



# Evaluation macro-économique de la trajectoire bas carbone de l'UFE avec IMACLIM-R (Fr)

## CIREN

Le Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement est une Unité Mixte de Recherche (UMR 8568) sous tutelle principale du Centre National de la Recherche Scientifique et de l'École des PontsParisTech, avec l'École des Hautes Études en Sciences Sociales, AgroParisTech-ENGREF et le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement. Le CIREN reste marqué par le défi qui présida à sa fondation par Ignacy Sachs, répondre aux thèses du Club de Rome sur les limites de la croissance par des stratégies d'harmonisation environnement - développement, ce qu'on appelle aujourd'hui Développement Durable.

## SMASH

La Société de Mathématiques Appliquées et de Sciences Humaines est une communauté de chercheurs et de management de projets. Elle s'est peu à peu développée en organisant des séminaires, des formations, des études et surtout en établissant de nombreuses collaborations (CEA, CNRS, EDF, CE, ministères, ADEME, Renault...) pour faciliter la carrière de jeunes chercheurs. Depuis ses débuts, la SMASH se caractérise par sa dynamique collaborative. Cet « ADN » lui permet aujourd'hui de se projeter comme un véritable incubateur d'innovation dans le domaine de la transition énergétique et du développement soutenable. Le développement de la Smash s'adosse notamment au travers d'un partenariat scientifique avec la signature d'une convention de partenariat avec le CNRS-CIREN.

## UFE

L'Union Française de l'Electricité (UFE), est l'association professionnelle du secteur de l'électricité. Elle représente les employeurs du secteur au sein de la branche des industries électriques et gazières, et porte les intérêts de ses membres, producteurs, gestionnaires de réseaux, fournisseurs d'électricité et de services d'efficacité énergétique dans les domaines économique, industriel et social.

# SOMMAIRE

<b>Introduction</b>	<b>4</b>
<b>Les Scénarios énergétiques UFE</b>	<b>5</b>
• L'environnement économique de référence de la trajectoire optimisée de l'UFE	5
• La trajectoire bas carbone «optimisée» de l'UFE	6
<b>Le Modèle IMACLIM-R (Fr) : rappel des principes</b>	<b>7</b>
<b>Méthodologie utilisée pour le bouclage IMACLIM-R/UFE</b>	<b>9</b>
• Principes de modélisation hybride	9
• Bouclage unidirectionnel versus bouclage complet	9
• Harmonisation des paramètres macroéconomiques	10
• Harmonisation des hypothèses par secteur	11
<b>L'évaluation macro-économique de la trajectoire bas carbone</b>	<b>14</b>
• PIB, emploi, évolution de la dette : les résultats bruts	14
• Les mécanismes en jeu	16
• Paramètres centraux d'un cercle vertueux : le recyclage de la taxe carbone	17
• Les sources de frictions réelles pendant la phase de transition	19
<b>Conclusion</b>	<b>21</b>
Références	22
Annexes	23

# Introduction

Cette étude contribue, avec un regard macroéconomique, aux débats sur la transition énergétique en France. Ces débats se polarisent autour des grandes questions que sont le contrôle des émissions de gaz à effet de serre, les objectifs en matière d'efficacité énergétique, le développement des énergies renouvelables, la place du nucléaire et les enjeux de sécurité énergétique.

Mais ces débats ne peuvent ignorer le contexte de tensions économiques à court et moyen terme qui affectent notre pays et vont contraindre la transition énergétique: gestion des dettes publiques et privées, risques de récession et persistance du chômage. A la question de la direction à long terme de la transition se rajoute donc celle de son impact immédiat sur la compétitivité, l'emploi et le pouvoir d'achat. La transition va-t-elle introduire des contraintes supplémentaires dans ce contexte ou, au contraire, constituer un levier pour une relance économique soutenable ?

Cette étude vise à répondre à cette question en mettant en évidence ce que les économistes appellent les effets d'équilibre général. En particulier, elle a pour objet d'identifier les interactions entre la trajectoire bas carbone optimisée de l'économie réalisée par l'Union Française de l'Electricité (UFE) en 2016<sup>1</sup> et le reste de l'économie. L'enjeu est de comprendre ces interactions et de montrer la nécessité de politiques d'accompagnement macroéconomiques du déploiement de cette vision pour qu'elle débouche sur un gain net pour l'économie française.

Après avoir brièvement rappelé l'environnement économique de référence retenu par l'UFE et sa trajectoire bas carbone de déploiement des actions d'efficacité climatique, nous expliquerons les principes du modèle d'équilibre général récursif retenu dans cette étude puis les modalités de son 'bouclage' avec le modèle UFE. C'est dans la quatrième et dernière section que nous décrirons l'impact de la trajectoire bas carbone UFE sur le niveau d'activité du pays, l'emploi, la compétitivité internationale et le pouvoir d'achat des ménages et la distribution des revenus, en prenant en compte les effets du recyclage de la fiscalité climatique. Dans ce bilan, on s'intéressera, au-delà des chiffres bruts, au rôle des paramètres concernant l'offre énergétique (investissements et la formation des coûts de production) de l'énergie, et la demande d'énergie (efficacité énergétique, système de chauffage, mobilité bas carbone) sur les mécanismes d'équilibre général enclenchés par le scénario de l'UFE.

## Trajectoire bas carbone optimisée de l'UFE

En 2016, l'UFE a quantifié l'ensemble des actions et des solutions techniques à mettre en oeuvre pour atteindre l'objectif climatique de la loi de transition énergétique au moindre. L'objectif a été de prioriser le déploiement de solutions d'efficacité énergétique et de substitution entre énergies à coût minimal pour la collectivité, pour permettre la réduction de 40 % des émissions de CO2 entre 1990 et 2030, résultant en une trajectoire bas carbone optimisée.

1. UFE, Les clés du pilotage et du financement de la transition énergétique, 2016.

# Les Scénarios énergétiques de l'UFE

## L'environnement économique de référence de la trajectoire optimisée de l'UFE

L'environnement économique de référence a pris en compte les différents facteurs de l'évolution de l'économie entre 2015 et 2030 :

- l'évolution démographique : croissance de la population de +6 % entre 2015 et 2030, conformément au scénario de projection central de l'INSEE,
- la croissance économique : +1,5 %, conformément au scénario central de l'INSEE,
- l'amélioration tendancielle des équipements et des moteurs,
- l'évolution des comportements.

Concernant l'offre d'énergie, l'UFE a retenu les objectifs de la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) pour les énergies renouvelables (15% de biocarburants dans la consommation finale de carburant et 10% de biogaz dans les usages de gaz).

Ainsi, dans l'environnement économique de référence, la surface moyenne des logements par personne augmente de 10% sur la période retenue et le renouvellement du parc se fait à un rythme de 1,2% par an (330 000 logements par an). Tous les nouveaux logements respectent les normes de bâtiments basse consommation (50 kWh d'énergie primaire/m<sup>2</sup>).

Au total, la consommation d'énergie dans le résidentiel est presque stable sur la période, 538 TWh contre 533 TWh, le renouvellement du parc compensant presque totalement l'augmentation de la démographie et des surfaces habitées. La pénétration des pompes à chaleur et des énergies renouvelables thermiques ainsi que des réseaux de chaleur et des chaudières biomasse permettent de baisser les émissions de CO<sub>2</sub> qui passent de 67 à 65 Mt CO<sub>2</sub> d'ici 2030.

Le secteur tertiaire est, quant à lui, tiré par la croissance économique et la surface tertiaire croît de 1,5% par an. Les parts de marché dans le neuf sont réparties à parts égales pour le gaz et l'électricité. La consommation d'énergie dans ce secteur augmente sensiblement (de 256 à 274 TWh) mais la pénétration des énergies renouvelables et de l'électricité permettent de réduire les émissions de 33 à 31 MtCO<sub>2</sub>.

C'est dans le secteur des transports qu'il y a, dans l'environnement économique de référence, la réduction la plus importante des émissions de CO<sub>2</sub> (135 vs 117 MtCO<sub>2</sub>). Ceci résulte, pour le transport terrestre de voyageurs, de la stabilité de la demande de mobilité par personne entre 2015 et 2030 accompagnée d'une augmentation de 10% du remplissage des véhicules particuliers et d'un report modal de 2% de la mobilité des véhicules particuliers vers les transports collectifs. L'amélioration des moteurs thermiques participe également à cette réduction. Quant au transport de marchandise, il évolue comme le PIB avec une augmentation de 2% du taux de chargement des poids lourds et un report modal de 7% du fret routier vers le ferroviaire. A cela s'ajoute une croissance des biocarburants dont la part s'élève à 15% des carburants pétroliers en 2030. Ces hypothèses sont issues de la stratégie de mobilité propre.

Dans le secteur industriel, ce scénario prend en compte une évolution structurelle de l'économie française avec une part de l'industrie qui baisse de 9,9% à 7,9% du PIB, et au sein de ce secteur, une croissance des secteurs de pointe et de l'agroalimentaire avec une contraction des industries lourdes. La croissance de l'efficacité énergétique dans l'industrie est réelle mais limitée ce qui conduit au total à une baisse de la consommation de 334 à 326 TWh et à une réduction de 88 à 82 Mt CO<sub>2</sub>. Quant au secteur de l'agriculture, il devrait connaître une réduction de 25% de sa consommation énergétique sur la période, conformément aux projections de la PPE.

