

## **Executive summary :**

Ce mémoire de master étudie la capacité de contrats pour différence indexés sur le prix spot du carbone (CCfD) à décarboner les processus énergétiques de l'industrie lourde, en transférant le risque de l'investisseur vers l'état. Les deux chapitres étudient deux conséquences positives de ce transfert de risque : la réduction de la prime d'irréversibilité d'une part (coût d'opportunité d'un investissement irréversible, dans un cadre d'options réelles), et la réduction de la prime de risque d'autre part (dans un cadre d'aversion au risque).

Les objectifs de transition énergétique fixés au niveau européen et national demandent de réaliser des investissements massifs dans les prochaines décennies, tout au long de la chaîne de valeur énergétique.

En France, le rapport Pisani-Ferry publié en juin 2023 estime par exemple les investissements nécessaires à 67 milliards par an en moyenne d'ici 2030.

En internalisant le prix du carbone, le marché EU ETS est censé rendre ces investissements bas-carbone compétitifs et permettre ainsi de mobiliser les fonds privés. Pourtant, le système de quotas a jusqu'alors plus entraîné des réductions marginales d'émissions (réduction de production ou fuel switching, notamment électrique), que de réels investissements de long terme. Trois facteurs peuvent expliquer ceci : 1. Le niveau du marché carbone est longtemps resté trop bas, notamment pour des raisons de compétitivité ; 2. Indépendamment du prix moyen, la volatilité du marché rend l'investissement bas-carbone risqué et augmente le coût du capital ; 3. Face à cette volatilité élevée, il est très difficile de couvrir le risque d'un investissement bas-carbone, faute d'instrument ou de dérivé disponible sur les horizons de temps des infrastructures (20-50ans).

Le cas de l'industrie lourde est symptomatique : consommatrice majeure d'énergie et représentant plus de 5% des émissions couvertes par l'EU ETS, elle doit réduire ses émissions de 80-95% en 2050 par rapport à 1990. Le prix trop bas du marché carbone fait que le seuil de rentabilité n'est pas encore atteint pour les technologies bas-carbone (direct hydrogen reduction pour l'acier ; électrolyse pour l'ammoniac ; CCS pour le ciment). Et les durées de vie longues des projets entraînent des primes d'irréversibilité élevées et des possibilités de hedging très limitées.

Une solution proposée face à ce problème est la mise en place de contrats carbone pour différence (CCfD). Ces contrats ont largement été étudiés, sont déjà implémentés en pratique aux Pays-Bas, et sont envisagés en Allemagne et en France. Pourtant ni la prime d'irréversibilité, ni l'aversion de l'état aux inégalités intertemporelles (qui s'apparente à une prime de risque), n'ont été pris en compte jusqu'à présent dans leur étude. Ce mémoire propose d'étudier l'impact de ces deux aspects, respectivement dans les chapitres 1 et 2.

Comparativement à d'autres types de contrats plus classiques, indexer une aide publique sur le prix du carbone permet de réduire la prime d'irréversibilité de manière plus efficace, y compris lorsque les agents sont neutres au risque et que l'état ne souhaite pas valoriser les émissions évitées au delà du prix de marché européen (alors que ces deux hypothèses étaient systématiquement nécessaires pour justifier l'intérêt de CCfDs).

La prise en compte de l'aversion de l'état, elle, souligne la nécessité d'indexer les contrats non seulement sur le prix du carbone, mais sur tous les flux de profits et de coûts du projet (dont les coûts de l'énergie). Elle suggère aussi de laisser à l'entreprise une part du risque proportionnelle à l'aversion de l'état (et non 100%), et donc de plutôt mettre en place des Partial Contract for Difference. Ces Contrats permettraient par ailleurs de conserver un signal prix primordial pour que l'industrie verte puisse adapter sa consommation électrique et jouer le rôle de flexibilité attendu d'elle.

## Abstract

This master's thesis undertakes a comprehensive exploration of Carbon Contracts for Differences (CCfDs) in the context of climate urgency and the imperative to accelerate investment in the deep decarbonization of heavy industries. The research addresses critical questions that had hitherto received limited attention in the existing literature.

Chapter 1 of the master thesis focuses on the temporal dimension of CCfDs, a factor often overlooked in prior studies. The central question revolves around whether CCfDs, considered within a real option risk-neutral framework, could accelerate investments to align with European climate objectives. The findings reveal that temporal dynamics, though less obvious than risk reduction, could substantially reduce the necessary carbon market price to trigger investments, particularly in scenarios where the government values abated emissions at the prevailing Emissions Trading System (ETS) price. Moreover, the analysis exposes the likelihood of underestimated irreversibility premiums in the conventional Net Present Value (NPV) approaches used in former publications, underscoring the pivotal role of CCfDs in scenarios where emission reductions are merely valued at carbon market prices.

Chapter 2 delves into the risk sharing through CCfDs, which has often been depicted as an opportunity rather than a genuine risk in the literature. The research emphasizes the critical necessity of indexing CCfDs on every cost and revenue streams of the project to mitigate price risks. Additionally, it introduces the concept of Partial Contracts for Difference, allowing a residual portion of price risk to be borne by the firm. This not only has the potential to enhance social welfare but also provides valuable price signals to incentives demand flexibility. While existing regulatory frameworks limit the indexing of contract on energy prices to a yearly base, the study envisions the future role of Partial Contracts for Difference in addressing evolving needs for flexibility in industrial processes.

In conclusion, this master's thesis significantly advances our understanding of CCfDs and their multifaceted role in facilitating investments in sustainable industrial practices. It highlights the importance of considering temporal dynamics, real options, and risk aversion factors in CCfD modeling, offering valuable insights for policymakers and stakeholders. Furthermore, it calls for a nuanced perspective on the risks and opportunities associated with CCfDs, advocating for comprehensive indexation to foster more effective demand flexibility. These findings serve as a robust foundation for informed decision-making in the pursuit of a greener and more sustainable future in alignment with European climate objectives.