'entreprises vertes et polluantes

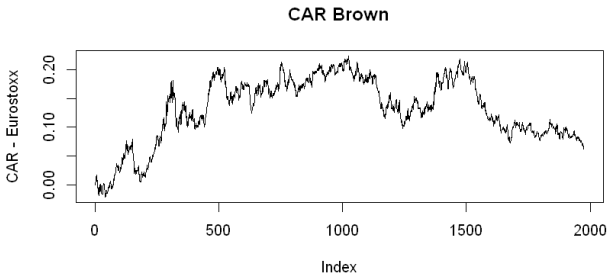
Comme le montrent les résultats de l'étape précédente, les entreprises vertes tendent à surperformer les entreprises polluantes. L'analyse actuelle va se concentrer sur l'influence du prix du carbone afin de déterminer si cela est la cause du différentiel de performance entre les 2 portefeuilles.

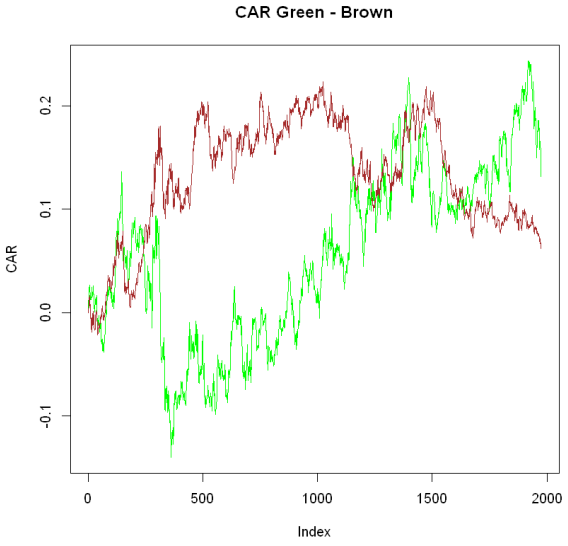
Pour ce faire, les rendement anormaux (AR) et cumulés (CAR) des entreprises vertes et polluantes a été comparé à l'indice eurostoxx50.











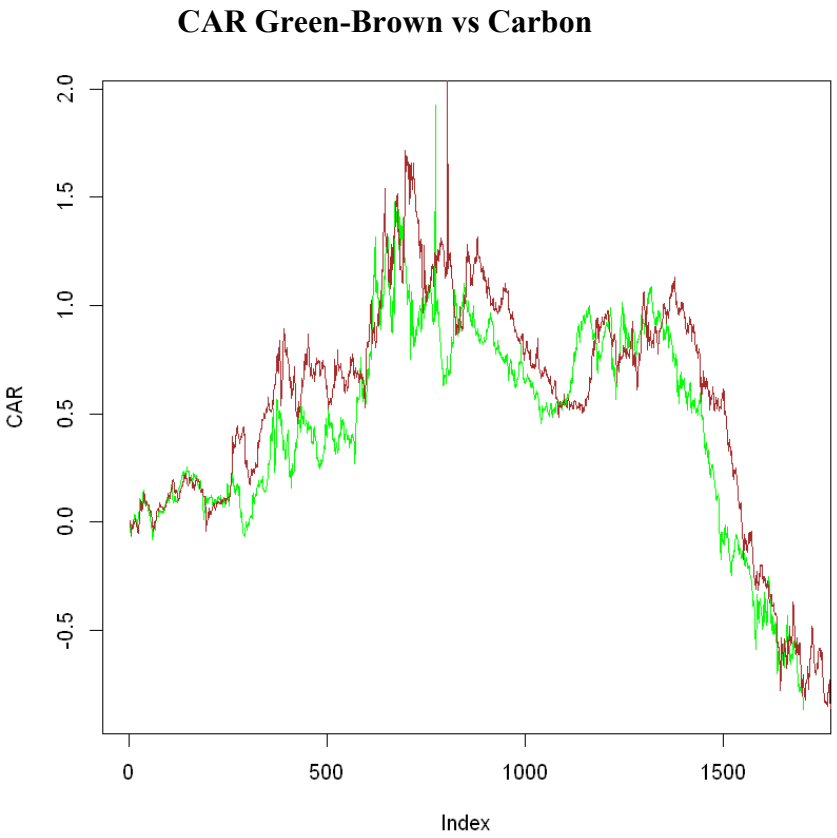
On constate plusieurs zones de volatilité en observant les rendements anormaux des entreprises vertes et polluantes. Aucun des rendements CAR n'est significativement différent de 0 par rapport aux rendements de l'Eurostoxx50. De ces graphiques, on peut constater que les rendements CAR du portefeuille green sont inférieurs à celui du Brown mais qu'à partir de 2016, la situation tend à s'inverser.

Etape 6 : Test de causalité au sens de Granger sur les portefeuilles

En effectuant la démarche du test de Granger avec les rendements de Green et Brown, aucune influence du prix du carbone n'est constatée, tant en valeur absolue sur les prix, qu'au niveau des rendements. Le rendement ne serait donc pas lié à celui du cours du carbone.

Si l'on se concentre sur les corrélations, aucune n'est significative au seuil de confiance à 95%, de plus la corrélation n'est que de 0.0345 entre Green et Carbon, et de 0.0141 entre Brown et Carbon.

En comparant les rendements AR et CAR des 2 portefeuilles par rapport aux rendements du cours du carbone, on obtient :



Environ en janvier 2016 les CAR étaient plus faibles pour les firmes vertes, ce n'est plus le cas en fin de période. Aucune différence n'apparaît si ce n'est qu'un décalage du portefeuille Green qui suivrait la même tendance que Brown.

Aucune valeur n'est significativement différente de 0 au seuil de confiance à 95%.

Interprétation de la partie empirique

Le cours boursier de la tonne de carbone a une influence sur les indices boursiers au sens de Granger à l'exception du sud de l'Europe. Toutefois, cette influence est très limitée vu les taux de corrélation avoisinant les 12%.

Le portefeuille d'entreprises vertes s'est avéré le plus rémunérateur en comparaison avec le portefeuille des entreprises les plus polluantes sur la période étudiée. Il permet même une rentabilité supérieure à l'eurostoxx50 pour un niveau de volatilité comparable. Cependant, ce portefeuille « green » est sensiblement plus risqué que le portefeuille « brown ».

Les modifications instaurées lors de la troisième mouture de la législation EU ETS à savoir, la mise en place des enchères de quotas en 2013 et le report de 900 millions de quotas dès 2014 en vue d'éviter la surallocation ont eu une influence notable sur la volatilité de la tonne de carbone.