Au total, l'environnement économique de référence se caractérise par une baisse de la demande d'énergie de 1742 à 1718 TWh ce qui signifie une baisse de 21 % du contenu énergétique de l'activité économique. Il est aussi relativement vertueux du point de vue des émissions de CO<sub>2</sub> puisque, celles-ci baissant de 30 MtCO<sub>2</sub> (307 vs 337) on assiste à une baisse de 27 % du contenu carbone l'activité économique. Cette performance n'est bien sûr pas suffisante pour atteindre les objectifs de la loi de transition énergétique, et c'est le rôle de la trajectoire bas carbone de réaliser les réductions d'émissions additionnelles nécessaires au moindre coût.

## La trajectoire bas carbone optimisée de l'UFE

Cette trajectoire, fondée sur l'environnement économique de référence, permet de réduire les émissions à 237 MtCO<sub>2</sub> en 2030 soit 70 MtCO<sub>2</sub> de moins que dans la référence. Elle met en jeu :

- Dans le résidentiel et le tertiaire des actions de même type, portant sur l'enveloppe thermique des bâtiments, la pénétration d'équipements à meilleur rendement (type pompe à chaleur, radiateurs électriques performants) ou utilisant des énergies moins carbonées (chauffage au bois) et le développement de systèmes d'optimisation de l'énergie ;
- Dans les transports, que ce soit pour les déplacements individuels ou les déplacements de marchandise, des actions de pénétration de véhicules moins dépendants des carburants classiques (véhicules électriques, véhicules hybrides, poids lourd ou car GNV etc. ...);
- Dans l'industrie, la pénétration des mesures rentables identifiées par l'étude du CEREN (2012) sur les gisements d'économie d'énergie. Elles couvrent la climatisation et l'éclairage, de la chaîne du froid en passant par les gains d'efficacité dans les moteurs électriques, le pompage, les transformateurs ou les machines à air comprimé.

Pour la demande d'énergie comme pour l'offre, les mesures pénètrent en fonction de leur rentabilité économique évaluée par rapport à un contexte de prix résultant de trois paramètres:

- les trajectoires 2015-2030 retenues par la Banque Mondiale (World Bank Commodity Forecast Price Data, 2016),
- une contribution climat énergie qui suit, pour le secteur d'émissions diffuses, la trajectoire fixée par la PPE en juillet 2016,
- pour les secteurs couverts par le système EU-ETS, un prix de 24€/tCO<sub>2</sub> en 2030<sup>3</sup>.

2. Ce niveau d'émissions est l'équivalent CO<sub>2</sub> de l'objectif de la LTECV (-40 % de GES entre 1990 et 2030).

3. Les résultats de l'étude sont disponibles sur <http://financerlatransitionenergetique.com/>

# Le Modèle IMACLIM-R (Fr): rappel des principes

IMACLIM-R (Fr) (Bibas, 2013) est un modèle d'équilibre général récursif qui modélise l'évolution de l'économie française décomposée en quinze secteurs : énergie (pétrole brut, pétrole raffiné, gaz, charbon et électricité), transport (transport routier de marchandises, transport par voie d'eau, transport aérien, transport de passagers et transport public routier de personnes), construction, industries intensives en énergie, agriculture et services.

Les modèles IMACLIM dérivent d'un essai de dépassement de la dichotomie entre modèles dits *Top Down* et modèles *Bottom Up* afin d'assurer la représentation conjointe de l'économie et des systèmes techniques. En effet, si les modèles économiques s'appuient souvent sur une vision de l'économie décrivant les flux en valeur au détriment d'une description fine des contraintes réelles du système énergétique, les modèles techniques décrivent ce système de façon nettement plus précise mais en accordant la priorité aux technologies et à l'énergie, ils négligent les contraintes et la dynamique économiques (en particulier l'interaction entre les prix et la demande d'énergie et de matières premières). Certains reposent sur une structure statique (pour des études de statique comparative à un point donné du temps (Hourcade & Gherzi, 2006)), d'autres, comme celui utilisé ici, sur une structure récursive (Sassi et al. 2009, Waisman et al. 2012).

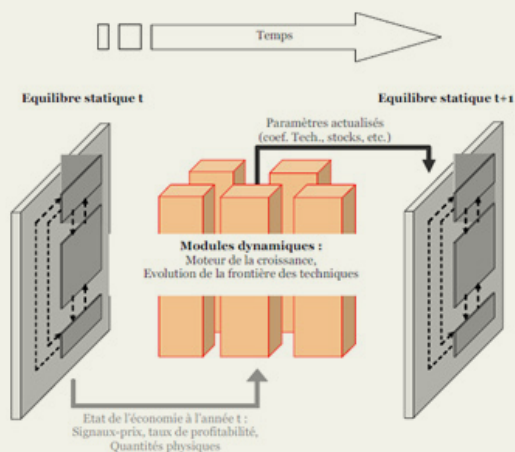
Les modèles récursifs IMACLIM-R reposent sur :

- Une comptabilité hybride, en valeur et en prix, des flux d'échange entre secteurs et ménages et comptes publics; la mise en place de cette comptabilité exige un travail spécifique d'harmonisation des matrices de comptabilité sociale, des bilans énergétiques et des indicateurs d'activité physique (t/km, v/km etc...). Elle tient compte, contrairement au modèle GTAP<sup>4</sup> par exemple, de prix différents selon les secteurs et les agents;
- Des « équations comportementales » décrivant les réponses des acteurs économiques (ménages, entreprises, administrations publiques) à un jeu d'incitation (prix, règles, financement) et de contraintes. Ce sont le plus souvent des fonctions d'optimisation mais, par rapport au maniement classique de fonctions de production ou d'utilité stables sur tout l'espace de projection, elles peuvent intégrer des « routines », des évolutions des comportements dans le temps et des « saturations », possibilités de substitutions en cas de rupture importante par rapport aux tendances en cours ;
- Les secteurs clefs de la transition énergétique sont représentés par des sous-modèles technico-économiques détaillés, validés avec l'aide d'experts sectoriels, afin de tester des visions alternatives des coûts des techniques et de détecter les goulots d'étranglement susceptibles de bloquer la pleine exploitation des potentiels technologiques de même que les marges de manœuvre existantes pour les lever;
- La représentation de sentiers de croissance non optimaux avec possibilité de chômage et de déséquilibre de la balance des échanges extérieurs. Les déséquilibres sont représentés comme des écarts entre une « croissance potentielle » (population active × productivité du travail) et une croissance réelle qui résulte des frictions engendrées par des comportements en information imparfaite et l'inertie des systèmes techniques.

La double comptabilité en valeurs physiques et monétaires permet de décrire de façon cohérente l'ensemble des interactions entre les secteurs demandeurs d'énergie, les secteurs énergétiques et le reste de l'économie en intégrant les inerties dans la transformation des systèmes techniques. L'existence de variables physiques précises (ex. nombre d'automobiles, nombre de logements, efficacité énergétique des technologies) ouvre la voie à l'inclusion rigoureuse des données sectorielles relatives à l'impact des incitations économiques sur la demande finale et les systèmes techniques. Chaque année, l'évolution technico-économique fournit un bilan comptable et physique équilibré, duquel découle un certain nombre d'indicateurs (PIB, prix sectoriels, investissements sectoriels, consommation des ménages de chaque secteur, taux de chômage, commerce international, etc.).

La relation entre deux équilibres annuels consécutifs s'opère à l'aide de modules sectoriels dynamiques (module d'électricité, résidentiel, par exemple) illustrant la dynamique propre à chaque secteur, compte tenu des contraintes économiques (investissement disponible, consommations intermédiaires et coût de l'énergie) et physiques (par exemple, l'inertie des infrastructures technologiques et des appareils, facteur limitant les progrès de l'efficacité énergétique, asymptotes technologiques). Le point le plus important est que, chaque année, l'équilibre macroéconomique statique « envoi » aux modules sectoriels les informations sur les nouveaux prix relatifs et les demandes espérées. A chaque date « t » le modèle technicoéconomique calcule donc la réponse de chaque secteur à ces informations (changement des coefficients techniques) qui vont alimenter un nouvel équilibre en t+1.

L'architecture de modélisation IMACLIM-R endogénéise donc les prix de l'énergie comme elle le fait des autres prix. Il y a cependant une exception dans le cas d'une version pays comme IMACLIM-R (Fr). Contrairement à IMACLIM-R monde, on suppose en effet que des politiques menées dans un seul pays de taille moyenne n'est pas susceptible de modifier les marchés mondiaux des énergies fossiles. L'évolution des prix des énergies fossiles est donc fixée de façon exogène, ici, avec les mêmes hypothèses que celles retenues dans les scénarios UFE.



IMACLIM-R (Fr) décrit donc des trajectoires de croissance d'une économie en prix et en quantités, et permet d'en étudier les caractéristiques en termes de grands équilibres économiques (fiscalité, transferts, financement de l'état, importations, exportations, compétitivité) et de prix relatifs, ceci pour différentes visions du changement technique et différentes hypothèses sur le monde extérieur (croissance mondiale, prix du pétrole principalement).

Décrivant de façon explicite les inerties dans les capacités de production, les infrastructures, les équipements des ménages, la structure d'IMACLIM-R permet de prendre en compte les difficultés dans les sentiers de transition dues aux frictions du court terme, en particulier pendant la phase d'enclenchement, comme on le verra par la suite. En sens inverse, parce que l'économie ne fonctionne pas nécessairement de façon optimale, il y a des possibilités de sous-utilisation des capacités installées et de la main d'œuvre qui permet de décrire la possibilité de rapprocher l'économie réelle de sa « croissance potentielle » et d'examiner dans quelle mesure ce rapprochement permet de contrebalancer les coûts économiques des « frictions » de court terme. Sur le moyen et long terme, parce qu'il fonctionne selon une logique de progrès technique endogène, avec des effets d'apprentissage dépendant du cumul d'investissements sur une technologie donnée, il peut représenter sur le moyen et long terme les gains venant d'un déplacement de la « frontière » de production.

