



# THESE DE DOCTORAT DE

L'UNIVERSITÉ DE RENNES 1

ÉCOLE DOCTORALE N° 597  
*Sciences Économiques et Sciences De Gestion*  
Spécialité : *Sciences Économiques*

Par

**Deici Alejandra GIRALDO HURTADO**

**Efficiency improvement and Climate change :  
what energy policies ?**

Thèse présentée et soutenue à Rennes, le 12 Juillet, 2021

Unité de recherche : CREM - UMR CNRS 6211

Centre de Recherche en Économie et Management

## Rapporteurs avant soutenance :

**Katrin MILLOCK** Directrice de recherche CNRS, Paris School of Economics  
**Euan PHIMISTER** Professeur, University of Stellenbosch Business School,  
University of Aberdeen Business School

## Composition du Jury :

**Marie-Hélène HUBERT**, *Présidente*  
Professeure, Université de Rennes 1

**Katrin MILLOCK**, *Rapporteur*  
Directrice de recherche CNRS, Paris School of Economics

**Euan PHIMISTER**, *Rapporteur*  
Professeur, University of Stellenbosch Business School  
University of Aberdeen Business School

**Matthieu GLACHANT**, *Examineur*  
Professeur, MINES ParisTech, CERNA - Centre for industrial economics

**Mouez FODHA**, *Examineur*  
Professeur, Paris School of Economics, Université Paris 1 Panthéon Sorbonne

**Catherine BENJAMIN**, *Directrice de thèse*  
Professeure, Université de Rennes 1



# Résumé en français

Au premier trimestre 2020, le monde a tremblé face à une pandémie dévastatrice. La moitié de la population mondiale était confinée, tandis que les gouvernements tentaient de mettre un terme à la propagation du virus. Après seulement deux semaines de confinement, la qualité de l'air s'est améliorée. Un an après les premières mesures, les émissions de CO<sub>2</sub> ont chuté à un niveau qui pourrait effectivement permettre à l'Union européenne (UE) d'atteindre l'objectif de 20 % d'énergies renouvelables d'ici 2020 (EEA, 2020b). Sans surprise, les émissions de CO<sub>2</sub> sont directement liées à l'activité économique, c'est pourquoi les réductions les plus élevées des émissions de carbone coïncident avec des périodes de crise économique. Néanmoins, une fois l'activité récupérée, la tendance à la hausse reprend (Pindyck, 2020).

L'ampleur de l'influence humaine sur la planète est telle que de nombreux scientifiques considèrent que la Terre vit une transition vers une nouvelle époque géologique, déterminée de manière significative par les choix et l'action humains, appelée l'Anthropocène. Des activités telles que les procédés industriels, la combustion de combustibles fossiles et la déforestation ont conduit à une augmentation moyenne de la température de 1°C au-dessus des niveaux préindustriels. L'augmentation de la concentration mondiale de CO<sub>2</sub> est d'environ 20 ppm (parties par million) par décennie depuis 2000, ce qui est plus rapide que toute augmentation de CO<sub>2</sub> enregistrée au cours des 800 000 dernières années (IPCC, 2018 ; Von Weizsacker, 2009).

Le niveau de réchauffement actuel a déjà impacté les populations, les moyens de subsistance et les écosystèmes naturels partout dans le monde. La planète est confrontée à des

événements météorologiques extrêmes, la perte de biodiversité et l'élévation du niveau de la mer, ce qui entraîne des risques sans précédent, en particulier pour les communautés les plus vulnérables. Le réchauffement climatique atteindra probablement 1.5°C dans les 10 à 30 prochaines années s'il continue d'augmenter au rythme actuel. De plus, dans son dernier rapport, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC or IPCC en anglais, 2018) prévoit que le réchauffement pourrait dépasser 1,5°C dans les décennies suivantes si les émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) ne diminuent pas rapidement d'ici 2030.

Au cours des dernières décennies, d'énormes progrès ont été accomplis. Le rapport entre le PIB et le CO<sub>2</sub>, défini comme l'intensité carbone, a considérablement baissé au cours des 50 dernières années dans le monde entier. Les progrès technologiques ont rendu la production moins intensive en énergie et, par conséquent, de plus faibles quantités de carbone sont libérées (Pindyck, 2020). Ce progrès technologique a également été reflété du côté de la consommation, en augmentant l'efficacité des appareils consommateurs d'énergie utilisés par les ménages partout dans le monde. En fait, les politiques d'amélioration de l'efficacité ont guidé une grande partie de l'action et des progrès en matière de changement climatique.

L'augmentation de l'efficacité d'un système est souvent considérée comme un moyen de réduire l'utilisation intensive des ressources naturelles. Cette stratégie constitue un pilier important de l'atténuation et de l'adaptation au changement climatique. Selon l'Agence européenne pour l'environnement (AEE), les politiques d'atténuation visent à réduire les émissions de carbone liées aux activités humaines. Ces politiques visent principalement la production et la consommation d'énergie, par exemple le développement des énergies vertes du côté de la production ou le développement de véhicules et de bâtiments résidentiels plus efficaces (moins consommateurs d'énergie) du côté de la consommation.

Les politiques d'adaptation au climat sont conçues pour aider les sociétés, les secteurs économiques ou les écosystèmes à mieux faire face aux conséquences du changement climatique. Les impacts du changement climatique ont déjà commencé à se manifester, sous

---

la forme d'événements météorologiques violents, tels que la sécheresse et les inondations, qui deviennent plus fréquents à mesure que les températures augmentent. Sur ce front, l'amélioration de l'efficacité est au centre des politiques de conservation de l'eau, principalement dans le secteur agricole.

Si les progrès sont indéniables, la rapidité de ces réalisations est toujours en retard par rapport à la progression du réchauffement climatique. Limiter le réchauffement à 1,5°C , tel que visé par l'Accord de Paris sur le changement climatique de 2015, exigera une échelle et un rythme de changement plus importants pour transformer les systèmes énergétiques, terrestres, urbains et industriels à l'échelle mondiale (IPCC, 2018).

Paradoxalement, les politiques d'efficacité, qui ont stimulé certaines des avancées liées au climat, peuvent avoir contribué à la lenteur générale des progrès. Les améliorations techniques n'impliquent pas nécessairement des économies de ressources. La littérature économique a observé des ajustements dans le comportement des producteurs et des consommateurs après de telles améliorations, ce qui se traduit souvent par une demande accrue de la ressource, un effet opposé à celui visé par la politique. L'augmentation de la demande suite à une amélioration de l'efficacité technique d'un dispositif de conversion de ressources, est connue sous le nom d'effet rebond (Font Vivanco et al., 2018).

Le cas le plus documenté d'effet rebond est celui de l'utilisation d'un véhicule privé. Les gouvernements du monde entier ont mis en œuvre des politiques visant à réduire la consommation de carburant en augmentant le rendement énergétique des véhicules à moteur. Lorsqu'un véhicule bénéficie d'une amélioration de l'efficacité, les individus peuvent parcourir la même distance avec moins de carburant. Cela signifie que le prix réel de la conduite diminue et qu'ils disposent alors d'un revenu supplémentaire. Ce nouveau revenu est généralement dépensé pour conduire davantage. Les gains finaux en carburant sont donc plus faibles en raison du rebond de la demande de conduite (Sorrell, 2012).

Un autre cas bien documenté de l'effet rebond concerne les immeubles résidentiels. Les données empiriques montrent que les gains calculés par la politique et ceux effectivement observés diffèrent considérablement. L'amélioration de l'efficacité modifie le coût perçu

du confort et peut ainsi générer des changements dans les modes de consommation. En tant que tel, l'effet rebond est déterminé par des caractéristiques du ménage telles que le revenu (Aydin et al., 2017).