Comme le montrent les travaux de Koch et al (2014), 90 % des déterminants du prix du carbone n'ont pas pu être capturés. Nombre d'autres facteurs entrent en jeu tels que les indicateurs économiques et la température (De Bruyckere, 2007). Cela pourrait expliquer l'absence de causalité significative des variations du prix sur les portefeuilles étudiés.

Dès 2014, il y a effectivement une accentuation des rendements des entreprises vertes alors que celui des entreprises les plus polluantes se tassent. L'ampleur de ces entreprises représentant plus d'un milliard de dollars peut expliquer que les quotas auraient pu être obtenus en surplus par le biais de manœuvres politiques comme le suggère la littérature. En effet, plus objectivement, la persistance après 2014 du mécanisme d'allocation de quotas pour 50 % des émissions a probablement bénéficié en priorité aux grandes entreprises. Nombre d'auteurs ont démontré que les grandes structures tentaient à être favorisées par le mécanisme dit du « grand-fathering » basé uniquement sur les émissions historiques (Ahman et al. 2006; Convery et al. 2008; Cheneviere 2009; Le Cacheux et al. 2009).

Limites de l'analyse

L'agence européenne pour l'environnement ne met à la disposition du public que les statistiques d'attribution et émissions de quotas par pays ainsi que par site d'exploitation. Les données agrégées concernant les quotas attribués à l'échelle des entreprises cotées restent opaques. Il est possible de se procurer ces informations moyennant une licence très coûteuse auprès de l'entreprise Carbon Market Data ou par le biais de Bloomberg.

Dans ce travail, il a donc été incontournable de se limiter à 2 échantillons reprenant 400 entreprises cotées dont 200 considérées comme les plus polluantes, les autres étant considérées comme les plus vertes. Cette classification a été faite au niveau mondial sur base objective par Corporate Knights. De ces 400 entreprises, il n'a été retenu que les 72 européennes dont 23 vertes et 49 polluantes. A l'intérieur de ces sous-échantillons, la distinction concernant le nombre exact de droits de polluer obtenu ou de tonnes de carbone émises est là aussi inconnue sur base de données publiques.

La taille de l'échantillon et la haute capitalisation des entreprises ont probablement limité la significativité des résultats. Or, les effets de la méthode du « grandfathering » et les coûts du système sont sensiblement différents en fonction de la taille des entreprises (Juraité, Convery & Di Maria 2010).

Conclusion générale

L'EU ETS est un système pionnier de droits d'échange de quotas de pollution. Le but de ce système est d'internaliser les coûts externes générés par les rejets de carbone. Pendant les deux premières phases (2005-2012), il est clair que ce principe du pollueur-payeur ne s'est pas appliqué vu que les quotas étaient attribués à titre gratuit sur base d'une répartition interne décidée par les Etats membres dans un plan national d'allocation. Le système EU ETS ayant pour intention de réduire les émissions, a été utilisé comme outil d'aide d'Etat pendant les deux premières phases. La littérature étant déjà suffisamment détaillée à ce sujet, ce mémoire s'est donc intéressé à la transition vers la phase 2013-2020.

La question de recherche était : « Quel est l'impact de la troisième phase du système EU ETS sur la valorisation boursière du carbone, sur celle des entreprises et dans quelle mesure cette législation favorise la réduction des émissions ? »

Ce travail permet de confirmer la rentabilité plus élevée des investissements dans un portefeuille d'entreprises vertes par rapport à un échantillon d'entreprises polluantes moyennant une prise de risque plus importante. Il y a donc bien un lien entre l'intensité carbone et la valorisation boursière comme étayé dans la littérature préexistante (Oestreich 2012 ; Pereira et al. 2016).

On constate un phénomène de « volatility clustering » lors de deux faits marquants. Premièrement, autour de la date de mise en œuvre de la troisième mouture début 2013, caractérisée par la mise aux enchères de la moitié des quotas et par l'harmonisation des objectifs et règles d'attribution au niveau européen. Les Etats n'ont à ce titre plus aucune compétence dans la répartition des quotas entre secteurs et la fixation de l'objectif qui vise une réduction linéaire de 1,74% par an. La seconde période de volatilité accrue se situe début 2014 lors de la décision de « backloading » amendant la directive fixant les règles de la phase 3 en vue de reporter 900 millions de tonnes de droits dans un premier temps jusqu'en 2019-2020.

Ces mesures visant une remontée du prix du carbone afin de le maintenir à un niveau suffisant pour encourager les investissements verts semblent prendre leurs effets depuis fin 2017 avec le démarrage des négociations concernant la phase 4. Cette phase inclut un objectif plus ambitieux de réduction linéaire annuelle (2,2 % au lieu de 1,74%). En outre, le nouveau report à 2021-2030 de la réserve de backloading constitué en 2014 et la création d'une réserve de stabilité ont probablement joué un rôle de signal pour l'investisseur.

Il ressort de ce travail que les entreprises classées comme vertes sont plus rémunératrices que les entreprises non durables mais moyennant un niveau de risque plus élevé se traduisant par une occurrence plus fréquente des pertes exceptionnelles. Le changement de paradigme évoqué par Schutze (2018) semble prendre son sens. En effet, on observe qu'à travers le temps, les marchés financiers tendent à sanctionner les entreprises polluantes. De plus, un lien de causalité modéré au sens de Granger des prix du carbone sur les indices boursiers tels que CAC40, AEX, FTSE a été observé.

Cependant, le lien direct entre un prix du carbone plus élevé et le cours de bourse des entreprises n'est pas significatif. Cela pourrait s'expliquer par la tendance des entreprises à reporter le coût du système sur le consommateur final (Fell et al., 2015) et la possibilité de produire en dehors de l'Union Européenne. Les données ne permettent pas de chiffrer le pourcentage d'activité réalisé dans des pays tiers. Ce risque de fuites de carbone est accru pour les grandes entreprises (Notamment : Levinson 2008 ; Smale, 2011).

La manière dont les secteurs sont déterminés comme étant à risque de concurrence internationale fait l'objet de critiques. C'est le résultat de compromis entre les Etats membres qui aboutit à de multiples exceptions comme le secteur aérien qui bénéficie encore de quotas gratuits.

En conclusion, les déclarations et décisions de partis climato-sceptiques, plus particulièrement les orientations politiques américaines actuelles pourraient créer un appel d'air pour des entreprises polluantes. Dans l'idéal, une harmonisation au niveau mondial serait nécessaire et à ce titre, l'accord de Paris reste peu contraignant pour les cocontractants.