Parmi les limites du modèle IMACLIM-R, on peut citer par ordre d'importance croissante :

- Il ne calcule que les émissions de CO<sub>2</sub> induites par la consommation d'énergie, les autres gaz à effet de serre n'étant pas comptabilisés, ce qui correspond également au cadre de travail adopté par l'UFE.
- Dans la version utilisée, il n'y a pas de description fine des chaînes de valeur dans les différents secteurs industriels. Ceci n'est pas un problème significatif pour l'étude de scénarios où, finalement les chocs de prix, quoique réels, ne sont pas suffisamment importants pour entraîner des risques massifs en matière de délocalisation.
- L'élasticité des salaires aux prix est homogène selon les secteurs et ne fait pas une distinction entre secteurs protégés et secteurs exposés. Cela minore l'effet positif des gains de compétitivité moyens liés à la baisse des charges sociales permise par une taxe carbone. En effet, dans les secteurs protégés, la hausse des salaires pourrait être plus importante que celle qui sera simulée ici et entraîner une hausse plus importante de la demande intérieure (pour autant que cet effet positif ne soit pas compensé, par effet de propagation, par une hausse trop importante des coûts des secteurs exposés). L'absence de secteur financier et de monnaie implique que des besoins de financement ne peuvent être pris en charge par émissions monétaires directes ou indirectes (par exemple sous forme de garantie publique) et que tout déficit de la balance des paiements se traduit par un accroissement de la dette réelle vis-à-vis du monde extérieur. C'est pourquoi dans toutes les simulations présentées ici, la balance des paiements reste constante de façon à ce que la trajectoire optimisée de l'UFE ne bénéficie pas de contraintes financières plus lâches. Concrètement, dans nos scénarios, toute amélioration (détérioration) du solde extérieur se traduit par de moindre (plus forte) entrée de financements externes (capitaux et prêts).



# Méthodologie utilisée pour le bouclage IMACLIM-R/UFE

## Principes de modélisation hybride

L'objectif de l'étude était bien de prendre pour acquises les données techniques du scénario produit par l'UFE. Il fallait donc alors représenter les mécanismes par lesquels les évolutions qu'implique ce scénario dans des secteurs clefs (énergie, transports, bâtiment) influencent les principaux indicateurs de performance économique du pays.

Pour représenter ces mécanismes nous avons donc inséré les résultats des trajectoires de l'UFE dans le modèle IMACLIM-R (Fr). Grâce à la nature hybride de ce modèle où les flux physiques ne sont pas dérivés d'une fonction de production prédéterminée, il était possible de calibrer l'évolution des coefficients techniques sur celle retenues par l'UFE en fonction de deux paramètres, le temps (progrès technique) et les prix relatifs des énergies.

Un bouclage macroéconomique du scénario UFE reposait alors sur des choix de paramètres définissant un « contexte macroéconomique » cohérent avec les hypothèses UFE et l'imposition de la vision UFE pour le futur du système énergétique en termes de coefficients techniques, de mix de carburant, d'intensité énergétique, de coûts énergétiques et de coûts d'investissements de décarbonation.

## Bouclage unidirectionnel versus bouclage complet

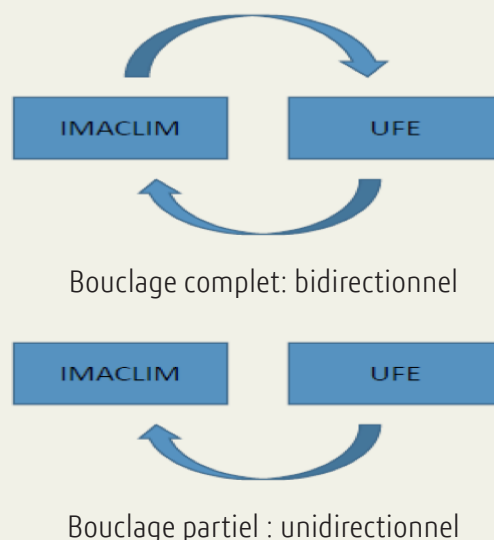
Deux types de bouclage sont possibles entre IMACLIM-R et un modèle sectoriel comme celui d'UFE. Ils sont visualisés dans la figure 2.

Dans l'idéal, un bouclage bidirectionnel permet de prendre en compte l'ensemble des rétroactions macroéconomiques. Dans un tel bouclage, les choix technologiques impactent l'économie, et système économique impacte les choix technologiques. Concrètement, il aurait consisté à réinjecter les nouveaux prix relatifs et les disponibilités des capitaux dans les trajectoires de l'UFE pour mettre en évidence dans quelle mesure ils changent ou non la structure des scénarios.

Or, lorsque les trajectoires de l'UFE ont été recalculées en fonction des prix relatifs calculés par IMACLIM-R (Fr), leur structure n'a pas changé de façon drastique. Il devenait alors inutile de réinjecter la trajectoire bas carbone ainsi amendée dans IMACLIM-R (Fr) car cela n'aurait pas eu un impact significatif sur les conclusions macro-économiques de l'étude.

Un bouclage « unidirectionnel » a été retenu parce qu'il présente l'avantage de respecter les trajectoires de l'UFE, tout en donnant un aperçu robuste sur les impacts de ces scénarios énergétiques et les plans d'investissement connexes sur le reste de l'économie et de la dynamique d'investissement. Il impose à IMACLIM-R (Fr) la structure des systèmes énergétiques des trajectoires de l'UFE, en termes de coefficients techniques, de mix de carburant, d'intensité énergétique, de coûts des énergies et des investissements énergétiques. En revanche, il n'y a pas de modification de la structure du mix énergétique et du niveau d'effort du côté de la demande d'énergie en fonction des prix relatifs des énergies calculés par IMACLIM-R (Fr). La seule adaptation du système énergétique simulée par IMACLIM-R (Fr) concerne la taille du secteur pour la rendre compatible avec la demande finale d'énergie résultant des variations de PIB calculées par rapport à celles retenus ex-ante par l'UFE. En d'autres termes, nous évaluons les rétroactions macro-économiques en termes de volume d'activité mais l'hypothèse sous-jacente est que ces rétroactions économiques ne remettent pas en cause les choix énergétiques. Le modèle crée ainsi une situation économique compatible avec ce système énergétique en adaptant la taille du

Figure 2 : Options de bouclage IMACLIM-UFE



système énergétique, mais pas sa structure.

Techniquement, nous trouvons dans les scénarios évalués par IMACLIM-R (Fr) des prix relatifs entre énergies qui, par construction, ne peuvent correspondre aux hypothèses initiales retenues par l'UFE puisqu'ils sont nécessairement modifiés par les mécanismes d'équilibre général. De même, les besoins d'investissement énergétiques sont satisfaits quelle que soit leur rentabilité. Les rétroactions entre le système énergétique et le reste de l'économie ne dépendent pas de la rentabilité relative des investissements dans l'énergie (l'offre et de la demande) et des autres secteurs. Les tensions imposées par les exigences de capital des systèmes énergétiques sont capturées d'une autre manière : étant donné un montant de l'épargne, l'investissement dans les secteurs non énergétiques est réalisé sous la contrainte de disponibilité du capital restant après investissement dans les secteurs énergétiques.

Par conséquent, contrairement au bouclage bidirectionnel, dans un tel bouclage unidirectionnel, les choix technologiques impactent l'économie, mais le système économique n'impacte pas les choix technologiques, comme si un planificateur du système énergétique imposait ces choix, autour desquels l'économie s'adapterait.

**Tableau 1 : Statut du bouclage**

Secteur	Choix de bouclage
<b>Croissance</b>	Croissance potentielle ajustée sur les prévisions de croissance UFE
<b>Prix</b>	Prix des importations imposés, le reste est endogène au modèle
<b>Résidentiel</b>	Consommation résidentielle imposée aux ménages
<b>Industrie</b>	Consommations unitaires & investissement prises en compte
<b>Tertiaire</b>	Consommations unitaires & investissement prises en compte
<b>Electricité</b>	Module sectoriel IMACLIM remplacé par les données UFE
<b>Investissement</b>	Intégré dans les investissements IMACLIM-R (Fr)
<b>Agriculture</b>	Imposé de façon exogène

### Harmonisation des paramètres macroéconomiques

Comme indiqué dans le tableau 2, les hypothèses de population et de croissance économique sont reprises directement de l'environnement économique de référence et la trajectoire bas carbone de l'UFE (scenario médian INSEE). La technique utilisée a consisté à ajuster la croissance potentielle (croissance de la population active + croissance de la productivité du travail) d'IMACLIM-R (Fr) afin de retrouver l'hypothèse de croissance du PIB réel dans l'environnement de référence et la trajectoire bas carbone de l'UFE.

**Tableau 2: Paramètres macroéconomiques (UFE et IMACLIM-R (Fr))**

Paramètre	Méthodologie d'intégration dans IMACLIM-R (Fr)
Population	Ajustée au niveau UFE
Croissance PIB	Productivité du travail ajustée

Le bouclage unidirectionnel a un impact sur la façon dont ont été traités les prix de l'énergie comme indiqué dans le tableau 3 puisque les prix à l'import du pétrole, gaz et charbon sont imposés au modèle IMACLIM-R (Fr). Celui-ci en revanche recalcule de façon endogène les prix de chaque énergie pour les trois grands secteurs concernés.