Du côté de la production, un résultat similaire est observé. La littérature récente a montré l'existence d'effets de rebond de l'eau d'irrigation en agriculture. Une fois de plus, les agriculteurs adapteraient leurs comportements de production, ce qui pourrait entraîner une demande en eau plus élevée. Cependant, étant du côté de la production, l'effet rebond sur l'eau d'irrigation diffère sur certains points de ceux décrits précédemment. Outre l'eau, d'autres ressources sont nécessaires pour la production agricole, à savoir l'énergie et la terre (Sears et al., 2018). Cela crée une relation entre ces ressources et, en particulier, indique un point de rencontre entre les politiques environnementales d'atténuation et d'adaptation.

Au final, les politiques de changement climatique, telles que l'amélioration de l'efficacité, peuvent être réduites à un problème de gestion des ressources. Cependant, les individus réagissent à ces politiques en adaptant leur comportement, ce qui conduit à des résultats inattendus.

Cette thèse vise à éclairer l'effet rebond lié à l'utilisation de l'énergie (carburant et résidentiel) et de l'eau d'irrigation. Ces travaux s'appuient sur des méthodes théoriques et empiriques pour fournir trois analyses sur les politiques d'amélioration de l'efficacité en France. En outre, cette thèse dresse une analyse des politiques dans l'interdépendance des efforts d'atténuation et d'adaptation et comment ils s'intègrent dans le panorama global de l'action contre le changement climatique.

Le rappel de cette introduction motive les principales questions de recherche abordées dans cette thèse. La première section présente des chiffres récents sur le changement climatique et les émissions de GES dans l'UE, principalement axés sur les secteurs des transports, du résidentiel et de l'agriculture. La deuxième section résume les politiques environnementales qui reposent sur l'amélioration de l'efficacité dans l'UE. La troisième section définit l'effet rebond et présente quelques résultats clés de la littérature récente.

---

La section suivante décrit la structure de cette thèse organisée en trois chapitres et la section finale présente la conclusion.

## Principaux vecteurs du réchauffement climatique

Cette section se concentre sur la discussion des contributions aux émissions de GES des trois secteurs qui émettent le plus de GES (après l’approvisionnement énergétique et les secteurs industriels) : les transports, le résidentiel et l’agriculture.

La Figure 1 présente l’évolution de toutes les émissions de GES (en millions de tonnes équivalent CO<sub>2</sub>) dans l’UE et au Royaume-Uni entre 1990 et 2018 pour les cinq secteurs les plus émetteurs<sup>1</sup>.

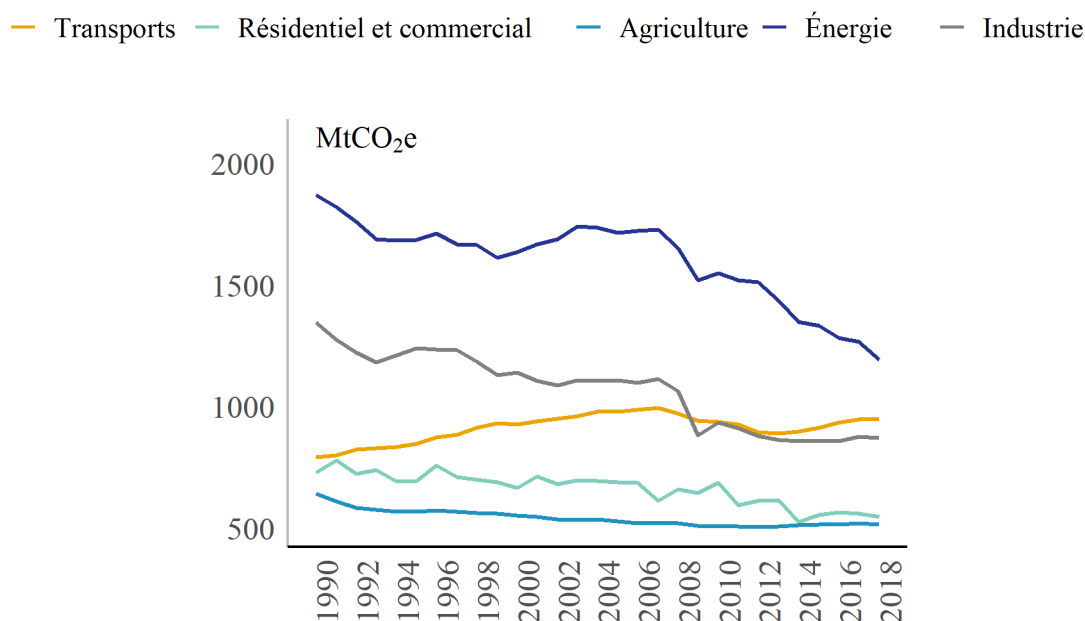
Les principaux points à retenir de cette figure sont au nombre de trois. Tout d’abord, les émissions (en particulier le CO<sub>2</sub>) ont régulièrement diminué depuis le début des années 90. Ensuite, tous les secteurs ont contribué positivement à cette tendance, à l’exception du transport. Pendant cette période, le transport intérieur a affiché une tendance à la hausse jusqu’en 2008, date à laquelle il a dépassé les émissions industrielles. Enfin, les secteurs résidentiel et agricole affichent une tendance à la baisse moins prononcée. Cette tendance suggère que le potentiel d’économies est le plus grand dans ces trois secteurs.

Dans le secteur des transports, les émissions n’ont cessé d’augmenter depuis 1990, sauf pendant une courte période lors de la crise économique de 2008-2009. Cette tendance est observée en dépit du fait que de nombreuses politiques climatiques sont orientées vers les transports de passagers et de marchandises, notamment le déploiement de véhicules moins intensifs en carbone et plus efficaces sur le marché. La tendance récente peut s’expliquer par les modes de consommation des voitures particulières. Ce type de véhicules représente plus de la moitié des émissions de ce secteur. L’une des raisons peut être que dans l’UE, en moyenne, des voitures plus puissantes sont vendues et que le niveau des émissions de CO<sub>2</sub> par km parmi ces nouveaux véhicules est plus élevé (EEA, 2020a).

---

<sup>1</sup>Les émissions comptabilisées selon le cadre de déclaration commun de la Convention-cadre des Nations unies sur le changement climatique (CCNUCC).

FIGURE 1 : Émissions de gaz à effet de serre par secteurs dans l'UE-27 et le Royaume-Uni



Source : EEA (2020a).

*Note de lecture* : Chaque courbe représente l'évolution des émissions de GES pour la période 1990-2018 par secteur en millions de tonnes équivalent CO<sub>2</sub>. Les agrégations sectorielles correspondent à celles du cadre de déclaration commun de la Convention-cadre des Nations unies sur le changement climatique (CCNUCC).

On observera, probablement, une baisse des émissions pour 2020-2021 en raison du ralentissement de l'activité économique pendant la pandémie. Cependant, cet effet peut ne pas être durable et nous pourrions même voir une augmentation des émissions provenant du transport personnel. Selon l'Institut pour le Politiques en Transports et Développement (ITDP, 2021), après un premier ralentissement de l'utilisation des véhicules privés, le trafic repart à la hausse partout dans le monde, atteignant, dans certains cas, des niveaux plus élevés que ceux observés avant la pandémie. Face à d'éventuelles infections, les individus se sont retrouvés à privilégier l'utilisation de véhicules privés. Dans certains pays riches, les achats de véhicules ont, en effet, augmenté.

Dans le secteur résidentiel, l'amélioration des normes d'isolation dans les bâtiments et une consommation d'énergie moins intensive en carbone ont conduit à une diminution de la demande de chauffage des locaux dans l'UE depuis 1990. En 2016, le secteur résidentiel



---

correspond à un quart de la consommation d'énergie finale <sup>2</sup> dans l'UE et la demande devrait augmenter d'ici 2040.

À ce titre, la tendance observée dans ces deux secteurs représente un défi pour la réalisation des objectifs 2030 (EEA, 2020a).