Bibliographie

Anderson, B., Convery, F., & Di Maria, C. (2011). Technological change and the EU ETS: the case of Ireland.

Alberola, E., Chevallier, J., & Chèze, B. (2008). Price drivers and structural breaks in European carbon prices 2005–2007. Energy policy, 36(2), 787-797.

Ambec, S., Cohen, M. A., Elgie, S., & Lanoie, P. (2013). The Porter hypothesis at 20: can environmental regulation enhance innovation and competitiveness?. Review of environmental economics and policy, 7(1), 2-22.

Bel, G., & Joseph, S. (2015). Emission abatement: Untangling the impacts of the EU ETS and the economic crisis. Energy Economics, 49, 531-539.

Benz, E., & Trück, S. (2009). Modeling the price dynamics of CO2 emission allowances. Energy Economics, 31(1), 4-15.

Bunn, D. W., & Fezzi, C. (2007). Interaction of European carbon trading and energy prices.

Bushnell, J. B., Chong, H., & Mansur, E. T. (2013). Profiting from regulation: Evidence from the European carbon market. American Economic Journal: Economic Policy, 5(4), 78-106.

Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique. (2016). Notice explicative sur les modifications d'allocations de quotas dans le cadre de la troisième période du SEQE-UE, Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer de France, mai 2016.

Cheneviere, C. (2009). Le marché européen des quotas de CO2. Courrier hebdomadaire du CRISP, (35), 5-51.

Commission européenne. (2001). Le sixième programme communautaire d'action pour l'environnement du 24/01/2001.

Commission européenne. (2003). Directive N° 2003/87/CE du Parlement européen et du Conseil du 13 octobre 2003 établissant un système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre dans la Communauté et modifiant la directive 96/61/CE du Conseil.

Commission européenne. (2008). Communication du 21/03/2008 - Saisir la chance qu'offre le changement climatique.

Commission européenne. (2009). Directive N° 2009/87/CE modifiant la directive N° 2003/87/CE afin d'améliorer et d'étendre le système communautaire d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre.

Commission européenne. (2009). Règlement N° 1031/2010 relatif au calendrier, à la gestion et aux autres aspects de la mise aux enchères des quotas d'émission de gaz à effet de serre conformément à la directive 2003/87/CE du Parlement européen et du Conseil établissant un système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre dans la Communauté.

Commission européenne. (2014). Règlement n°176/2014 du 25/02/2014 modifiant le règlement (UE) n° 1031/2010 afin, notamment, de déterminer les volumes de quotas d'émission de gaz à effet de serre à mettre aux enchères pour la période 2013-2020.

Commission européenne. (2015). EU ETS Handbook.

Commission européenne. (2015). Proposition de décision du Parlement européen et du Conseil concernant la création et le fonctionnement d'une réserve de stabilité du marché pour le système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre de l'Union et modifiant la directive 2003/87/CE.

Commission européenne. (2018). Communiqué de presse sur la réforme du système d'échange de quotas d'émission de l'UE: le Conseil approuve de nouvelles règles pour la période 2021-2030, 27/02/2018.

Convery, F. J., Ellerman, A. D., & De Perthuis, C. (2008). The European carbon market in action: Lessons from the first trading period. Massachusetts Institute of Technology, Center for Energy and Environmental Policy Research.

Da Silva, P. P., Moreno, B., & Figueiredo, N. C. (2016). Firm-specific impacts of CO2 prices on the stock market value of the Spanish power industry. Energy Policy, 94, 492-501.

De Perthuis, C., & Trotignon, R. (2014). Governance of CO2 markets: Lessons from the EU ETS. *Energy Policy*, *75*, 100-106.

De Bruyckere, V. (2007). De prijsvorming op de europese CO2-markt. UGent.

Ec.Europa.eu. (2012). Commission appoints European Energy Exchange AG (EEX) as first common auction platform. https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_fr, consulté le 4 avril 2019.

Ec.Europa.eu. (2019). Statistiques d'émissions atmosphériques. https://ec.europa.eu/eurostat/web/environment/overview, consulté le 26 mars 2019.

Ec.Europa.eu. (2019). Système d'échange de quotas d'émission de l'UE (SEQE-UE). https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_fr, consulté le 26 mars 2019.

Ellerman, A. D., & Buchner, B. K. (2008). Over-allocation or abatement ? A preliminary analysis of the EU ETS Based on the 2005-06 Emissions Data. Environmental and Resource Economics, vol. 39, n°2, October.

Euractiv.com. (2011). EU steels itself for carbon rules challenge, https://www.euractiv.com/section/climate-environment/news/eu-steels-itself-for-carbon-rules-challenge/, consulté le 5 avril 2019.

Fell, H., Hintermann, B., & Vollebergh, H. (2015). Carbon content of electricity futures in Phase II of the EU ETS. The energy journal, 61-83.

Goulder, L. H., Hafstead, M. A., & Dworsky, M. (2010). Impacts of alternative emissions allowance allocation methods under a federal cap-and-trade program. Journal of Environmental Economics and management, 60(3), 161-181.

Grubb, M., & Neuhoff, K. (2006). Allocation and competitiveness in the EU emissions trading scheme: policy overview. Climate Policy, 6(1), 7-30.

Hardin, G. (1968). The tragedy of the commons. science, 162(3859), 1243-1248.

Jaffe, A. B., Peterson, S. R., Portney, P. R., & Stavins, R. N. (1995). Environmental regulation and the competitiveness of US manufacturing: what does the evidence tell us?. Journal of Economic literature, 33(1), 132-163.

Jaraitė, J., Convery, F., & Di Maria, C. (2010). Transaction costs for firms in the EU ETS: lessons from Ireland. Climate Policy, 10(2), 190-215.

Koch, N., Fuss, S., Grosjean, G., & Edenhofer, O. (2014). Causes of the EU ETS price drop: Recession, CDM, renewable policies or a bit of everything?—New evidence. Energy Policy, 73, 676-685.

Kothari, S. P., & Warner, J. B. (2007). Econometrics of event studies. In Handbook of empirical corporate finance (pp. 3-36). Elsevier.

Laurent, E., & Le Cacheux, J. (2009). Une Union sans cesse moins carbonée? Vers une meilleure fiscalité européenne contre le changement climatique (p. 74). Notre Europe.

Levinson, A., & Taylor, M. S. (2008). Unmasking the pollution haven effect. International economic review, 49(1), 223-254.