**Tableau 3: Intégration des prix des énergies dans IMACLIM-R (Fr)**

Secteur	Méthodologie d'intégration dans IMACLIM-R (Fr)
Résidentiel-tertiaire	Endogène
Industrie	Endogène
Transport	Endogène
Prix import	Imposé

### Harmonisation des hypothèses par secteur

Dans l'exercice de bouclage unidirectionnel entre IMACLIM (Fr) et le scénario de l'UFE, la règle du jeu consiste à retrouver strictement le contenu physique des hypothèses sous-jacentes au scénario UFE. Ainsi, pour le secteur électrique, comme indiqué dans le tableau 4, la production électrique et les capacités installées par technologie sont les mêmes que dans les trajectoires de l'UFE (environnement économique de référence et trajectoire bas carbone), de même que le rendement des centrales et les coûts d'investissement. Reste comme paramètre endogène recalculé par le modèle le solde exportateur de l'électricité et la demande totale d'électricité produite qui s'adapte aux prix de production des secteurs en France.

En revanche, et cela a été confirmé par le test réalisé par l'UFE en aval de cette étude, la transformation des prix relatifs des énergies, si elle est importante pour l'évaluation macro-économique d'ensemble ne change que très marginalement la structure de la production électrique par technologie du scénario de l'UFE, en particulier la place prise par le nucléaire. Comme cette adaptation est marginale, il était légitime de fonctionner à structure constante de la production électrique par technologie entre l'UFE et IMACLIM-R (Fr).

La même logique prévaut pour les autres secteurs (agriculture, industrie, résidentiel et tertiaire) où les décroissances des consommations unitaires sont calées pour retrouver les évolutions de la consommation totale de chaque secteur telle que projetée par l'UFE (tableaux 7, 8, 9).

Enfin, le secteur du transport, quoique plus complexe de traitement, relève de la même logique. Il a fallu seulement ici intégrer, en sus des consommations unitaires par km parcouru le taux de remplissage des véhicules et le parcours moyen annuel (tableau 10). Un point important ici est que les coûts d'investissement du secteur transport lui-même sont endogènes au modèle IMACLIM-R (Fr). Ils englobent les investissements d'infrastructures alors que les investissements d'achat de véhicule sont affectés au comportement d'épargne des ménages.

Le tableau 5 résume les secteurs pour lesquels les surcoûts d'investissement ont été calculés par l'UFE, et la façon dont ils ont été mis en place. Ces surcoûts d'investissement sont ainsi ajoutés à la valeur de l'investissement par secteur dans IMACLIM-R (Fr).

**Tableau 4: Intégration du secteur électrique**

Grandeur	Méthodologie d'intégration dans IMACLIM-R
Solde exportateur électricité	Endogène dans IMACLIM-R (Fr)
Coûts d'investissement	Intégré
Rendement des centrales	Intégré
Production électrique par technologie	Structure respectée, quantité totale endogène
Capacité installée par technologie	Intégré

**Tableau 5: Surcoûts d'investissement**

Secteur	Méthodologie d'intégration dans IMACLIM-R (Fr)
Résidentiel	Intégré
Tertiaire	Intégré
Transport	Surcoût d'investissement constant
Industrie	Intégré
Total	Intégration sectorielle

**Tableau 6: Emissions de CO2 dans IMACLIM-R (Fr)**

Secteur	Méthodologie d'intégration dans IMACLIM-R (Fr)
Résidentiel	Endogène dans IMACLIM- R (Fr)
Tertiaire	Endogène dans IMACLIM-R (Fr)
Transport	Endogène dans IMACLIM- R (Fr)
Industrie	Endogène dans IMACLIM- R (Fr)
Agriculture	Endogène dans IMACLIM- R (Fr)
Total	Endogène dans IMACLIM- R (Fr)

**Tableau 7: Intégration de l'industrie dans IMACLIM-R (Fr)**

Grandeur	Méthodologie d'intégration dans IMACLIM-R (Fr)
Consommation d'énergie	Consommations unitaires en proportion des consommations totales provenant d'UFE
Investissement	Intégré dans les investissements IMACLIM-R (Fr)

**Tableau 8: Intégration du résidentiel dans IMACLIM-R (Fr)**

Grandeur	Méthodologie d'intégration dans IMACLIM-R (Fr)
Consommation d'énergie	Consommations totales imposées comme contraintes aux ménages dans leur budget.
Investissement	Intégré dans les investissements IMACLIM-R (Fr)

**Tableau 9: Intégration du tertiaire dans IMACLIM-R (Fr)**

<b>Grandeur</b>	<b>Méthodologie d'intégration dans IMACLIM-R (Fr)</b>
<b>Consommation d'énergie</b>	Consommations unitaires en proportion des consommations totales provenant de l'UFE
<b>Investissement</b>	Ajouté aux investissements dans IMACLIM-R (Fr)

**Tableau 10: Intégration du transport dans IMACLIM-R (Fr)**

<b>Grandeur</b>	<b>Méthodologie d'intégration dans IMACLIM-R (Fr)</b>
<b>Consommations unitaires</b>	Intégrées
<b>Investissement</b>	Ajouté aux investissements dans IMACLIM-R (Fr)

# L'évaluation macro-économique de la trajectoire bas carbone

Pour permettre de mieux en comprendre les déterminants, l'évaluation des impacts macroéconomiques de la trajectoire bas carbone optimisée prendra appui sur trois scénarios :

- L'environnement économique de référence résultant du scénario bouclé IMACLIM/UFE. C'est par rapport à lui que les indicateurs de performance des scénarios bas carbone seront calculés ;
- La trajectoire bas carbone où les politiques et mesures envisagées dans la trajectoire bas carbone optimisée de l'UFE sont appliquées, entraînent des effets macroéconomiques évalués par IMACLIM-R (Fr), mais sans prise en compte de politiques d'accompagnement qui puissent en corriger d'éventuels effets négatifs ;
- La trajectoire bas carbone avec recyclage de la fiscalité climatique qui intègre la trajectoire technique bas carbone optimisée de l'UFE et dont le résultat économique global est lui-même optimisé via le recyclage d'une taxe carbone.

L'intérêt de la distinction entre ces deux scénarios est de faire apparaître que l'on peut améliorer le scénario trajectoire bas carbone si on l'accompagne de politiques fiscales appropriées, en particulier par le biais du recyclage du produit de la taxe.

## PIB, emploi, évolution de la dette : les résultats bruts

Le tableau 11 montre que la Trajectoire bas carbone provoque, sur plusieurs années (en fait jusqu'en 2022), un choc de croissance légèrement négatif par rapport à l'Environnement économique de référence (même si la croissance reste dans tous les cas positive). Ce choc est plus faible et surtout plus court (deux ans) lorsqu'on intègre une taxe carbone que l'on recycle en baisse des cotisations sociales. Passé ce choc, les impacts positifs des mesures de transition énergétique l'emportent dès 2020 dans la Trajectoire bas carbone avec recyclage de la fiscalité climatique et se stabilisent à +0,05% de PIB après 2025. Cumulé sur la période, ceci donne un PIB augmenté de 0,8% en 2030.

**Tableau 11 : Evolution du PIB dans les trajectoires bas carbone**

Evolution du PIB par rapport à l'Environnement économique de référence (Indice)	2017	2020	2023	2025	2030
Trajectoire bas carbone	0,9987	0,997	1,0012	1,0017	1,0047
Trajectoires carbone avec recyclage de la fiscalité climatique	0,999	1,0004	1,0012	1,0024	1,0074

Avant d'analyser les raisons de ces résultats, il est important de bien noter qu'ils ne tiennent pas compte d'un effet positif important, c'est-à-dire d'un effet relance par les investissements. Ceux-ci en effet sont dans les deux trajectoires bas carbone du tableau 11 de 30 milliards d'€ par an supplémentaires, 480 milliards d'€ pour la Trajectoire bas carbone, 484 milliards d'€ pour la Trajectoire bas carbone avec recyclage de la taxe, ce qui représente 6% de la formation brute de capital fixe<sup>5</sup>.

Ces 6% ne sont pas négligeables dans le jeu d'hypothèses retenues au sein des simulations présentées ici. En effet, le recours à un endettement supplémentaire ou à des mécanismes de garanties publiques est rendu impossible. Le financement des 6% passe donc par une réallocation de l'épargne des consommateurs d'énergie (ménages et entreprises) et se fait donc au détriment d'autres investissements productifs. L'effet d'éviction sur ces investissements est donc total, ce qui est une hypothèse très pessimiste. Cela signifie que les effets positifs de croissance que nous rapportons ici viennent essentiellement d'effets d'équilibre général.