Le secteur agricole diffère des deux autres car sa relation avec le réchauffement climatique est plus complexe. Premièrement, ce secteur est soumis à des politiques d'atténuation du changement climatique car la consommation d'énergie dans l'agriculture représente plus de 12 % des émissions dans l'UE (Figure 1).

Deuxièmement, il nécessite des politiques d'adaptation au climat, car l'eau est un input essentiel dans l'agriculture et les épisodes de stress hydrique sont plus fréquents avec le réchauffement climatique. L'utilisation agricole de l'eau pour l'irrigation représente 70 % de la consommation d'eau dans le monde et 59 % dans l'UE en 2017. Ainsi, ce secteur exerce le plus de pression sur les ressources renouvelables en eau douce. Ce problème devient plus urgent à mesure que la population continue d'augmenter et que le changement climatique s'accélère. Par conséquent, ce secteur a fait l'objet d'un ensemble différent de politiques environnementales, principalement en faveur des économies de l'eau.

## **Quelles politiques pour lutter contre le changement climatique ?**

Les politiques d'amélioration de l'efficacité sont au cœur de l'action climatique, en tant que stratégie d'atténuation et d'adaptation au changement climatique. En effet, l'augmentation de l'efficacité des systèmes est considérée comme un moyen de réduire l'utilisation intensive des ressources naturelles.

En ce qui concerne l'atténuation, en 2007, l'UE a fixé les trois objectifs clés pour 2020 : 20 % de réduction des GES par rapport aux niveaux de 1990, 20 % d'énergie de l'UE

---

<sup>2</sup>Utilisation d'énergie des ménages pour le chauffage des locaux et de l'eau, la climatisation, la cuisson, l'éclairage et les appareils électriques et autres utilisations finales, à l'exclusion des transports.

provenant d'énergies renouvelables et 20 % d'amélioration de l'efficacité énergétique. Cela faisait partie de la stratégie visant à parvenir à une réduction nette de 55% des émissions de GES d'ici 2030 et à une UE climatiquement neutre d'ici 2050.

L'amélioration de l'efficacité énergétique a été un facteur déterminant dans la réalisation des objectifs de 2020, principalement à travers la diminution des émissions de carbone provenant de l'utilisation des véhicules et des bâtiments résidentiels, les secteurs où le potentiel d'économies est le plus important (IEA, 2020).

En 2009, l'UE a introduit les premières normes d'émissions obligatoires de CO<sub>2</sub> pour les voitures particulières et les véhicules utilitaires légers. Elle a fixé un objectif pour 2015 de 130 gCO<sub>2</sub>/km pour la moyenne du parc de tous les constructeurs confondus. Cette politique a eu des résultats notables. Le niveau moyen d'émission de CO<sub>2</sub> des voitures neuves est passé d'environ 160 gCO<sub>2</sub>/km en 2006 à 132 gCO<sub>2</sub>/km en 2012 (ICCT, 2014). En 2012, le nouvel objectif pour les voitures particulières en 2020 a été fixé à 95 gCO<sub>2</sub>/km.

Du côté de l'adaptation, des mesures d'efficacité ont été appliquées à l'eau d'irrigation pour éviter l'épuisement de la ressource. La feuille de route de l'UE pour une Europe efficace dans l'utilisation des ressources (2011) incluait un objectif pour 2020 : l'extraction d'eau devrait rester en dessous de 20 % des ressources renouvelables en eau douce disponibles.

L'extraction et l'utilisation de l'eau en Europe ont diminué de 17 % entre 2000 et 2017, tandis que la valeur ajoutée brute totale générée par tous les secteurs économiques a augmenté de 59 %. Cela suggère une tendance au découplage au cours de cette période, bien que les résultats régionaux et nationaux spécifiques puissent différer considérablement. Cette tendance positive est le résultat des améliorations technologiques dans l'efficacité d'utilisation de l'eau des appareils, des politiques de tarification de l'eau et de la transition socio-économique en Europe de l'Est (AEE, 2019).

Certaines estimations préliminaires suggèrent que l'efficacité de l'irrigation en Europe se situe entre 50 % et 70 %. Cela signifie qu'entre un tiers et la moitié de l'eau utilisée pour l'irrigation est perdue pendant le transport vers la parcelle, en raison de l'évaporation ou du ruissellement. Cela implique qu'il y a encore place à l'amélioration de l'efficacité de

---

l'irrigation (AEE, 2019). Les programmes de subventions sont mis en œuvre par les gouvernements afin de promouvoir ce que l'on appelle l'utilisation de technologies d'irrigation plus efficaces (EC, 2011).

Selon le dernier rapport GIEC (2018), les programmes nationaux d'atténuation et d'adaptation ne sont pas suffisants pour limiter le réchauffement à 1,5 °C comme envisagé dans l'Accord de Paris de 2015. Le rythme du changement n'est pas aussi rapide que l'augmentation de la température.

Une partie de ce retard peut s'expliquer par l'examen des politiques d'efficacité. La littérature économique a observé l'existence de l'effet rebond, un résultat indésirable résultant d'ajustements de comportement individuels suite à une amélioration de l'efficacité.

Lorsqu'un système énergétique devient plus efficace, le coût réel du service énergétique unitaire peut baisser. Dans un tel cas, les gens seraient incités à consommer plus de services énergétiques, augmentant ainsi la demande d'énergie. Cette augmentation de la demande d'énergie, ou effet rebond, déterminera l'efficacité réelle de ces politiques pour réduire la consommation d'énergie et les émissions GES associées (Sorrell et al., 2009). Cela peut donner un aperçu des raisons pour lesquelles les émissions de GES dans les transports continuent d'augmenter alors que les véhicules deviennent de plus en plus éconergétiques.

L'UE n'a pas atteint l'objectif 2020 de 95 gCO<sub>2</sub>/km. En 2019, les émissions moyennes des voitures neuves étaient de 122,4 gCO<sub>2</sub>/km. En moyenne, des voitures plus puissantes sont vendues, d'où le niveau plus élevé d'émissions de CO<sub>2</sub> par km parmi ces nouveaux véhicules. En outre, la consommation d'énergie a amorcé une tendance à la hausse dans les transports et les bâtiments après 2014, période de reprise économique après la crise financière (EEA, 2020a).

De même, les améliorations des technologies d'irrigation peuvent conduire les agriculteurs à augmenter leur demande en eau. La littérature récente a souligné que l'introduction de systèmes d'irrigation plus efficaces peut, en définitive, augmenter l'épuisement des ressources en eau. Dans ce cas, il y a d'autres éléments en jeu. L'amélioration d'un système d'irrigation abaisse le coût unitaire réel du service d'eau, mais peut également améliorer

la productivité des cultures et augmenter les charges en énergie.

La section suivante propose une définition formelle de l'effet rebond, expose la principale différence entre les effets de rebond de l'énergie et de l'eau et présente quelques résultats clés de la littérature récente.

