Table des matières

Liste des figures

Je dédie ce travail à mes parents.

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Je tiens à exprimer ma plus profonde reconnaissance à :

Mon directeur de recherche, Michel Roland, pour son soutien moral, financier et sa disponibilité durant la rédaction de ce mémoire ;

l'Institut Hydro-Québec en environnement, développement et société (Institut EDS), pour le soutien financier ;

Mes frères et soeurs : Jean, Yaotse, Menssan, Anas et Essi qui malgré la distance n'ont cessé de m'encourager ;

Ma chère Debora pour son soutien et ses encouragements ;

DIEU, pour m'avoir donné la force dans les moments difficiles .

Trouvez ici l'expression de ma profonde gratitude et reconnaissance.

Introduction

La régressivité d'une politique publique est définie par l'effet disproportionnel qu'elle a sur les personnes à faible revenu. En d'autres mots, le coût (bénéfice) de son application est plus élevé (moins élevé) pour les ménages pauvres comparativement aux ménages riches. L'impact que peut avoir les politiques environnementales sur le plan social suscite un intérêt croissant chez les économistes. Jusqu'à récemment, la théorie économique, qui est à l'origine de propositions phares comme le système de taxation des émissions en Colombie-Britannique ou du système de plafonnement et d'échange de droits d'émission (SPEDE) du Québec, traitait peu de l'aspect régressif des politiques environnementales.

L'une des principales raisons qui expliquent ce regain d'attention est le manque de popularité des politiques publiques préconisées par la théorie économique. En effet, les économistes s'accordent sur le principe selon lequel les instruments économiques [1] sont plus efficients pour lutter contre les problèmes environnementaux (Levinson (2016), Davis et Knittel (2016), Ross (2011) , etc.). Par exemple, les travaux de Austin et Dinan (2005) et Jacobsen (2013) ont montré que la norme américaine sur les véhicules automobiles coûte environ trois à six fois plus qu'une taxe sur le carbone pour atteindre une cible environnementale. Les instruments économiques permettent donc d'atteindre un objectif environnemental au moindre coût pour l'ensemble de la société.

Cependant, dans la plupart des pays développés, ces instruments économiques sont loin d'être la panacée au problème de pollution. On assiste plutôt à l'usage des normes [2] environnementales. Par exemple, aux États-Unis et au Canada, au lieu d'une taxe sur l'énergie pour lutter contre les émissions, c'est plutôt une norme d'efficacité énergétique

1. Nous désignons par «instruments économiques » les politiques environnementales qui tentent de mettre un prix sur les émissions de polluants. A titre d'exemple, nous pouvons mentionner le système de plafonnement et d'échange de droits d'émission (SPEDE) du Québec ou la taxe sur le carbone en Colombie-Britannique.

2. Une norme est une règle mise en place par l'autorité que doit suivre tous les acteurs dans un secteur donné. Elle y ajoute les moyens de coercition pour faire respecter la règle. Par exemple la réglementation du *Corporate Average Fuel Economy Standards* (CAFE) aux États-Unis et le *Company Average Fuel Consumption* (CAFC) au Canada.

des automobiles qui est mise en place. Des pays comme la Chine, l'Inde et l'Union européenne ont récemment emboîté le pas des États-Unis par l'instauration de normes d'efficacité énergétique (Anderson et Sallee 2016). La régressivité des instruments économiques serait l'obstacle principal à leur utilisation par les politiques.

Plusieurs études ont montré qu'une taxe sur le carbone ou une taxe énergétique est régressive (Bento et al (2009), Williams et al (2015), Wang et al (2016), etc.). Plusieurs facteurs influencent l'effet d'une telle politique sur la distribution des revenus. Ces facteurs incluent les caractéristiques de la consommation des ménages, la structure du secteur de production et la répartition des bénéfices des politiques, etc. (Wang et al (2016)). Dans ce mémoire, nous portons une attention particulière sur les modèles utilisés pour mesurer l'impact des politiques environnementales sur la distribution des revenus des consommateurs via les dépenses de consommation.