Le résultat important ici est que, malgré ces hypothèses restrictives, la transition bas carbone telle qu'elle est définie par les trajectoires de l'UFE est possible non seulement sans impact négatif de long terme sur la croissance, mais au contraire avec un effet légèrement positif par rapport à l'Environnement économique de référence. L'augmentation du PIB que nous trouvons n'est pas négligeable et son intérêt est renforcé par la prise en compte d'autres indicateurs économiques et sociaux :

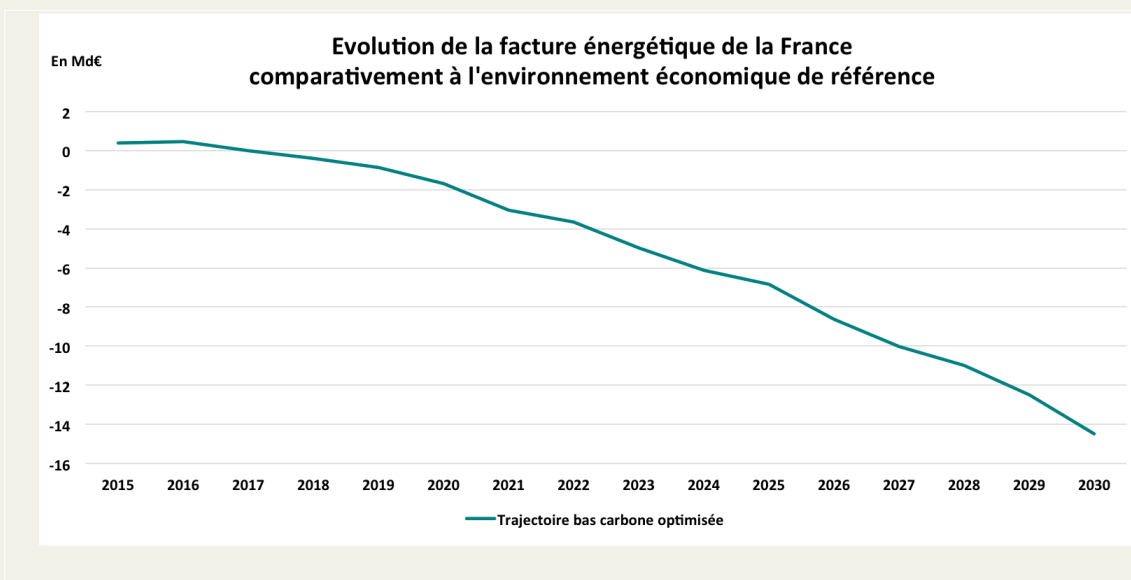
- L'augmentation de 13 milliards € par an des recettes fiscales de l'État en fin de période ce qui permet une gestion moins tendue des déséquilibres budgétaires.
- La réduction de la facture énergétique de la France avoisine les 15 milliards € en 2030 (Trajectoire bas carbone avec recyclage de la fiscalité climatique) et, au total, on obtient une réduction de 83 milliards d'€ de l'endettement de la France à cette même date et, co-bénéfice non chiffré ici mais à prendre en compte, une moins grande vulnérabilité vis-à-vis des chocs externes sur les prix des hydrocarbures importés.
- Une augmentation significative de l'emploi qui passe par un pic de +400 000 emplois entre 2020 et 2030 dans la Trajectoire bas carbone avec recyclage de la fiscalité climatique pour se stabiliser un peu au-dessus de +360 000 emplois en fin de période (tableau 12). Ceci permet de parcourir le tiers de la baisse du taux de chômage en équivalent temps plein nécessaire pour atteindre le taux de 4%, indicateur de ce qu'on peut considérer comme du plein emploi puisqu'on approche du niveau de chômage frictionnel. Cette augmentation de 1,1% est supérieure à celle du PIB en raison du jeu entre deux paramètres :
  - a) la part du secteur énergétique dans le PIB étant plus faible que dans le scénario de référence (conséquence d'une moindre demande finale d'énergie) la croissance de la valeur ajoutée du secteur non énergétique est supérieure à celle du PIB (un montant de 0,9% supérieur en 2030), or ce secteur est plus intensif en travail<sup>6</sup>
  - b) une augmentation de l'intensité travail pour produire une unité de valeur des biens non énergétiques en raison de la baisse relative du coût du travail par rapport aux autres facteurs de production après la baisse des cotisations sociales permise par la taxe carbone.

L'énoncé de ces paramètres montre que l'effet positif de la croissance dépend moins de l'effet relance par les investissements que des effets dits d'équilibre général des politiques appliquées, c'est-à-dire de la propagation de leurs coûts et bénéfices dans l'ensemble de l'appareil productif jusqu'aux ménages.

Les pertes en début de période suggèrent en effet que parmi les mécanismes mis en œuvre, ceux qui jouent dans un sens positifs sont dans un premier temps contrebalancés par des coûts frictionnels, en début de période, coûts qu'il faudra prendre en compte dans toute politique d'accompagnement des scénarios. Une baisse, même marginale, du niveau d'activité mesurée à un niveau agrégé masque en fait l'existence de tensions qui pourraient être significatives pour certains secteurs et certaines catégories de population.

**Tableau 12 : Emploi additionnel par rapport à l'Environnement économique de référence**

Emploi additionnel par rapport à l'environnement économique de référence	2017	2020	2025	2030
Trajectoire bas carbone	0	1500	120000	150000
Trajectoire bas carbone avec recyclage de la fiscalité climatique	0	100 000	400 000	360 000



6. A la marge on peut tenir compte d'un autre effet, à savoir substituer de l'électricité au gaz dans le mix énergétique est créateur d'emploi. Par énergie finale fournie, l'électricité est en effet quatre fois plus intensive en main d'œuvre que le gaz ou le pétrole.

## Les mécanismes en jeu

Le modèle IMACLIM-R (Fr) permet, on l'a vu, de représenter une économie que les économistes appellent de second rang, avec des frictions et des difficultés d'anticipation qui ouvrent des possibilités de sous-utilisation des capacités et de sous-emploi. Dans le contexte actuel de l'économie française, on a bien sûr une situation dominante de sous-utilisation des capacités. Par rapport à la vision canonique d'une relance keynésienne de la demande finale enclenchée par une vague d'investissement, l'inertie dans la réponse du système économique vient de l'effet partiel d'éviction sur les autres investissements, de l'impact de la hausse des prix de l'énergie sur les ménages et du fait que les effets positifs durables de l'adoption d'équipements énergétiquement plus efficaces se fait au rythme du renouvellement des équipements existants.

Les résultats macro-économiques obtenus sont donc la résultante du déploiement dans le temps d'effets dépressifs et d'effets stimulants qui se déploient de façon inégale en fonction des différentes inerties technologiques et sociales qu'ils rencontrent.

Les effets dépressifs sont principalement dus à trois paramètres :

- l'impact du renchérissement des prix des énergies fossiles sur l'ensemble des prix de production après propagation de prix de l'énergie plus élevés dans l'ensemble de la matrice industrielle. Cette hausse se traduit par une baisse du pouvoir d'achat de ménages puisque le réajustement des salaires est contraint en économie concurrentielle. *In fine*, il y a baisse de la demande finale interne ainsi que des exportations (du fait du renchérissement des coûts de production nationaux),
- le financement d'investissements d'économie d'énergie par les ménages revient également à contraindre, à court terme, leur budget disponible pour la demande de biens non énergétiques,
- l'effet d'éviction des investissements des secteurs non énergétiques qui en plus de son effet dépressif à court terme ralentit à moyen terme les effets d'apprentissage dans ces secteurs et le progrès technique.

Les effets stimulants dépendent de trois paramètres :

- l'amélioration de la balance des paiements grâce à la réduction des importations d'énergies fossiles. Le mécanisme macro-économique en jeu ici est la possibilité pour l'économie française d'accorder des salaires plus élevés pour garder la balance commerciale au même niveau que dans l'environnement économique de référence, ce qui permet de contrebalancer la baisse du pouvoir d'achat provoquée par la facture énergétique des ménages, et entraîne un impact positif sur la demande finale de biens non énergétiques,
- les retombées sur l'ensemble des secteurs économiques de la réorientation de l'épargne vers la transition énergétique. A court terme, l'effet d'éviction sur les investissements non énergétiques n'est pas total parce que le financement de la transition énergétique passe par la mobilisation d'une épargne qui se place aujourd'hui soit dans l'immobilier et le foncier, soit dans des placements financiers qui ne percolent pas immédiatement sur l'appareil productif national soit enfin sont affectés dans des investissements à l'étranger. On a donc un faible «effet keynésien» qui permet une meilleure utilisation des capacités inutilisées dans certains secteurs. A long terme, il y a, ce qui contrebalance aussi les effets d'éviction sur d'autres investissements, l'augmentation de la productivité générale des facteurs liée non seulement aux économies d'énergie (qui peut s'interpréter comme une hausse de la productivité du facteur de production énergie) mais également aux mécanismes d'apprentissage endogène dans les secteurs non énergétiques,
- l'utilisation des recettes de la contribution climat énergie pour baisser les cotisations sociales. Cette baisse a pour effet de bloquer l'effet de propagation sur les coûts de production des biens non énergétiques. Mais son impact final sur les coûts n'a rien de mécanique ; il dépend essentiellement de la part de la baisse des cotisations sociales qui se traduit par une hausse des salaires nets, une augmentation des marges des entreprises ou une baisse des prix de vente. Si l'intégralité de la baisse des charges sociales est récupérée par les salaires nets, alors l'effet de propagation sur les coûts de production n'est pas bloqué. En sens inverse, si les salaires nets n'augmentent pas ou insuffisamment, le renchérissement de la facture énergétique pour les ménages conduit à une baisse de pouvoir d'achat et, par conséquent, à une réduction de la demande finale domestique (Combet, 2013 ; Hourcade and Gherzi, 2009 ; Hourcade et Gherzi, 2000).