## **Effet rebond induit par les améliorations d'efficacité**

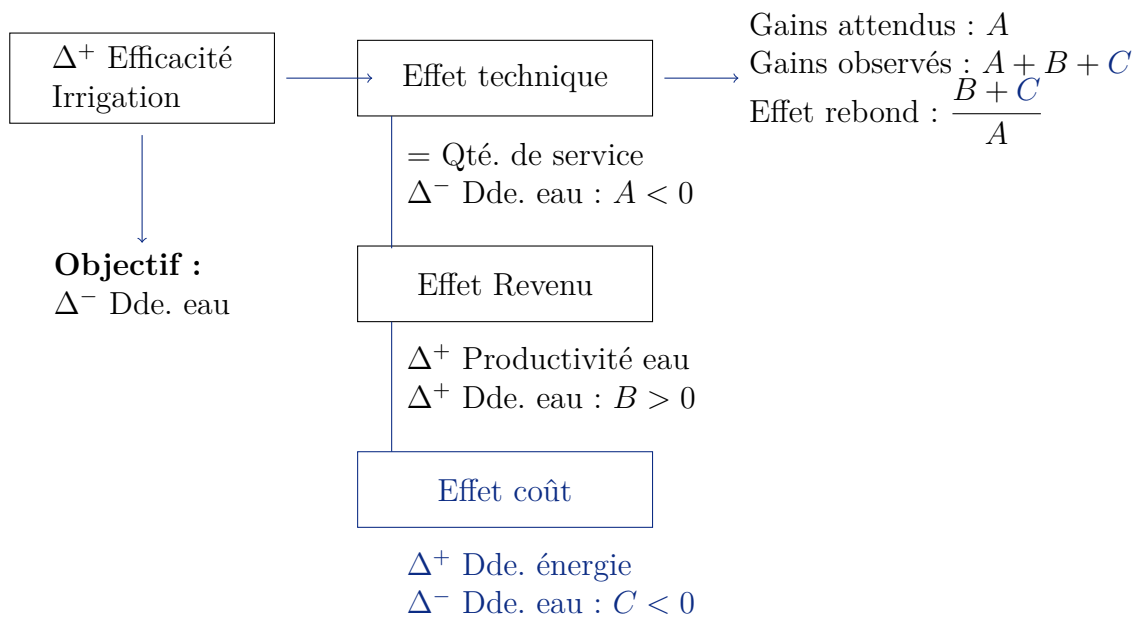
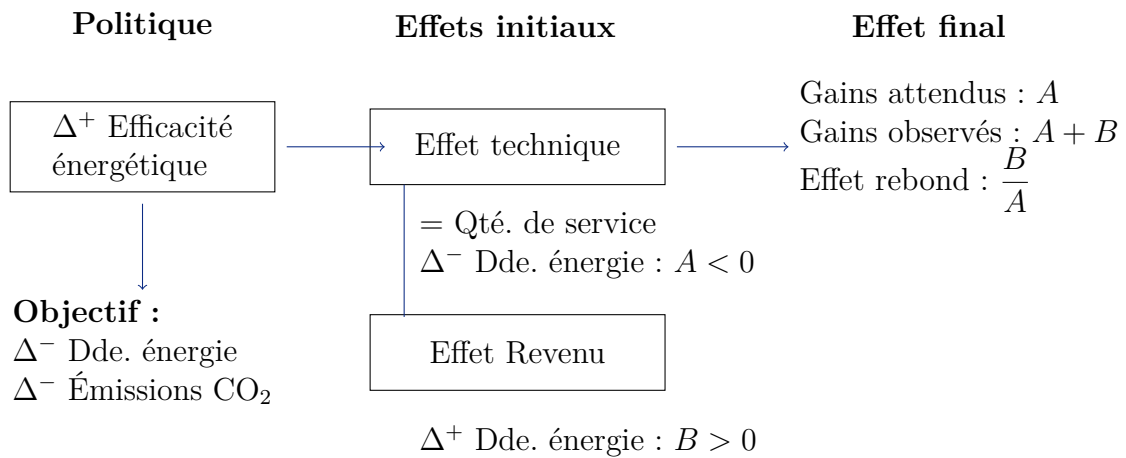
L'effet rebond est également connu sous le nom de Paradoxe de Jevons, du nom de William Stanley Jevons. Il a été le premier à observer les conséquences inattendues des améliorations d'efficacité en 1865 avec la machine à vapeur Watt. Jevons a montré que l'amélioration de l'efficacité des machines à vapeur alimentées au charbon a conduit à une augmentation de l'utilisation de la machine à vapeur dans toutes les industries et donc à une augmentation de la demande de charbon. Il a pensé que c'était un paradoxe, puisque l'amélioration de l'efficacité a été développée pour réduire la consommation de charbon et, à la place, le contraire s'est produit (Sears et al., 2018).

La Figure 2 illustre les mécanismes à l'origine de l'effet rebond. La première colonne présente le type de politique et son objectif. Deux types d'objectifs politiques sont distingués : a) la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> liés à la consommation d'énergie et b) la réduction dans l'utilisation de l'eau liée à l'irrigation en agriculture. La deuxième colonne montre les effets initiaux, attendus et inattendus, de la politique. La troisième colonne montre l'effet final de la politique.

L'effet rebond peut être compris comme la conséquence d'une relation de renforcement entre l'efficacité des ressources et l'utilisation des ressources. Après une amélioration de l'efficacité du processus de transformation et d'utilisation des ressources, les individus peuvent ajuster leur réponse aux changements de prix, ce qui entraîne une demande plus élevée pour la ressource (Font Vivanco et al., 2018).

Les améliorations de l'efficacité énergétique permettent à la demande de diminuer, car la même quantité de services peut être obtenue avec moins d'intrants. Cela correspond à

FIGURE 2 : Mécanisme de l'effet rebond dans la consommation d'énergie et d'eau



*Note de lecture :* Les améliorations de l'efficacité énergétique permettent à la demande de diminuer, car le même nombre de services peut être obtenu avec moins d'intrants (effet technique  $A < 0$ ). Cependant, cela entraîne une diminution du prix réel du service (effet revenu  $B > 0$ ), ce qui fait augmenter la demande. Les gains finaux de la politique sont réduits par le rebond de la demande. De même, lorsqu'une technologie d'irrigation est améliorée, on observe les effets techniques et de revenu (productivité). De plus, il existe un effet de coût ( $C < 0$ ) associé à l'utilisation de l'énergie pour l'irrigation. Cet effet induit une diminution de la demande. Les gains finaux en eau peuvent être supérieurs ou inférieurs aux prévisions, selon l'ampleur des effets sur la productivité et les coûts.

l'effet technique. Les gains de ressources attendus après une amélioration de l'efficacité sont égaux au pourcentage de l'amélioration, dans ce cas représenté par  $A$ .

Cependant, l'amélioration de l'efficacité entraîne une diminution du prix réel du service,

généralisant un revenu supplémentaire, ou effet revenu, de  $B$ , ce qui fait augmenter la demande. En d'autres termes, les individus utilisent leur revenu supplémentaire pour augmenter la consommation de tous les biens et services, y compris les services qui bénéficient de l'amélioration initiale de l'efficacité. Par conséquent, les gains finaux de la politique sont réduits de  $B$ . L'effet rebond est quantifié comme l'écart en pourcentage par rapport aux gains attendus initiaux (ratio  $B/A$ ) (Sorrell, 2012).

Prenons par exemple le cas des objectifs d'efficacité fixés par l'UE. En 2012, l'UE a fixé l'objectif 2020 pour les voitures particulières à 95 gCO<sub>2</sub>/km. Cela équivaut à une réduction de plus d'un quart de gCO<sub>2</sub>/km ou à une amélioration de l'efficacité de la même proportion. La Commission européenne a estimé que par rapport à 2015, la consommation de carburant diminuera à peu près du même pourcentage, ce qui signifie que  $A = -25\%$ . Cela permettrait d'économiser 160 millions de tonnes de pétrole entre 2020 et 2030, soit 420 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> de moins au cours de la même période.

L'amélioration de l'efficacité réduira le prix réel de la conduite, car la même distance peut être parcourue en utilisant moins de carburant. Supposons que la demande de carburant augmente de  $B = 4\%$  entre 2020 et 2030, les gains d'efficacité énergétique (mesurés en termes de consommation de carburant) seraient de 21 % au lieu des 25 % attendus et l'effet rebond sera  $4\%/25\% = 16\%$ .

Un mécanisme similaire est en jeu lors de l'amélioration des systèmes d'irrigation dans l'agriculture. L'amélioration de l'efficacité diminue les besoins en eau, ce qui diminue les charges d'eau : la même zone peut être irriguée avec moins d'eau (effet technique  $A$ ). En outre, une eau appliquée plus efficacement augmente la productivité et le rendement des cultures, ce qui peut induire des changements dans le comportement individuel des agriculteurs (effet revenu ou productivité  $B$ ). Ils peuvent être incités à utiliser plus d'eau soit en irriguant de nouvelles zones agricoles, soit en cultivant des cultures plus gourmandes en eau (Li et Zhao, 2018).