Löfgren, Å., Wråke, M., Hagberg, T., & Roth, S. (2013). The Effect of EU-ETS on Swedish Industry's Investment in Carbon Mitigating Technologies.

Mansanet Bataller, M., Pardo Tornero, Á., & Valor, E. (2006). CO2 prices, energy and weather. Available at SSRN 913964.

Nations Unies. (1998). Protocole de Kyoto.

Oestreich, A. M., & Tsiakas, I. (2015). Carbon emissions and stock returns: Evidence from the EU Emissions Trading Scheme. Journal of Banking & Finance, 58, 294-308.

Reinaud, J. (2007). CO2 allowance and electricity price interaction: impact on industry's electricity purchasing strategies in Europe. In CO2 allowance and electricity price interaction: impact on industry's electricity purchasing strategies in Europe. oecd/iea.

Sandoff, A., & Schaad, G. (2009). Does EU ETS lead to emission reductions through trade? The case of the Swedish emissions trading sector participants. Energy Policy, 37(10), 3967-3977.

Schütze, F., Aleksovski, D., & Mozetic, I. (2018). Stock market reactions to international climate negotiations.

Smale, R., Hartley, M., Hepburn, C., Ward, J., & Grubb, M. (2006). The impact of CO2 emissions trading on firm profits and market prices. Climate Policy, 6(1), 31-48.

SPF Wallonie. (2014). Guide pour réaliser un bilan des émissions de Gaz à Effet de Serre en Wallonie et pour utiliser le calculateur de l'AWAC.

Sijm, J. P., Bakker, S. J., Harmsen, H. W., Lise, W., & Chen, Y. (2005). CO2 price dynamics. The implications of EU emissions trading for the price of electricity (No. ECN-C--05-81). Energy research Centre of the Netherlands ECN.

Silbye, F. (2018). Towards a more efficient european carbon market. University of Copenhagen.

Thunis, X. (2010). Le principe du pollueur-payeur : de l'imputation des coûts à la détermination des responsabilités. Stratégies de développement durable, 169-1999.

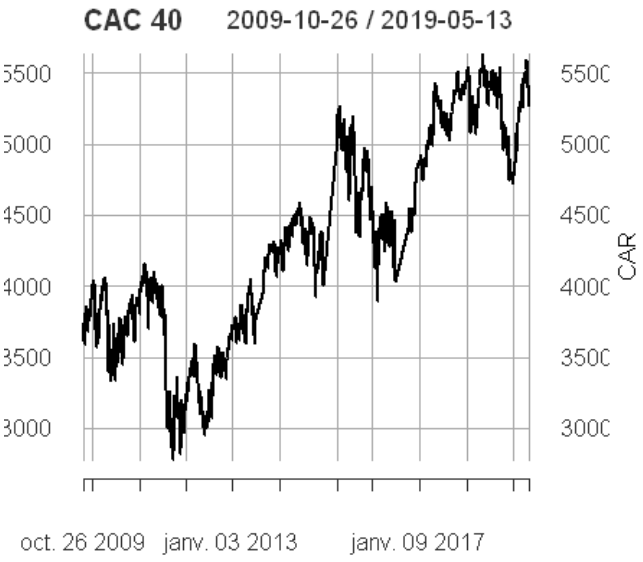
Thunis, X. & de Callataÿ C., (2018)., Notes de cours de droit de l'environnement 2018-2019, UNamur.

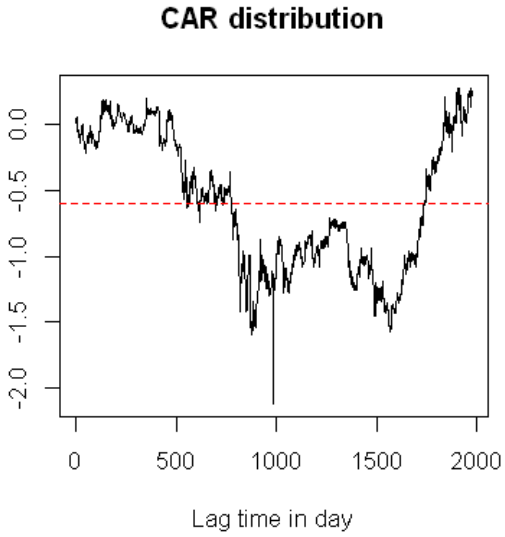
Venmans, F. (2011). L'efficacité environnementale et économique du marché du carbone européen. Courrier hebdomadaire du CRISP, (14), 5-91.

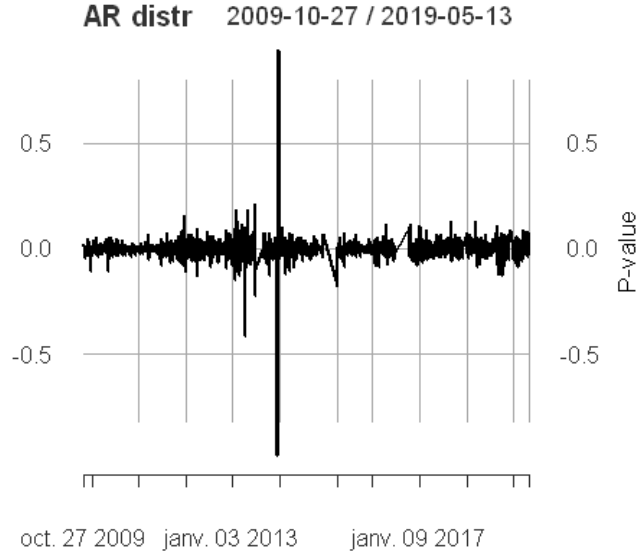
Vlachou, A., & Konstantinidis, C. (2010). Climate change: the political economy of Kyoto flexible mechanisms. Review of Radical Political Economics, 42(1), 32-49.

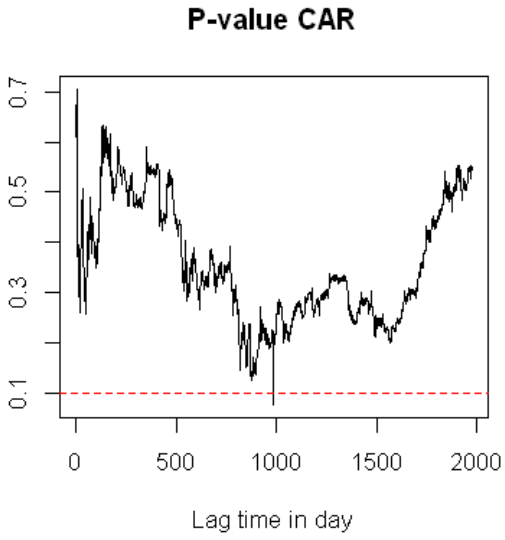
Vollebergh, H. (1997). Environmental externalities and social optimality in biomass markets: waste-to-energy in The Netherlands and biofuels in France. Energy policy, 25(6), 605-621.