Les effets de chacun de ces paramètres se déploient dans le temps de manière différente. Les effets de renchérissement des prix des énergies sont immédiats, de même que la pression sur la demande finale qu'exerce le financement des programmes d'efficacité énergétique et de restructuration de l'offre énergétique. Les effets d'entraînement des investissements sont assez rapides mais, dans un premier temps, l'économie réagit par de meilleurs taux d'utilisation des capacités et ce n'est que progressivement qu'il y a déclenchement d'investissements supplémentaires. Parmi les paramètres positifs, les gains de la pénétration de l'efficacité énergétique ne se déploient qu'avec un décalage temporel de même que les effets de progrès technique induit.



En fait, numériquement, **le paramètre central qui renforce le caractère positif de la Trajectoire bas carbone est la forme d'utilisation des produits de la taxe carbone** et ceci joue dès le court terme comme facteur de gestion des frictions dues à la transition.

### Paramètres centraux d'un cercle vertueux : le recyclage de la taxe carbone

L'importance du mode de recyclage de la taxe carbone est évidente quand on observe dans le tableau 12 les différences de résultats entre la Trajectoire bas carbone et la Trajectoire bas carbone avec recyclage de la fiscalité climatique.

Nous avons vu que, non pas en terme d'emplois mais de PIB, le taux de croissance de la Trajectoire bas carbone devient supérieur à celui de l'Environnement économique de référence à partir de 2023 et 2020 pour la Trajectoire bas carbone avec recyclage de la fiscalité climatique. Il y a donc bien des effets de friction qui sont annulés puis dépassés par les effets stimulants qu'en fin de période.

Les mécanismes dépressifs de court terme dans la Trajectoire bas carbone et la Trajectoire bas carbone avec recyclage de la fiscalité climatique sont tous enclenchés par l'effet de propagation des coûts d'un secteur d'activité à l'autre à travers la matrice interindustrielle. Cet effet se déclenche immédiatement parce que les économies d'énergie dans l'industrie se déploient avec un temps de décalage par rapport à la hausse de la taxe et ne la compensent pas entièrement. Dans la Trajectoire bas carbone par exemple, la hausse des coûts de production par rapport à l'Environnement économique de référence est dès 2017 de 0,03% pour le secteur des industries fortement consommatrices d'énergie (Tableau 13) et de 0,04% pour les autres industries et les services (Tableau 14). En 2030, les mêmes chiffres sont respectivement, par rapport à l'Environnement économique de référence, de 0,34% et 0,79% pour la Trajectoire bas carbone et de -0,5% et -6,2% pour la Trajectoire bas carbone avec recyclage de la fiscalité climatique.

**Tableau 13 : Coûts de production de l'industrie par rapport à l'Environnement économique de référence (Indice)**

Coûts de production l'industrie par rapport à l'Environnement économique de référence (Indice)	2017	2020	2025	2030
Trajectoire bas carbone	1,0003	1,001	1,003	1,0034
Trajectoire bas carbone avec recyclage de la fiscalité climatique	0,997	0,995	0,994	0,995

**Tableau 14 : Indice des coûts de production (industries + service) par rapport à l'Environnement économique de référence**

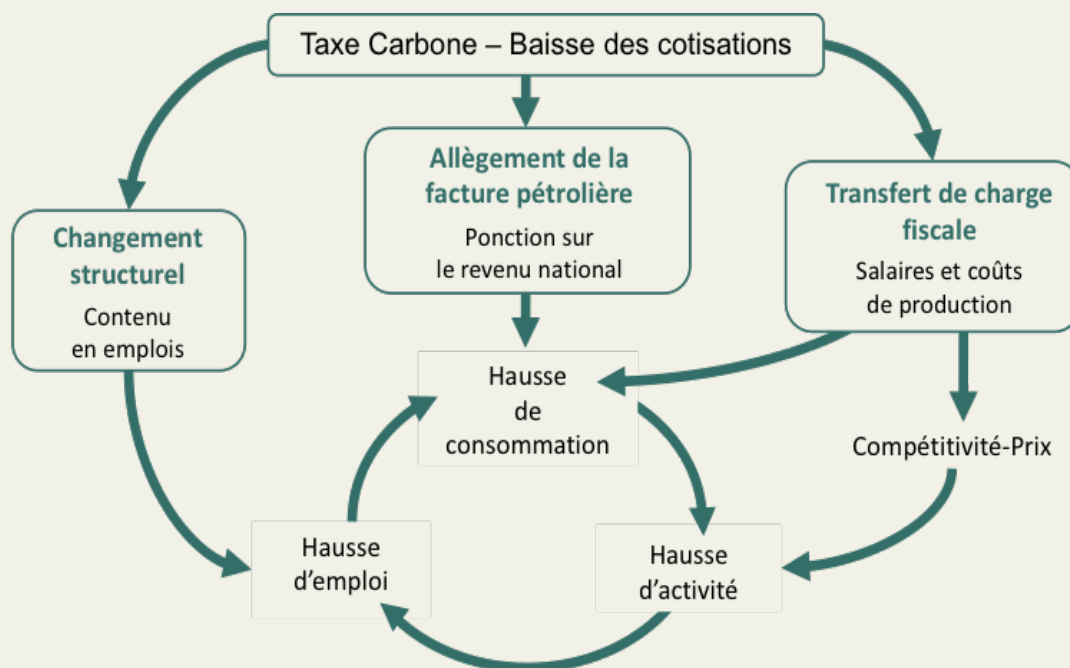
Coûts de production des industries et services par rapport à l'Environnement économique de référence (Indice)	2017	2020	2025
Trajectoire bas carbone	1,0004	1,0014	1,0042
Trajectoire bas carbone avec recyclage de la fiscalité climatique	0,994	0,988	0,984

Les implications de cette hausse des coûts de production dans la Trajectoire bas carbone et la Trajectoire bas carbone avec recyclage de la fiscalité climatique sont les suivantes: recul des exportations, plus grande pénétration des biens importés sur le marché intérieur et, surtout, réduction du marché intérieur en raison de la baisse du pouvoir d'achat réel des ménages en biens non énergétiques. Ce pouvoir d'achat est affecté à la fois par la hausse de la facture énergétique des ménages qui vient de ce que la hausse des prix de l'énergie est plus rapide que les gains d'efficacité des équipements des ménages et par la hausse générale des prix des autres biens. Les salaires ne peuvent en effet se réajuster totalement pour récupérer la hausse du coût du «panier de la ménagère» en raison même des contraintes de compétitivité.

C'est ce mécanisme que bloque la baisse des charges sociales dans la Trajectoire bas carbone avec recyclage de la fiscalité climatique et qui accroît les effets positifs de la taxation carbone par rapport à la Trajectoire bas carbone. In fine, celle-ci s'accompagne d'une baisse de la charge fiscale retombant sur le système productif national et c'est ce qui permet (tableau 14) une baisse des coûts de production de 6,2% en 2030 des industries non intensives en énergie. Cette baisse intervient dès 2020 (-1,2%).

On peut suivre sur le diagramme ci-dessous le cercle vertueux que peut déclencher une taxe-carbone recyclée en baisse des cotisations sociales: baisse des prélèvements retombant sur les coûts de production -> baisse de l'écart salaire brut/salaire net -> hausse 'bien calibrée' des salaires nets-> hausse de la compétitivité internationale -> hausse du marché intérieur et des commandes adressées au made in France -> hausse du contenu emploi de la production -> hausse de l'emploi total -> hausse du pouvoir d'achat -> amélioration des finances publiques .

**Figure 4 : Un cercle vertueux pour l'activité et l'emploi**



Ce cercle vertueux est renforcé par un mécanisme directement lié à la baisse des importations d'énergie grâce à la mise en place d'une taxe carbone. Cette baisse, dont nous avons vu qu'elle est significative, permet de moins contraindre la hausse des salaires pour un niveau donné de balance des paiements. Comme cela débouche sur une augmentation du pouvoir d'achat de l'heure travaillée en France, cela renforce le pouvoir d'achat des ménages français et les revenus disponibles pour des achats à l'industrie domestique.

Après 2020, les économies d'énergie réalisées et les emplois créés par les investissements dans la transition énergétique permettent de relancer la consommation, de même que les hausses de salaires ainsi permises par la baisse des importations d'énergie. Comme il y a une plus grande pénétration des marchés d'exportations et une augmentation de la part des productions nationales sur le marché intérieur, on observe un effet d'autant plus positif sur la croissance économique que celle-ci permet de i) limiter les effets d'éviction des autres investissements industriels, ii) d'accélérer le progrès technique endogène et iii) de meilleure affectation de l'épargne vers des investissements productifs. Ceci apparait dans le tableau 15 où pour la Trajectoire bas carbone avec recyclage de la fiscalité climatique, le pouvoir d'achat des ménages (corrigée de l'augmentation de la facture énergétique et en prenant en compte l'augmentation du PIB) augmente d'ici 2030 (1,4% à cette date).

**Tableau 15 : Indice de pouvoir d'achat des ménages par rapport à l'Environnement économique de référence**

Indice de pouvoir d'achat des ménages	2017	2020	2025	2030
Trajectoire bas carbone	0,995	1,00042	1,0068	1,008
Trajectoire bas carbone avec recyclage de la fiscalité climatique	0,996	1,007	1,011	1,014

## Les sources de frictions réelles pendant la phase de transition

La lecture des tableaux 13 et 14 montrent qu'en dépit du recyclage de la taxe, la Trajectoire bas carbone avec recyclage de la fiscalité climatique conduit à une légère baisse de l'activité à court terme. Les prix de production augmentent, d'où des pertes de part de marchés à l'exportation et sur les marchés extérieurs, et la demande finale des ménages en biens composites (services) baisse en raison du renchérissement de la facture des ménages de 2,7% (tableau 15). On trouve ici l'effet des inerties techniques et du décalage temporel entre la montée de la taxe carbone et le déploiement de ses effets positifs du point de vue technique.