De plus, comme le fonctionnement de tout système d'irrigation nécessite l'utilisation d'énergie, l'effet rebond de l'irrigation a un impact supplémentaire. Un système d'irri-

---

gation constitue un facteur de production énergivore en agriculture. Des systèmes d'irrigation plus efficaces sont généralement liés à une utilisation plus intensive de l'énergie. Par conséquent, outre l'effet technique et de productivité décrit ci-dessus, une amélioration de la technologie d'irrigation créera un effet de coût ( $C$ ), associé à l'utilisation de l'énergie, qui aura un impact négatif sur la demande en eau (Gómez et Pérez-Blanco, 2015).

L'impact final des politiques de conservation de l'eau doit tenir compte de ces trois effets. Il peut être supérieur ou inférieur aux prévisions, selon l'ampleur des effets sur la productivité et les coûts. Cependant, chaque fois que la nouvelle technologie est plus énergivore, il y aura toujours un rebond associé à l'utilisation de l'énergie. En d'autres termes, il y a un rebond inter-ressources. Cela implique que l'utilisation de l'eau et de l'énergie dans l'agriculture sont étroitement liées.

Ainsi, prenez un service  $s$  qui nécessite une ressource donnée (c'est-à-dire de l'eau ou de l'énergie) pour être produit. La littérature distingue trois types d'effets de rebond résultant de la baisse du prix du service  $s$  après une amélioration de l'efficacité. Un *effet rebond direct* se produit lorsque la consommation du service  $s$  augmente. Un *effet rebond indirect* se produit lorsque la variation de prix entraîne des changements dans la demande d'autres biens et services intensifs dans la même ressource. Ceci est principalement observé avec les améliorations de l'efficacité énergétique. Enfin, un *effet rebond à l'échelle de l'économie* se produit lorsque la baisse du prix du service  $s$  est suivie par des variations des prix des biens intermédiaires et finaux et des ajustements de quantité dans toute l'économie (Sorrell et Dimitropoulos, 2008).

L'effet rebond direct est estimé comme l'élasticité d'efficacité du service  $s$ . L'effet rebond indirect est estimé comme l'élasticité des biens et des services autres que  $s$  aux variations de l'efficacité de  $s$ . Enfin, l'effet rebond à l'échelle de l'économie correspond à la somme des effets direct et indirect (Sorrell, 2012).

Le reste de cette section présente les principaux résultats tirés de la littérature sur l'effet rebond de la demande de carburant, de la demande d'énergie résidentielle et de la demande en eau.

## **Différentes stratégies empiriques d'estimation**

Certaines études estiment le rebond sur la base de modèles à service énergétique unique. Cette méthodologie est largement utilisée dans l'estimation de l'effet rebond direct dans le transport routier, service énergétique pour lequel on trouve le plus d'estimations de cet effet (Sorrell et al., 2009). Ces études se concentrent exclusivement sur les effets de rebond directs et négligent les effets de rebond indirects.

Pour les véhicules, l'effet rebond est généralement quantifié comme le changement en pourcentage des kilomètres parcourus à cause d'une augmentation de 1 % de la consommation de carburant. En d'autres termes, l'élasticité d'efficacité de la distance parcourue. Cependant, en raison de la faible disponibilité des données, la littérature s'appuie principalement sur des définitions alternatives telles que l'élasticité-prix du carburant de la demande de conduite ou la propre élasticité-prix du carburant (Sorrell et Dimitropoulos, 2008). L'approximation de l'effet rebond par l'élasticité-prix des matières premières peut introduire un biais dans la mesure, notamment en présence de substituts. En effet, un changement d'efficacité n'affecte qu'un service particulier, alors qu'une variation de prix affectera tous les services connexes. Néanmoins, le manque de données fait de cette méthode l'une des meilleures approximations de la taille de l'effet rebond (Freire-González, 2017).

L'existence de l'effet rebond dans l'utilisation du véhicule privé est largement acceptée. La magnitude de l'estimation varie considérablement selon le type de données ou la méthodologie. La plupart des études basées sur les données des États-Unis montrent que l'effet rebond dans l'usage de la voiture particulière est faible, allant de 5 à 25 % (Greene, 1992; Greene et al., 1999; Small et Van Dender, 2007). Cependant, Linn (2016) trouve un effet rebond qui érode environ un tiers des économies de carburant.

Dans les pays européens, il y a moins de travaux et les estimations sont moins concluantes. Les estimations de rebond sont relativement plus élevées que celles des États-Unis, allant de 9 % à 80 % (Fronzel et Vance, 2013; Stapleton et al., 2016; Weber et Farsi, 2014). Les estimations faites dans les économies en développement, comme la Chine, ont tendance



---

à montrer des effets de rebond plus importants et même parfois supérieur à 100 %. Cela signifie que l'amélioration de l'efficacité du service de trafic peut difficilement réaliser des économies d'énergie (Lin et Liu, 2013 ; Wang et al., 2012 ; Zhang et al., 2017).

D'autres études intègrent de multiples services dans la modélisation de l'effet rebond, notamment en estimant un modèle de demande des ménages. Cette méthodologie a l'avantage de permettre l'estimation des effets de rebond directs et indirects, en estimant les élasticités prix propres et croisées pour un service énergétique donné.

### **Effet rebond et hétérogénéité des ménages**

Même s'il n'y a pas de consensus sur la magnitude de l'effet rebond, les chercheurs s'accordent sur le fait que l'hétérogénéité des ménages joue un rôle important dans l'ampleur de cet effet. En effet, la consommation d'énergie des ménages est étroitement liée à des facteurs socio-économiques tels que le niveau de revenu, les habitudes de dépenses, l'âge ou la zone géographique. Ces caractéristiques déterminent la possibilité pour les ménages de passer à des technologies plus efficaces. En outre, le mode de vie et les besoins particuliers (par exemple les besoins des enfants et des membres âgés de la famille) peuvent également affecter la consommation d'énergie. Par conséquent, comme différents profils de ménages ont des capacités différentes pour adapter leurs choix de consommation, un modèle qui ne tient pas compte de ces hétérogénéités préciserait mal les effets et, vraisemblablement, produirait des résultats avec une validité limitée.

Des résultats récents estiment que 40 % de la consommation d'énergie dans le secteur résidentiel est déterminée par des facteurs techniques et environ 33 % est déterminée par des caractéristiques socio-économiques telles que le revenu, l'âge du ménage et le statut d'occupation (Bakaloglou et Charlier, 2019). Par conséquent, l'analyse de l'effet des préférences individuelles sur la demande d'énergie peut éclairer l'importance de l'hétérogénéité des ménages et de la variabilité de la consommation d'énergie. Cela est particulièrement pertinent, compte tenu de l'ampleur de la demande d'énergie des ménages.

Un élément clé qui manque dans la modélisation du rebond hétérogène est l'existence

de préférences différentes au sein d'un même ménage. Ceci s'explique principalement par le fait que la littérature sur le rebond est basée sur les modèles unitaires traditionnels. Cette approche suppose un ensemble commun de préférences fixes parmi les membres du ménage et maximise une seule fonction d'utilité limitée par la contrainte budgétaire du ménage (d'où le nom unitaire). Dans ce cadre, les ménages agissent comme une seule unité de décision, quel que soit le nombre de membres du ménage. Seul le revenu exogène total explique le comportement des ménages. De plus, ce cadre ne peut pas prendre en compte l'élément public dans la consommation de services énergétiques (comme le chauffage) au sein du ménage (Donni, 2008 ; Vermeulen, 2002).