Annexe 1 : AR, CAR et p-value des indices du groupe 1 (CAC40, BEL 20 et AEX)

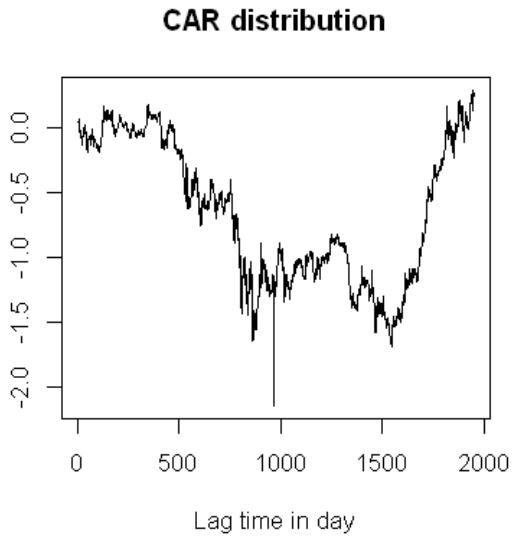


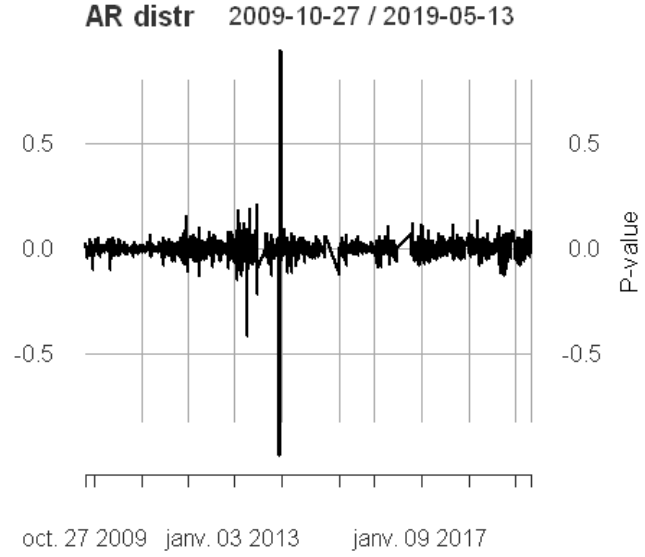


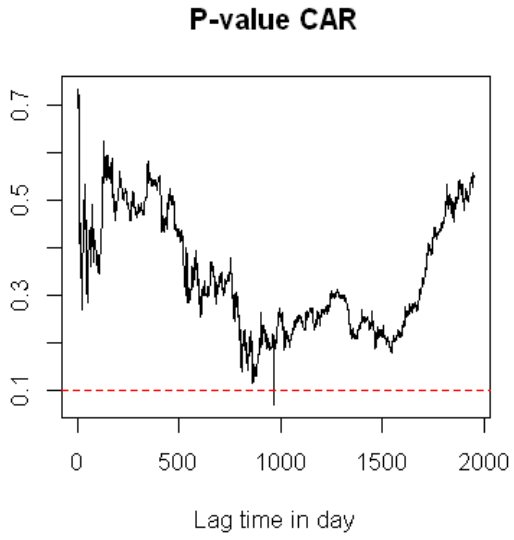




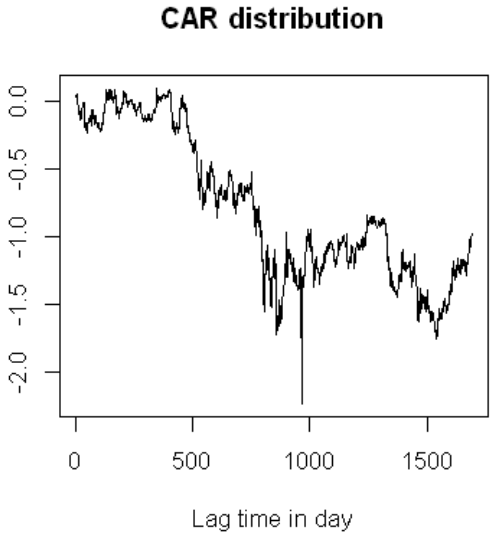
BEL 20
2009-10-26 / 2019-05-13
4000
3500
3000
2500
2000
CAR
oct. 26 2009
janv. 03 2013
janv. 09 2017

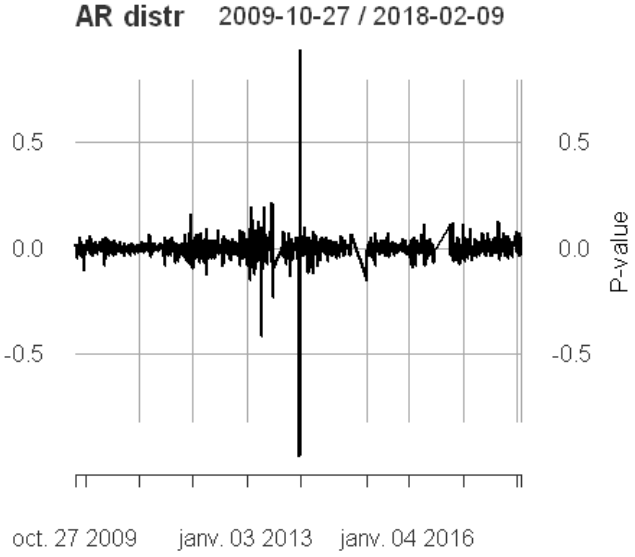

CAR distribution
0.0
-0.5
-1.0
-1.5
-2.0
0
500
1000
1500
2000
Lag time in day

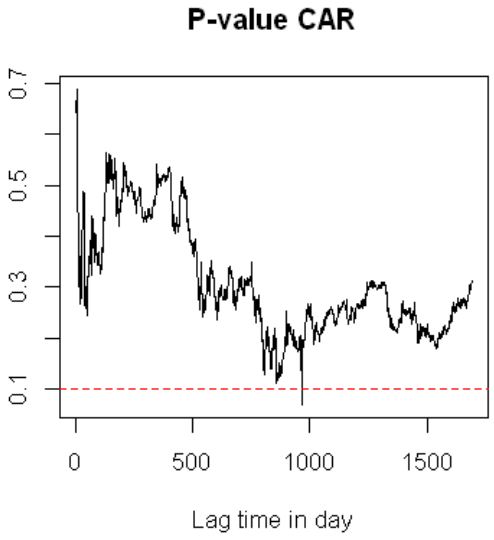

AR distr
2009-10-27 / 2019-05-13
0.5
0.0
-0.5
P-value
oct. 27 2009
janv. 03 2013
janv. 09 2017