**Tableau 16 : Facture énergétique par rapport à l'Environnement économique de référence (Indice)**

Facture énergétique par rapport au scénario de référence (Indice)	2017	2020	2025	2030
Trajectoire bas carbone avec recyclage de la fiscalité climatique	1,027	1,0425	1,043	1,005

En fait, à l'échelle globale, ces impacts négatifs sont modestes et peuvent être gérés assez facilement si la transition bas carbone est enclenchée au sein d'un ensemble de mesures cohérentes et expliquées aux parties prenantes.

Une partie des difficultés, l'histoire des politiques climatiques le démontre, réside néanmoins dans l'hétérogénéité des impacts de prix de l'énergie plus élevés sur les secteurs industriels, non seulement en raison de leur contenu carbone mais aussi de leur degré d'exposition à la concurrence internationale. Ce sont des difficultés réelles mais qu'il ne faut pas surestimer. Dans le cas d'une taxe carbone recyclée en baisse des cotisations sociales, les secteurs représentant 60 % de la valeur ajoutée verraient leurs coûts de production baisser, et 7% seulement les verraient augmenter (la variation des coûts étant quasiment nulle pour les 33% restants). Par ailleurs, si on concentre l'analyse sur les maillons de production réellement concurrencés internationalement, ce pourcentage tombe à 2 % (Hourcade, 2015 ; Demailly et al., 2007). La faiblesse de ce chiffre ne signifie pas qu'on doive se désintéresser de ces maillons puisque, au-delà de problèmes de reconversion pour les zones géographiques concernées, ceux-ci peuvent jouer un rôle dans une transition énergétique qui se jouera en fait beaucoup sur les industries des matériaux (FONDDRI, 2008).

La principale difficulté réside dans les conséquences de la fiscalité carbone sur les différentes catégories de ménages. Le tableau 18 montre que, même si ce sont les couches aisées qui payent une plus grande part de la taxe carbone, ce sont les couches les plus modestes qui voient leur pouvoir d'achat le plus affecté, surtout à court terme. Pour une hausse moyenne de la facture énergétique de 2,7% en 2017, cette hausse est respectivement de 3,03% et 2,86% pour les ménages les plus pauvres et modestes contre 2,31% pour les ménages les plus riches.

**Tableau 17 : Part moyenne de l'énergie dans le budget des ménages (Source : Enquête Budget de Famille 2011, INSEE)**

Catégorie de ménages	Part (%)
20% pauvres	12,10%
20% modestes	12%
20% médians	11.9%
20% aisés	11%
20% riches	9,70%

**Tableau 18 : Augmentation de la facture énergétique par catégorie de ménages par rapport à l'Environnement économique de référence (scénario Trajectoire bas carbone avec recyclage de la fiscalité climatique) (%)**

Catégories de ménages	Augmentation en %
20% pauvres	3,03%
20% modestes	3%
20% médians	2,84%
20% aisés	2,62%
20% riches	2,31%

En effet, en 2011, comme le montre le tableau 17 qui présente les parts moyennes de l'énergie au niveau de 5 catégories de la population, les 20% les plus pauvres consacraient à l'énergie 12,1% de leurs revenus contre 9,7% pour les 20% les plus riches. Même si c'est sur les catégories les plus aisées que sera ponctionnée la part la plus importante de la fiscalité carbone, c'est le pouvoir d'achat des bas revenus qui sera le plus affecté. Certes, les bas revenus tireraient profit d'un moindre chômage, mais la baisse immédiate de leur pouvoir d'achat les affectera plus que les hausses futures de leur salaire. Cette baisse résulte principalement de la hausse des prix des services essentiels (chauffage, mobilité, etc.).

Après 2025, les ménages modestes et médians (deux tiers de la population) voient l'augmentation de leur facture énergétique diminuer autour de 0,5% contre plus de 4% précédemment (tableau 19) et, avec une augmentation de 0,5 à 0,6% de leur revenu par rapport à l'Environnement économique de référence, ils bénéficient un peu de la réforme en 2030. En moyenne, leur pouvoir d'achat en biens non énergétiques s'améliore sensiblement (tableau 20). Mais cette amélioration reste modeste. Ces couches sociales sont en effet davantage motorisées et disposent d'un habitat à plus haut niveau de confort que les couches défavorisées. Elles sont ainsi davantage affectées par le renchérissement de l'énergie et capitalisent moins les effets positifs de la baisse du chômage. C'est pourquoi ce chiffre moyen positif ne doit pas faire oublier que, en raison des hétérogénéités spatiales, c'est dans ces couches que l'on trouverait des contingents importants de «perdants» de la réforme, celles situées dans des zones rurales mais aussi péri-urbaines excentrées.

La seule issue réside alors dans un ciblage fin des compensations ou exemptions avec un accent particulier sur les disparités spatiales et sur l'accès à un chauffage et des services électriques décentes est cruciale pour le déploiement d'une fiscalité carbone. Pour ce faire, il serait souhaitable de mettre en œuvre des mesures telles que les primes à la casse, le chèque transport, des soutiens ciblés rénovations sur les logements énergivores et chauffés avec des énergies carbonées.

**Tableau 19 : Augmentation de la facture énergétique par catégorie de ménages (scénario Trajectoire bas carbone avec recyclage de la fiscalité climatique) (en %)**

Catégorie de ménages	2017	2020	2025	2030
20% pauvres	3,03%	4,73%	4,81%	0,56%
20% modestes	2,86%	4,47%	4,56%	0,53%
20% médians	2,84%	4,18%	4,26%	0,50%
20% aisés	2,62%	4,05%	4,13%	0,48%
20% riches	2,31%	3,58%	3,66%	0,43%

**Tableau 20 : Variation du revenu par rapport à l'Environnement économique de référence hors dépenses énergétiques par catégorie de ménages**

Catégorie de ménages	2017	2020	2025	2030
20% pauvres	0,937	0,931	0,94	1,06
20% modestes	0,988	0,982	0,99	1,12
20% médians	0,937	0,931	0,94	1,06
20% aisés	0,988	0,982	0,99	1,12
20% riches	0,996	1,1	1,2	1,4

# Conclusion

Nous avons vu que l'exercice réalisé repose sur un couplage unidirectionnel entre les scénarios de l'UFE et le modèle IMACLIM-R (Fr). Si l'évaluation macroéconomique d'un scénario technico-économique est un exercice complexe puisqu'il repose non seulement sur les hypothèses sous-jacentes à chacun des deux modèles, mais également sur des hypothèses de couplage entre les deux objets, elle permet d'identifier un certain nombre de tendances et de conclusions significatives.

**En premier lieu, il apparaît que la trajectoire de demande énergétique bas carbone de l'UFE représente un levier pour une relance économique soutenable à moyen et long termes. Par rapport à l'environnement économique de référence, la trajectoire optimisée peut permettre, d'ici à 2030, la création de +360 000 emplois et une augmentation de +1.4% du PIB, grâce notamment à une réduction du déficit commercial lié à l'énergie.**

Ce résultat positif est la conséquence du déploiement dans le temps d'effets dépressifs et d'effets stimulants qui se déploient de façon inégale en fonction des différentes inerties technologiques et sociales qu'ils rencontrent.

Les principaux effets dépressifs, qui l'emportent à court terme, sont :

- l'impact du **renchérissement des prix des énergies fossiles** dans l'ensemble de la matrice industrielle, qui se traduit par une baisse du pouvoir d'achat de ménages et une diminution des exportations,
- le **financement d'investissements d'économie d'énergie** par les ménages, qui revient également à contraindre leur budget disponible pour la demande de biens non énergétiques,
- l'**effet d'éviction des investissements des secteurs non énergétiques** qui en plus de son effet dépressif à court terme ralentit à moyen terme les effets d'apprentissage dans ces secteurs et le progrès technique.

A moyen et long terme, ces effets sont contre balancés par les retombées économiques suivantes :

- l'**amélioration de la balance des paiements grâce à la réduction des importations d'énergies fossiles**,
- les retombées positives des économies d'énergies sur la **productivité de l'ensemble des secteurs économiques** grâce aux effets d'apprentissage,
- l'**utilisation des recettes de la contribution climat énergie pour baisser les cotisations sociales**, ce qui améliore la compétitivité du travail par rapport à l'énergie.

Afin d'améliorer le bilan de la trajectoire bas carbone de l'UFE, la politique publique devra en priorité lever l'obstacle que constituent les légères pertes de niveau d'activité et d'emploi à court terme. Celles-ci peuvent en effet constituer un obstacle réel pour l'acceptabilité politique des scénarios.

Le premier effet frictionnel rencontré, la hausse des prix des énergies, pourrait ainsi être limitée en s'attachant à maîtriser les coûts des énergies bas carbone pour les consommateurs finaux. Cela limiterait l'impact sur la facture d'une partie des consommateurs, et bénéficierait aux entreprises utilisant ces énergies. Par ailleurs, les investissements énergétiques peuvent être accélérés en jouant sur des mécanismes de financement, ce qui permettrait de réduire drastiquement les risques d'investissements sur des technologies bas carbone et de réorienter massivement l'épargne (Combet et al., 2009 ; Hourcade et Combet, 2017). Dans cette hypothèse, trois sources de frictions créées par la transition bas carbone seraient réduites :

- le renchérissement des coûts de l'énergie,
- la pression des investissements d'efficacité énergétique sur le budget des ménages
- l'effet d'éviction sur d'autres investissements industriels.