Prenons par exemple le cas d'un ménage de deux personnes, dans lequel un membre améliore l'un de ses appareils énergétiques et il peut accéder à la même quantité de service énergétique  $s$  en utilisant moins d'énergie, ce qui le rend moins cher. Dans la théorie de l'effet rebond, nous avons des effets de substitution et de revenu. À condition que les services aient des substituts proches dans le ménage, cette personne peut les remplacer par la nouvelle technologie. Dans ce cas, nous aurions un effet rebond direct, car la demande de service  $s$  augmente en raison d'une amélioration de l'efficacité. De plus, en raison de l'effet revenu, cet individu peut également augmenter la demande d'autres biens et services, intensifs en énergie ou non.

Dans le cadre collectif, le programme du ménage est soumis à un revenu familial unique, mais il prend en compte la répartition de ce revenu entre les membres du ménage et, par conséquent, le poids des préférences de chaque personne dans le processus de prise de décision. En d'autres termes, l'effet revenu peut modifier la répartition du pouvoir entre les membres du ménage, soit en équilibrant, soit en surcompensant leur influence. Les mécanismes derrière l'effet rebond ne sont pas si simples que dans le modèle des ménages unitaires. Le processus de négociation au sein du ménage peut modifier considérablement la taille et la direction (positive ou négative) du rebond.

Jusqu'à présent, seules quelques études ont tenté d'expliquer la demande des ménages pour (certains) services énergétiques en considérant l'existence d'hétérogénéité au sein du

---

ménage et aucune de ces études ne s'est concentrée sur l'effet rebond. Bargain et Donni (2012), Browning et al. (2013) et Vermeulen et Watteyne (2006) utilisent la théorie des ménages collectifs et les modèles de demande des ménages pour expliquer la demande de biens publics au sein du ménage. Ils considèrent au moins un service énergétique (transports) dans leur modèle. Ils constatent une différence significative entre l'élasticité de la dépense énergétique pour différentes compositions de ménage, à savoir entre un ménage à deux membres et un ménage d'une seule personne dirigé par une femme.

### **Effets rebond de l'eau et demande d'énergie**

Investir dans une technologie d'irrigation économe en eau devrait permettre aux agriculteurs de conserver des rendements similaires en utilisant moins d'eau (Pfeiffer et Lin, 2014). Cependant, la littérature récente suggère que les programmes d'investissement ne réduisent pas systématiquement la demande d'eau (Lin Lawell, 2016 ; Song et al., 2018). L'amélioration de l'efficacité peut induire des changements dans le comportement individuel des agriculteurs. Ils peuvent être incités à utiliser plus d'eau soit en irriguant une aire plus grande, soit en cultivant des cultures plus gourmandes en eau (Li et Zhao, 2018).

Quelques études analysent les changements des politiques de tarification de l'eau dans différents pays tels que la Chine (Song et al., 2018), l'Espagne (Berbel et al., 2015) et les États-Unis (Li et Zhao, 2018). Ils révèlent que les politiques d'économie d'eau visant à améliorer la productivité de l'eau ne sont pas aussi efficaces que prévu en raison des effets de rebond, allant de 64 % à plus de 100 %, principalement dûs à une augmentation des terres irriguées.

En revanche, certaines études ne trouvent pas d'effet rebond dans l'eau d'irrigation (Peterson et Ding, 2005). D'autres montrent que l'existence de l'effet rebond dépend de la mise en œuvre de réglementations restrictives sur l'utilisation de l'eau et des terres cultivées (Berbel et Mateos, 2014 ; Berbel et al., 2015). L'ambiguïté de ces résultats peut s'expliquer par l'interaction des effets expliqués dans la section précédente.

La littérature montre que les ajustements d'utilisation de l'eau peuvent être observés non

seulement suite à une amélioration de la technologie d'irrigation, mais également suite à une évolution du coût de l'irrigation, notamment en raison d'une consommation d'énergie plus élevée. Étant donné que des systèmes d'irrigation plus efficaces sont directement associés à une demande d'énergie plus élevée, toute variation du niveau d'efficacité d'irrigation aura un effet à la fois sur la demande en eau et sur la demande d'énergie (Belaud et al., 2020).

La part de l'énergie dans les coûts des agriculteurs peut aller de 40 % à 65 %. Dans certains cas, l'importance de l'énergie dans le coût de l'irrigation conduit les agriculteurs à réduire leur consommation d'eau même en dessous des niveaux d'eau requis par la culture, ce qui met en danger les rendements agricoles (Rodríguez-Díaz et al., 2011). Espinosa-Tasón et al. (2020) estiment qu'en Espagne au cours de la période 2005-2013, l'efficacité de l'irrigation augmente de 0,4 % et la consommation d'énergie par m<sup>3</sup> augmente de 2,2 %.

La demande en eau peut diminuer en raison des coûts énergétiques plus élevés qui font grimper le coût total de l'extraction de l'eau, et ce au détriment des émissions de gaz à effet de serre plus élevées provenant de l'augmentation de la demande d'énergie. Par conséquent, la question énergétique ne peut être exclue du débat sur l'irrigation efficace en agriculture, car ce résultat implique l'existence d'un effet rebond indirect se produisant comme un effet rebond inter-ressources.

## **Aperçu de la thèse**

Cette thèse vise à contribuer théoriquement et empiriquement aux travaux de recherche sur la méthode d'identification et de mesure de l'effet rebond. Elle est structurée en trois chapitres combinant à la fois des méthodes théoriques et empiriques pour aborder différents aspects de l'effet rebond de la consommation d'énergie et d'eau. En outre, cette thèse englobe un élément de politique publique, qui vise à fournir des éléments supplémentaires à la discussion et à la conception des politiques de changement climatique, en particulier des politiques d'amélioration de l'efficacité.

Les deux premiers chapitres de cette thèse analysent les politiques d'atténuation du chan-

---

gement climatique basées sur l'amélioration de l'efficacité énergétique, qui visent à réduire la consommation d'énergie dans les ménages. Le premier chapitre présente une analyse empirique qui compare les différentes méthodes utilisées pour estimer l'effet rebond de l'utilisation du véhicule privé. Le deuxième chapitre propose un nouveau cadre théorique d'analyse de l'effet rebond, fondé sur l'hétérogénéité des ménages, qui peut être utilisé pour estimer l'effet rebond résidentiel et de la voiture personnelle. Le dernier chapitre ajoute une nouvelle dimension à la discussion en intégrant l'analyse des politiques d'adaptation au climat dans l'agriculture. Ce chapitre évalue l'effet rebond dans l'utilisation de l'eau d'irrigation et examine les implications de la relation existante entre les politiques d'atténuation du changement climatique et d'adaptation.

## **Chapitre 1. Demande de conduite et économies de carburant : le cas Français**

Dans ce chapitre, nous estimons l'effet rebond du transport en véhicule privé en France à partir des données individuelles de ménages pour 2008. Nous utilisons la définition principale de l'effet rebond direct, qui est l'élasticité de l'efficacité de la demande de services énergétiques (Sorrell et Dimitropoulos, 2008). Nous estimons différentes spécifications pour la distance parcourue. Nous corrigeons le biais de sélection de l'échantillon qui résulte du nombre différent de véhicules disponibles pour chaque ménage. De plus, nous simulons un régime fiscal dynamique et discutons de ses implications sur le comportement des voyageurs.

Cette analyse empirique est réalisée avec des données micro-économiques provenant de l'Enquête nationale sur les transports et les déplacements 2007-2008 (ENTD) en France. Cet ensemble de données a été obtenu via la Difussion Quételet-PROGEDO, un portail d'accès aux données françaises en sciences humaines et sociales. Les prix de l'énergie sont tirés de la base de données Pégase <sup>3</sup>.