P-value CAR
0.7
0.5
0.3
0.1
0
500
1000
1500
2000
Lag time in day

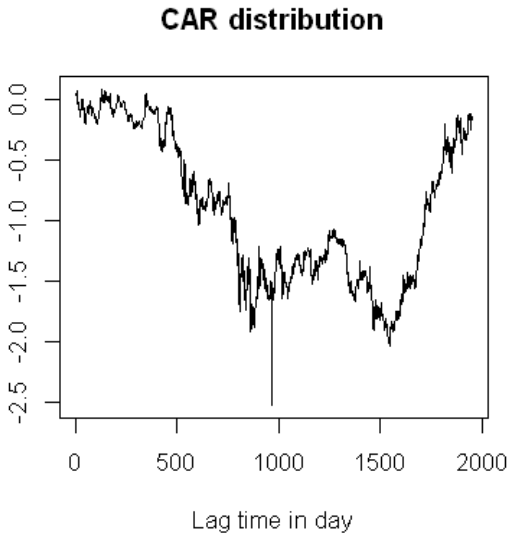
AEX
2009-10-26 / 2018-02-09
550
500
450
400
350
300
CAR
oct. 26 2009
janv. 03 2013
janv. 04 2016

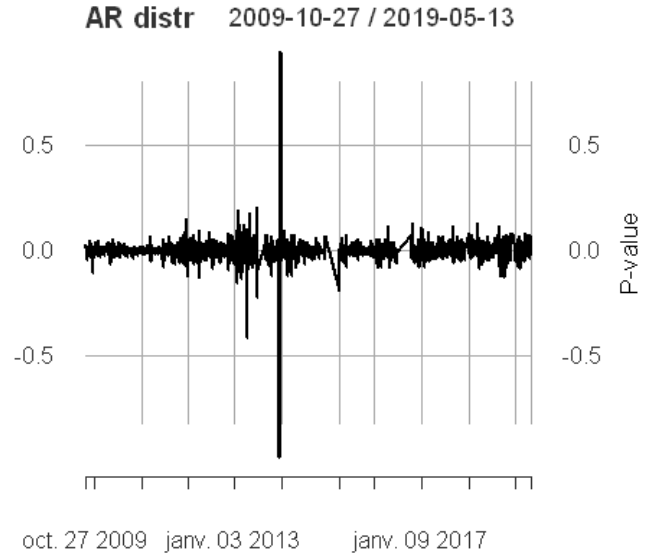

CAR distribution
0.0
-0.5
-1.0
-1.5
-2.0
0
500
1000
1500
Lag time in day

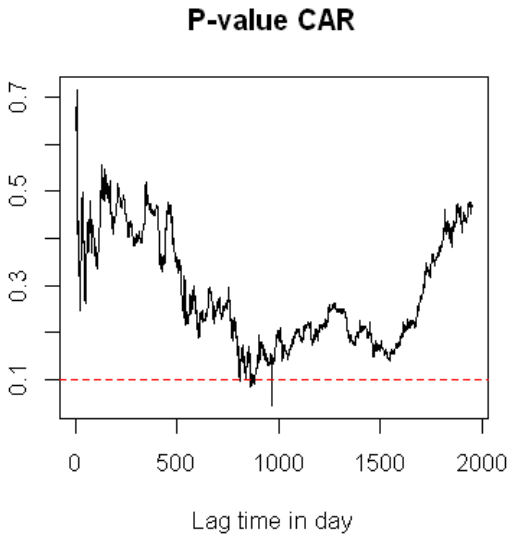

AR distr
2009-10-27 / 2018-02-09
0.5
0.0
-0.5
P-value
oct. 27 2009
janv. 03 2013
janv. 04 2016

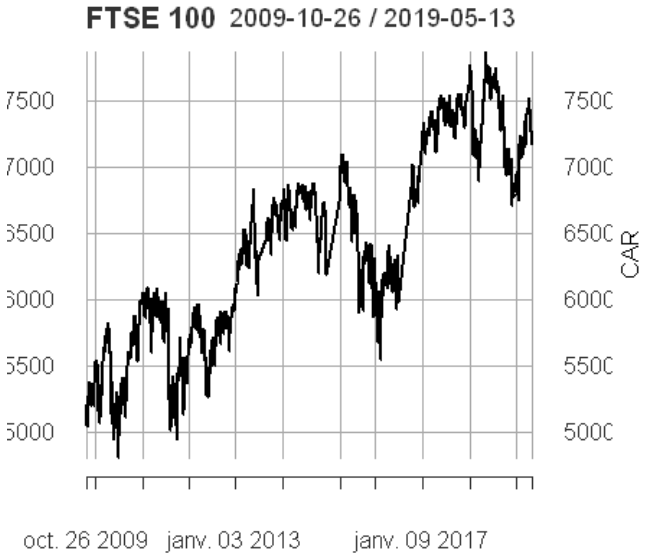

P-value CAR
0.7
0.5
0.3
0.1
0
500
1000
1500
Lag time in day

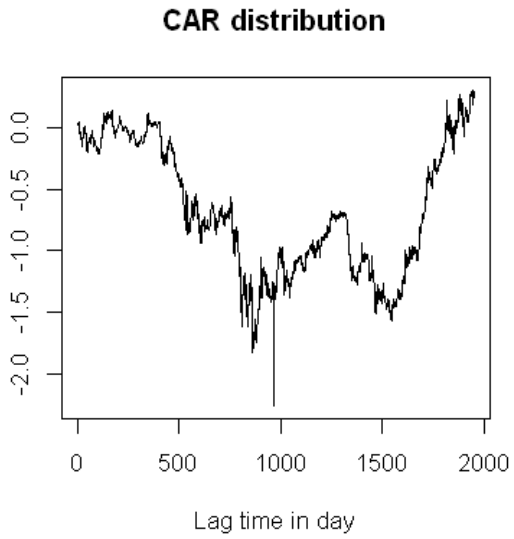
Annexe 2 : AR, CAR et p-value des indices du groupe 2 (DAX et FTSE100)