Par cette occasion, l'écart entre épargne disponible et investissements, qui est aujourd'hui de plus en plus reconnu comme la source principale de la phase de quasi-stagnation de la croissance dans le monde occidental, serait réduit.

# Références

- Ademe, 2014, Bas Carbone 2014
- Aglietta M., Espagne E., Perissin-Fabert E., 2015, A proposal to finance low carbon investments in Europe France Strategy February 2015.
- [http://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/bat\\_notes\\_danalyse\\_n24\\_-\\_anglais\\_le\\_12\\_mars\\_17\\_h\\_45.pdf](http://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/bat_notes_danalyse_n24_-_anglais_le_12_mars_17_h_45.pdf)
- Banque Mondiale, 2016, World Bank Commodity Forecast Price Data
- Bibas, R., 2013, Imaclim-R France model documentation.
- Combet E., Gherzi F., Hourcade J.C., Thubin C., 2010, Economie d'une fiscalité carbone en France, Publication IRES, Rapport réalisé avec le soutien de la Cfdt et de l'Ademe, 141 p.
- Demailly D., M. Grubb, J.-C. Hourcade, K. Neuhoff, et M. Sato, 2007, Differentiation and Dynamics of European Union Emission Trading Scheme Competitiveness Impacts, Report for Climate Strategies
- FONDDRI (CIRED-ENERDATA-LEPII), 2008, Scénarios sous Contrainte Carbone, 92p <http://www.iddri.org/iddri/Fondation/08-Rapport-complet-FONDDRI-Etude-Scenarios-sous-contrainte-Carbone.pdf>
- Goulder, L.H., 1995, Environmental taxation and the double dividend: a reader's guide. *International Tax and Public Finance*, 2, 157-183.
- Guivarch, C., Hallegatte, H., Crassous, R., 2009, The resilience of the Indian economy to rising oil prices as a validation test for a global energy-environment-economy CGE model, *Energy Policy* 37:11, 4259-4266
- Hourcade, J.-C., Gherzi, F., 2000, « Le Rôle du Changement Technique dans le Double Dividende d'écotaxes ». *Economie et Prévision* (143-144) : pp. 47-68.
- Hourcade, J.-C., Jaccard, M., Bataille, C. et F. Gherzi, 2006, Hybrid Modeling : New Answers to Old Challenges », *The Energy Journal*, introduction au numéro spécial Hybrid Modeling of Energy-Environment Policies : reconciling Bottom-up and Top-down : pp. 1-12.
- Hourcade, J.-C., Gherzi, F., 2009, « Interpreting Environmental Policy Cost Measures » , in Gerlagh, R., Bosetti, V., Schleicher, S. (ed.), *Modeling Sustainable Development*, Edward Elgar, Cheltenham, pp. 62-83
- Hourcade, J.-C., Combet, E., 2017, Fiscalité carbone et finance climat Un contrat social pour notre temps, *Les petits matins*, 150p
- INSEE, 2013, Evaluer la productivité globale des facteurs : l'apport d'une mesure de la qualité du capital et du travail
- UFE, 2016, les clés du pilotage et du financement de la transition énergétique

# Annexes 1

## Trajectoires de l'UFE (hors intégration avec IMACLIM)

Figure 1

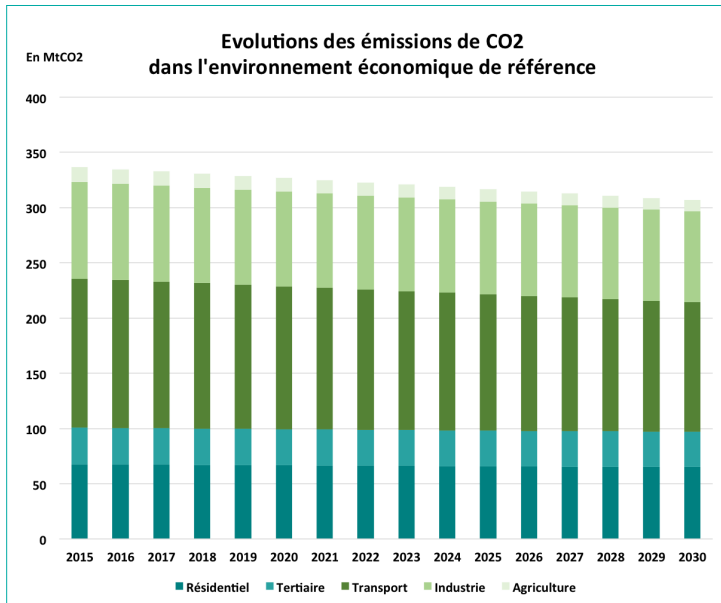


Figure 2

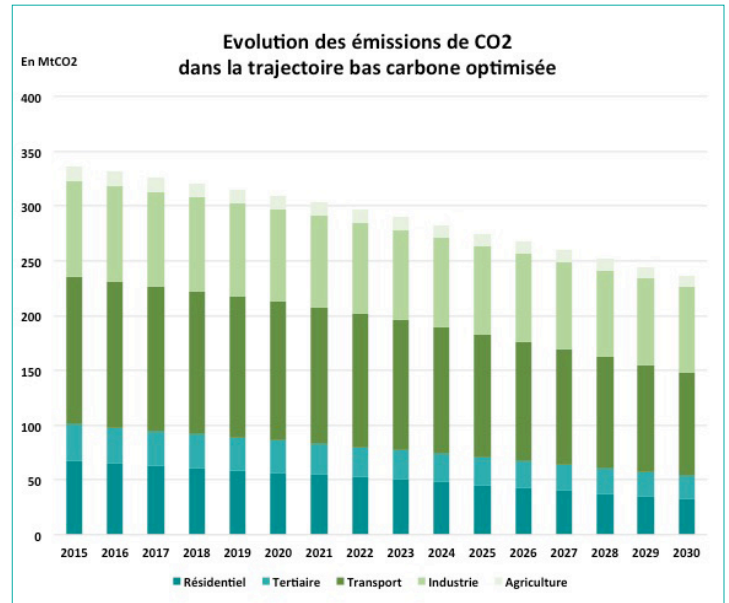


Figure 3

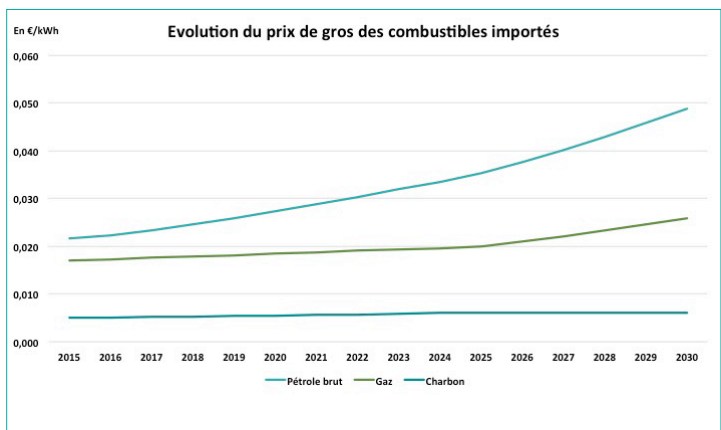


Figure 4

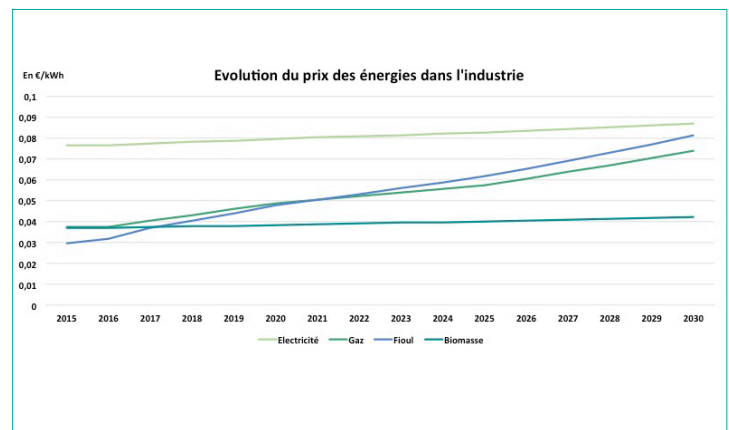


Figure 5

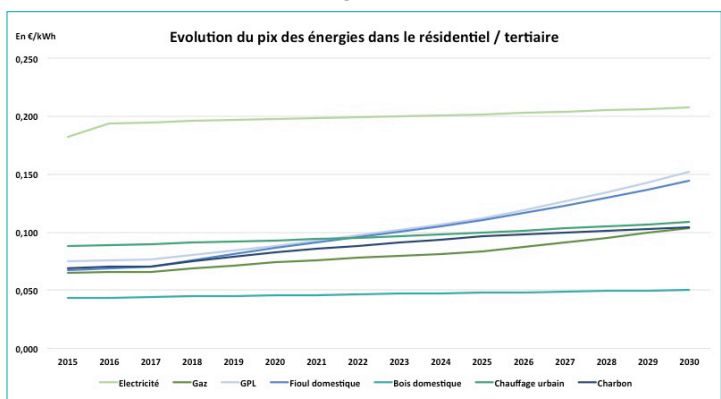


Figure 6