Les résultats montrent l'existence d'un effet rebond au niveau national et dans les zones

---

<sup>3</sup>Pétrole, Électricité, Gaz et Autres Statistiques de l'Énergie.

urbaines et rurales en dehors de Paris. Les estimations suggèrent qu'à moyen terme, entre 15 % et 18 % des gains provenant des améliorations de l'efficacité énergétique sont perdus en raison d'une augmentation de la demande de conduite, connue sous le nom d'effet rebond direct. Il semble que les effets de rebond soient sensibles à l'hétérogénéité des ménages. On constate qu'il y a un effet de conservation (rebond négatif) à Paris. De plus, nos modèles prévoient un effet rebond global positif lorsque la consommation de carburant est inférieure à 17,4 km par litre de carburant (ou de manière équivalente, une consommation de carburant supérieure à 5,8 litres de carburant par 100 km). Pour les ménages possédant plus d'un véhicule, le modèle prédit un rebond positif lorsque la consommation de carburant est inférieure à 12,6 km par litre de carburant (ou de manière équivalente, une consommation de carburant supérieure à 7,9 litres de carburant par 100 km). Enfin, la simulation d'une taxe kilométrique intelligente, dont les taux varient en fonction de l'efficacité énergétique et de l'unité urbaine, suggère que l'effet rebond peut être neutralisé lorsque le niveau de taxes sur les carburants sont deux fois plus élevées que celles de 2007/2008.

## **Chapitre 2. Effet rebond dans le ménage collectif**

Ce chapitre examine comment l'hétérogénéité des préférences entre les différents ménages affecte les décisions de consommation d'énergie des ménages. Nous proposons un modèle de ménage collectif qui permet des préférences hétérogènes au sein du ménage. Nous modélisons la demande de services énergétiques et analysons comment les préférences hétérogènes affectent la demande de ces services et l'effet de rebond. Nous utilisons les données françaises sur les dépenses des ménages pour tester notre modèle.

Le présent travail amplifie le cadre théorique actuel, en incluant le ménage collectif et la dimension de bien public telle que présentée par Cherchye et al. (2012). En particulier, nous considérons les préférences hétérogènes au sein du ménage ainsi qu'entre elles, nous modélisons la consommation d'énergie au sein d'un ménage comme un bien public et nous mesurons l'effet de rebond direct. Cette nouvelle méthodologie permet de mieux appréhender l'impact des hétérogénéités sur les comportements de rebond. À notre

---

connaissance, parmi les quelques travaux théoriques abordant la microéconomie derrière l'effet de rebond (par exemple, Hunt and Ryan, 2015), aucun d'entre eux n'inclut la dynamique intra-ménage dans le modèle. De plus, nous utilisons les données françaises sur les dépenses des ménages pour tester notre modèle.

Nous utilisons des données micro-économiques françaises issues de l'Enquête Budget de famille de 2011. Cet ensemble de données a été obtenu via la Difussion Quételet-PROGEDO, un portail d'accès aux Données françaises en sciences humaines et sociales.

Les résultats du modèle théorique suggèrent que le processus de décision intra-ménage peut définir la taille de l'effet rebond en fonction des préférences. Une simulation est effectuée pour explorer comment le rebond change lorsque les préférences peuvent différer au sein du ménage. Nous constatons que l'effet rebond direct peut être jusqu'à 54 % plus élevé qu'il ne l'est sous l'hypothèse de préférences unitaires. Par conséquent, en ignorant la dynamique intra-ménage, l'effet rebond peut être sous-estimé ou surestimé et l'impact réel des politiques d'efficacité ne peut pas être évalué avec précision.

### **Chapitre 3. Quand «l'irrigation verte» augmente les émissions de carbone**

Généralement, il est admis qu'une technique d'irrigation plus efficace en agriculture permet d'économiser l'eau. C'est ce que l'on peut dénommer «l'irrigation verte». Ce postulat n'est pas constaté dans certains cas. Le but de ce chapitre est d'identifier les facteurs qui assurent le succès de «l'irrigation verte». Notre contribution est de modéliser le coût de l'irrigation, en prenant en compte de l'effet du prix de l'énergie sur la demande en eau. De plus, nous mettons en œuvre un modèle empirique pour tester les résultats théoriques.

Nous avons mis en place une méthodologie qui exploite la variation des charges énergétiques dans notre jeu de données, qui inclut le choc des prix de 2008-2009, pour tester l'effet d'un choc de prix sur la demande d'eau. Nous utilisons pour la fonction de production de l'agriculteur par une fonction paramétrique du type translog avec interactions entre une variable temps et une variable pour le type de système d'irrigation utilisé par

les agriculteurs.

Nous utilisons les micro-données anonymisées du Réseau d'information comptable agricole (RICA). Ces données ont été obtenues à travers le Service statistique ministériel de l'agriculture (Agreste).

Les résultats du modèle théorique présenté dans ce chapitre confirment l'existence d'un effet rebond non seulement de l'eau, mais aussi de l'énergie. Les résultats du modèle empirique montrent un effet coût significatif et négatif pour deux des trois types d'irrigation considérés. Le modèle suggère qu'après un choc des prix, les agriculteurs ayant des retenues collinaires comme source d'irrigation ont réduit leur demande d'eau de 78 % de plus que les agriculteurs du groupe de référence. Les agriculteurs utilisant le pompage en rivière comme source d'eau ont réduit leur demande de 27 % de plus que les agriculteurs du groupe de référence. Nous montrons qu'un effet pervers de l'irrigation verte est l'augmentation de la consommation d'énergie. La source de cette énergie étant généralement non renouvelable, l'irrigation verte peut contribuer à l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre.

## **Conclusion**

Le niveau de réchauffement actuel à 1°C a déjà modifié les populations, les moyens de subsistance et les écosystèmes naturels partout dans le monde. La planète a été confrontée à des événements météorologiques extrêmes, la perte de la biodiversité et l'élévation du niveau de la mer, supposant un risque sans précédent, en particulier pour les communautés les plus vulnérables. Si le taux de réchauffement actuel n'est pas arrêté, le réchauffement climatique atteindra probablement 1,5 °C dans les 10 à 30 prochaines années, voire plus si les émissions de gaz à effet de serre ne diminuent pas rapidement d'ici 2030.

Malgré les énormes progrès réalisés dans les politiques d'atténuation et d'adaptation au cours des dernières décennies, la rapidité de ces réalisations est toujours en retard par rapport à la progression du réchauffement climatique. Limiter le réchauffement à 1,5°C nécessitera une plus grande échelle et un rythme de changement plus important pour



---

transformer les systèmes énergétiques, terrestres, urbains et industriels à l'échelle mondiale.

Les politiques d'amélioration de l'efficacité constituent un pilier important de l'atténuation et de l'adaptation au changement climatique. Elles ont été déterminantes dans la réalisation des objectifs 2020 en UE. Du côté de l'atténuation, les politiques d'efficacité énergétique visent à réduire les émissions de carbone provenant de l'utilisation des véhicules et de la construction résidentielle.

Du côté de l'adaptation climatique, les politiques d'efficacité ont été appliquées à l'eau d'irrigation pour éviter l'épuisement de l'eau. C'est dans ces secteurs que nous trouvons le plus grand potentiel d'économies.

Cependant, la littérature économique a observé l'existence de l'effet rebond, un résultat involontaire résultant d'ajustements de comportement individuels suite à une amélioration de l'efficacité. L'effet rebond peut diminuer l'efficacité des stratégies d'atténuation et d'adaptation basées sur des améliorations d'efficacité.

L'évidence de l'effet rebond a été trouvée dans l'utilisation des véhicules et dans les services énergétiques résidentiels. Avec une perte d'efficacité allant de 5 % à 25 % dans le carburant des véhicules, dans certains pays européens, elle peut atteindre 80 %. Pour le chauffage d'habitation, ces estimations se situent entre 30 % et 70 %.

En agriculture, les résultats empiriques montrent que les programmes d'amélioration de la technologie d'irrigation ont des effets ambigus sur l'utilisation de l'eau et ne réduisent pas systématiquement la demande en eau. Certains ne trouvent pas de preuve d'un effet rebond, tandis que d'autres trouvent un rebond entre 64 % et 100 %, principalement en raison d'une augmentation des terres irriguées.