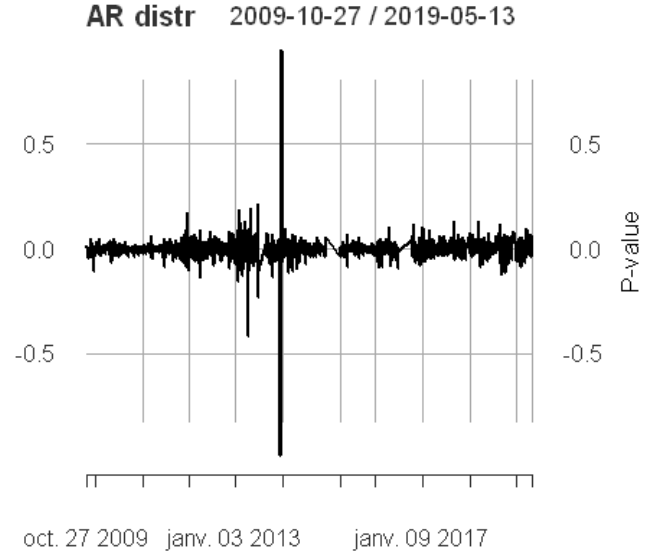


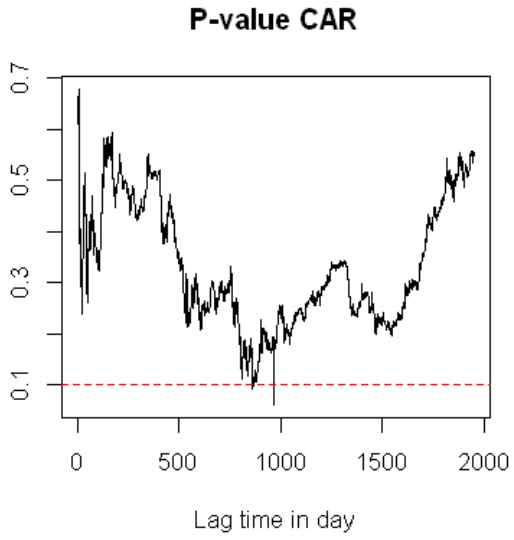




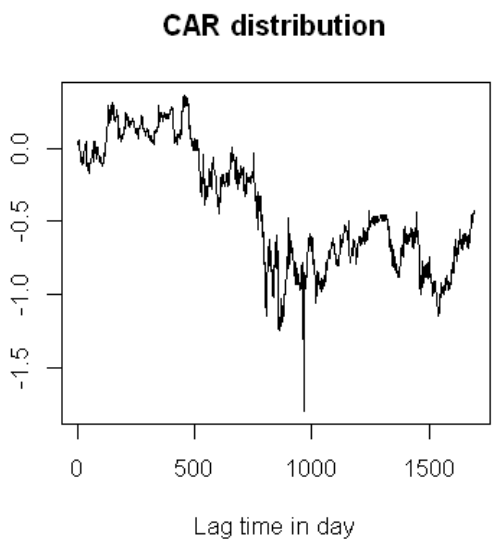

FTSE 100 2009-10-26 / 2019-05-13
7500
7000
6500
6000
5500
5000
CAR
oct. 26 2009
janv. 03 2013
janv. 09 2017

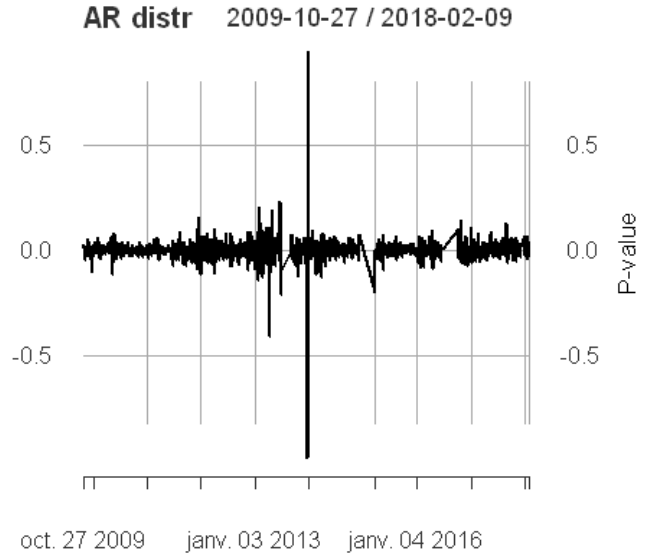

CAR distribution
0.0
-0.5
-1.0
-1.5
-2.0
0
500
1000
1500
2000
Lag time in day

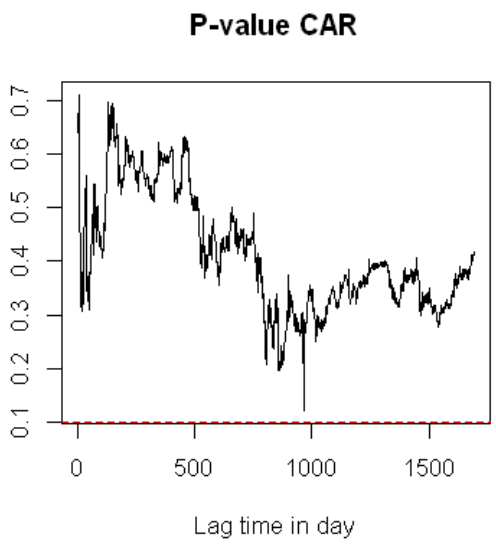

AR distr 2009-10-27 / 2019-05-13
0.5
0.0
-0.5
P-value
oct. 27 2009
janv. 03 2013
janv. 09 2017


P-value CAR
0.7
0.5
0.3
0.1
0
500
1000
1500
2000
Lag time in day

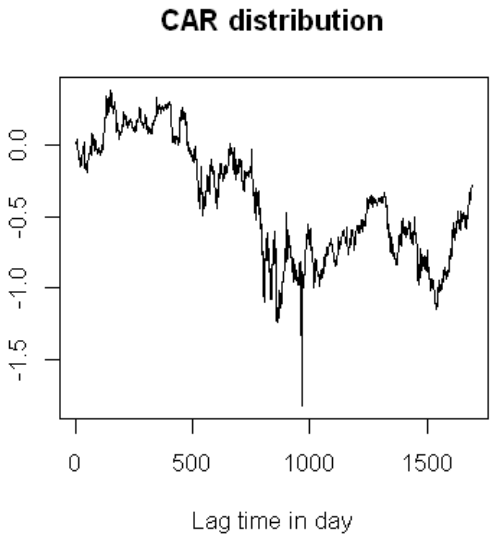
Annexe 3 : AR, CAR et p-value des indices du groupe 3 (Italy et IBEX35)