Dans ce cas cependant, il y a plus d'éléments en jeu. La demande en eau peut également diminuer en raison des coûts énergétiques plus élevés liés à un système d'irrigation plus efficace, et ceci au détriment des émissions de gaz à effet de serre plus élevées provenant de l'augmentation de la demande d'énergie.

Cette thèse apporte un certain nombre de contributions à la littérature, d'un point de vue théorique et empirique, au niveau micro-économique.

Nous testons la sensibilité des estimations de l'effet rebond à la méthodologie. Nous avons proposé une nouvelle méthodologie qui tient compte du potentiel biais de sélection des ménages à plusieurs véhicules. Nous apportons des preuves supplémentaires de l'existence de rebonds hétérogènes qui dépendent du nombre de véhicules et du niveau d'efficacité des véhicules (effets quadratiques).

Nous avons proposé un nouveau cadre théorique, basé sur la théorie du ménage collectif, pour estimer l'effet rebond en tenant compte des préférences hétérogènes au sein d'un ménage. Nous apportons une preuve supplémentaire de l'importance de l'hétérogénéité dans la mesure du rebond.

Nous fournissons des preuves supplémentaires de l'existence d'effets indirects de rebond croisés sur les ressources présents dans le secteur de l'agriculture. En contrôlant le niveau d'efficacité, nous montrons que les agriculteurs utilisant une technologie d'irrigation plus efficace réduisent leur consommation d'eau, cependant, ce n'est pas le résultat d'une efficacité plus élevée mais une conséquence des charges énergétiques plus élevées qui y sont associées. Cela apporte une preuve supplémentaire sur le lien eau-énergie et l'existence de ce que nous avons appelé des effets de rebond inter-ressources.

Quatre résultats politiques clés sont tirés de cette thèse.

Premièrement, les individus (ménages et agriculteurs) adaptent leurs décisions de consommation après un changement majeur, par exemple, une amélioration de l'efficacité qui modifie les prix relatifs. Cela peut aller à l'encontre des résultats attendus des politiques d'atténuation et d'adaptation au changement climatique. Ce qui pourrait expliquer pourquoi les objectifs des politiques climatiques 2020 n'ont été pas atteint dans certains secteurs comme les transports et l'agriculture.

Deuxièmement, ces ajustements ne sont pas homogènes entre les ménages. Leur réponse dépend des caractéristiques de leurs appareils consommateurs d'énergie (par exemple, du

---

véhicule) et des caractéristiques socio-économiques telles que la zone géographique, le revenu ou l'âge.

Troisièmement, il existe actuellement dans une certaine mesure une incompatibilité entre les politiques d'adaptation au climat, telles que celles qui visent à générer des économies d'eau, et les politiques d'atténuation du climat, celles qui visent à réduire les émissions de CO<sub>2</sub>. Jusqu'à présent, les politiques d'adaptation ont montré des résultats prometteurs en matière d'économies d'eau, mais ceux-ci ont été atteints au détriment des objectifs d'émissions de CO<sub>2</sub>.

Quatrièmement, la conjoncture économique est importante. Dans le cas de l'agriculteur, les chocs de prix modifient leurs coûts de production qui peuvent modifier l'impact des politiques environnementales sur la conservation de l'eau.

Nos recommandations finales en matière de politiques publiques peuvent être résumées en cinq points.

Afin d'atteindre les objectifs climatiques fixés dans l'accord de Paris, les politiques d'atténuation du changement climatique doivent être conçues de concert avec les politiques d'adaptation au climat afin de maximiser leur impact au lieu de le neutraliser. Les décideurs devraient mieux coordonner les objectifs des politiques environnementales en matière d'eau et d'énergie.

La conception des politiques doit tenir compte des ajustements potentiels du comportement, à savoir l'effet rebond, qui peuvent réduire l'impact positif sur l'environnement. De plus, les politiques d'efficacité devraient être associées à des mesures complémentaires, telles que des taxes différenciées ou des réglementations sur les ressources, afin de contrer l'effet rebond et d'atteindre le résultat environnemental souhaité.

En outre, les politiques devraient tenir compte de l'hétérogénéité. Des politiques mieux ciblées peuvent maximiser l'impact positif sur l'environnement tout en équilibrant la charge supportée par les citoyens. Les instruments uniques n'ont généralement pas la même force et peuvent, en fin de compte, contribuer au problème généralisé d'acceptabilité des poli-

tiques publiques.

Aussi, les décisions politiques doivent être adaptées à la situation économique. Les périodes de crise, comme l'actuelle, contraignent les individus à changer de comportement et à adapter leurs préférences.

Finalement, le succès des politiques climatiques est une question de comportement et d'acceptabilité. Un résultat majeur de la thèse est la mise en évidence de manière théorique et empirique de l'importance de la prise en compte de l'hétérogénéité individuelle. Aussi, pour améliorer l'efficacité des politiques, il est crucial que la politique puisse cibler les profils individuels. Ce ciblage permettrait d'optimiser l'effet de la politique et d'augmenter son acceptabilité.

D'un point de vue pratique, ces politiques peuvent inclure des politiques incitatives comme des taxes différenciées, ou des politiques plus comportementales, comme la diffusion ciblée d'information sur les effets du changement climatique au quotidien.



---

**Titre :** Amélioration de l'efficacité et changement climatique : quelles politiques énergétiques ?

**Mot clés :** Effet rebond, Efficacité énergétique, Consommation d'énergie, Ménage collectif, Eau d'irrigation, Aide à l'investissement.

**Résumé :** L'augmentation de l'efficacité d'un système est souvent considérée comme un moyen de réduire l'utilisation intensive des ressources naturelles. Paradoxalement, les améliorations techniques n'impliquent pas nécessairement des économies de ressources. La littérature économique a observé des ajustements dans le comportement des producteurs et des consommateurs après de telles améliorations, ce qui se traduit souvent par une demande accrue de la ressource, un effet opposé à celui visé par la politique. L'augmentation de la demande suite à une amélioration de l'efficacité technique d'un dispositif est connue sous le nom d'effet rebond. Cette thèse est structurée en trois chapitres

combinant à la fois des méthodes théoriques et empiriques pour aborder différents aspects de l'effet rebond dans la demande d'énergie et d'eau. Le premier chapitre présente une analyse empirique qui compare les différentes méthodes utilisées pour estimer l'effet rebond dans l'utilisation du véhicule privé. Le deuxième chapitre propose un nouveau cadre théorique d'analyse de l'effet rebond, fondé sur l'hétérogénéité des ménages, qui peut être utilisé pour estimer l'effet rebond résidentiel et de la voiture personnelle. Le dernier chapitre évalue l'effet rebond dans l'utilisation de l'eau d'irrigation et examine les implications de la relation existante entre la demande d'eau d'irrigation et la demande d'énergie.

---

**Title:** Efficiency improvement and Climate change: what energy policies?

**Keywords:** Rebound effect, Fuel efficiency, Energy consumption, Collective Approach, Irrigation Water, Investment aid.

**Abstract:** Increasing a system efficiency is often seen as a cost-effective way to reduce intensive use of natural resources. Paradoxically, technical improvements do not necessarily imply resource savings. Economic literature has observed adjustments in producers and consumers behavior after such improvements, which often results in increased demand for the resource, an opposite effect to that intended by the policy. The increase in demand following an improvement in the technical efficiency of a resource conversion device, is known as the rebound effect. This thesis is structured in three chapters combining both theoretical and empirical methods to ad-

dress different aspects of the rebound effect in energy and water use. The first chapter presents an empirical analysis that compares the different methods used to estimate the rebound effect in the use of the private vehicle. The second chapter proposes a new theoretical framework of analysis for the rebound effect, based on households heterogeneity, that can be used to estimate residential and vehicle use related rebounds. The final chapter evaluates the rebound effect in the use of irrigation water and discusses the implications of the existing relation between irrigation water demand and energy demand.