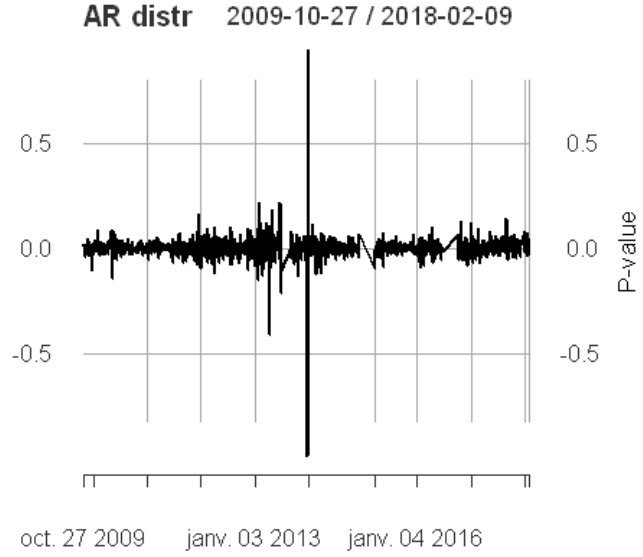


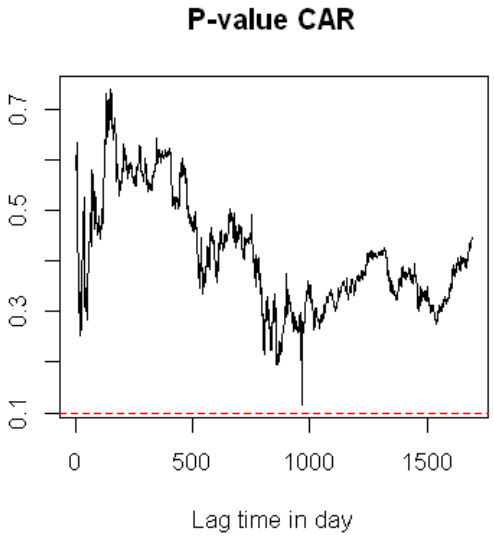




IBEX 35
2009-10-26 / 2018-02-09
2000
1000
9000
8000
7000
6000
1200
1100
1000
9000
8000
7000
6000
CAR
oct. 26 2009
janv. 03 2013
janv. 04 2016


CAR distribution
0.0
-0.5
-1.0
-1.5
0
500
1000
1500
Lag time in day


AR distr
2009-10-27 / 2018-02-09
0.5
0.0
-0.5
0.5
0.0
-0.5
P-value
oct. 27 2009
janv. 03 2013
janv. 04 2016


P-value CAR
0.7
0.5
0.3
0.1
0
500
1000
1500
Lag time in day

Annexe 4 : Description du sous-échantillon d'entreprises « brown »

Company-Brown	**Country**	**Code**
Air_Liquide	France	AI.PA
Carrefour	France	CA.PA
Danone	France	BN.PA
EDF	France	EDF.PA
Orange	France	ORA.PA
Pernod_Ricard	France	RI.PA
Saint-Gobain	France	SGO.PA
Sanofi	France	SAN.PA
Total	France	TOT
Vinci	France	DG.PA
BASF_SE	Germany	BAS.DE
Bayer_AG	Germany	BAYN.DE
BMW AG	Germany	BMW.DE
Continental_AG	Germany	CON.DE
Daimler_AG	Germany	DAI.DE
Deutsche_Post_AG	Germany	DPW.DE
Deutsche_Telekom_AG	Germany	DTEGY
E.ON_SE	Germany	EOAN.DE
Linde_AG	Germany	LIN.DE
RWE_AG	Germany	RWE.DE
SAP_AG	Germany	SAP.DE
ENEL_SpA	Italy	ENEL.MI
Eni_SpA	Italy	ENI.MI
Arcelor_Mittal	Luxembourg	MT
Heineken_NV	Netherlands	HEINY
Royal_Dutch_Shell	Netherlands	RDSA.AS
Endesa	Spain	ELE.MC
Iberdrola_SA	Spain	IBE.MC
Repsol	Spain	REPYY
Anglo_American	UK	AAL.L
Antofagasta	UK	FG1.BE
Associated_British_Foods	UK	AFO1.SG
AstraZeneca	UK	AZN
BAE_Systems	UK	BA.L
BHP_Billiton	UK	BHP
BP	UK	BP
British_American_Tobacco	UK	BTI
BT_Group	UK	BT
Carnival_Corporation	UK	CCL
Centrica	UK	CNA.L

Diageo_Plc	UK	DEO
GlaxoSmithKline	UK	GSK
National_Grid	UK	NGG
Rio_Tinto	UK	RIO.L
Rolls-Royce	UK	RR.L
SSE	UK	SSE.L
Tesco	UK	TSCO.L
Tullow_Oil	UK	TLW.L
Unilever_plc	UK	ULVR.L

Annexe 5 : Description du sous-échantillon d'entreprises « green »

Company-Green	**Country**	**Code**
ANDTRIZ AG	Austria	ANDR.VI
UMICORE	Belgium	UMI.BR
NOVOZYMES-B_SHS	Denmark	NZYM-B.CO
ROCKWOOL_INTL-B	Denmark	ROCK-B.CO
VESTAS_WIND_SYST	Denmark	VWS.CO
SCHNEIDER_ELECTR	France	SU.PA
INFINEON_TECH	Germany	IFX.DE
NORDEX_SE	Germany	NDX1.DE
SIEMENS_AG-REG	Germany	SIE.DE
SMA SOLAR_TECHNO	Germany	S92.DE
SUEDZUCKER_AG	Germany	SZU.DE
WACKER_CHEMIE_AG	Germany	WCH.DE
DIALOG_SEMICOND	UK	DLG.F
EATON_CORP_PLC	Ireland	ETN
KINGSPAN_GROUP	Ireland	KGP.L
PRYSMIAN_SPA	Italy	PRY.MI
ARCADIS_NV	Netherland	ARCAD.AS
ASM_INTL_NV	Netherland	ASML
KONINKLIJKE_PHIL	Netherland	PHG
EDP_RENOVAVEIS S	Spain	EDPR.LS
NIBE_INDUSTRIE-B	Sweden	NIBE-B.ST
SVENSKA_CELL-B	Sweden	SHB-A.ST
SWECO_AB-B	Sweden	SWEC-B.ST