Il ressort des études empiriques que la principale raison qui sous-tend la régressivité d'une taxe sur l'énergie ou d'une taxe sur le carbone est la hausse du prix de l'énergie ou des biens à forte intensité énergétique puisque les pauvres dépensent une plus grande proportion de leur revenu sur ces biens (Robinson (1985), Hamilton et Cameron (1994), Wier et al (2005), Dissou et Siddiqui (2014), etc.). Or, dans les modèles d'équilibre général calculable, qui sont populaires dans l'étude d'impact des politiques environnementales (voir Beck et al (2015) pour un exemple de modélisation), les préférences des consommateurs sont souvent modélisées par des fonctions d'utilité homothétiques, comme la fonction CES. [3] Comme la part du revenu consacrée à un bien ne varie pas en fonction du revenu lorsqu'on utilise une fonction d'utilité CES standard, on ne peut déclarer une politique régressive ou progressive à partir des seuls résultats du modèle.

Dans la littérature, la prise en compte du caractère essentiel d'un bien passe par l'instauration d'un seuil de consommation ou d'un niveau de subsistance. L'incorporation dans l'analyse économique d'un niveau de subsistance pour un bien remonte à Klein et Rubin (1947), Samuelson (1947), Geary (1950) et Stone (1954). Cette considération a récemment reçu beaucoup d'attention en économie du développement (Baumgärtner et al 2017). Ce dernier auteur a formalisé la représentation des préférences des individus avec un niveau de subsistance dans le service énergétique qui nous semble approprié pour l'étude de la régressivité des politiques environnementales. Nous nous référons donc à lui pour définir le cadre d'analyse des politiques environnementales.

3. Par exemple dans Beck et al (2015), les fonctions de production ainsi que l'utilité du consommateur sont représentées par des fonctions CES.

Même en ne prenant pas explicitement en compte le caractère essentiel du service énergétique, Levinson (2016) conclut tout de même qu'une taxe sur l'énergie est régressive en basant son argumentaire sur le fait que les dépenses sur l'énergie sont plus élevées chez les ménages riches que chez les ménages pauvres, c'est-à-dire que l'énergie est un bien normal. Or, supposer que le service énergétique est un bien normal est insuffisant pour déterminer la régressivité d'une taxe sur ce bien. L'auteur semble confondre le concept de régressivité, qui est lié à la croissance de la part de dépense d'un bien taxé selon le revenu et donc, au fait que le bien taxé soit nécessaire ou non, au concept de bien normal, lié à la croissance de la dépense elle-même. Si l'on s'en tient simplement à l'augmentation des dépenses sur un bien quand le revenu augmente, toute taxe sur un bien normal serait régressive.

La conclusion de Levinson (2016) qu'une norme sur l'efficacité énergétique est nécessairement plus régressive qu'une taxe sur l'énergie est également problématique. En effet, l'auteur modélise cette norme comme une taxe à l'inefficacité énergétique, qui devient une subvention implicite lorsque le consommateur n'est pas contraint par celle-ci. Dans cette logique, les consommateurs dont le revenu ne permet pas d'atteindre la norme paient une taxe alors qu'augmenter l'efficacité énergétique au-dessus de la norme permet d'obtenir une subvention. Mais dans la réalité, les individus non contraints par la norme ne tirent aucun bénéfice direct de la norme.

L'objectif de ce mémoire est de proposer un cadre général d'analyse de la régressivité des politiques environnementales. Cette modélisation microéconomique théorique prend en compte les faits que le service énergétique est généralement un bien essentiel et qu'une norme sur l'efficacité énergétique n'a pas d'impact sur les consommateurs pour qui elle n'est pas contraignante. Nous appliquerons notre modèle à l'analyse de la régressivité de cinq différentes politiques environnementales, soit (i) une taxe unitaire sur l'énergie, (ii) une subvention unitaire à l'efficacité énergétique, (iii) une norme sur l'efficacité énergétique modélisée comme une taxe unitaire comme dans Levinson (2016), (iv) une norme sur l'efficacité énergétique modélisée comme une réglementation prescriptive et (v) une subvention pour permettre aux consommateurs de se conformer à une nouvelle norme, que nous appelons «subvention de mise aux normes». Dans le but de rendre ces politiques comparables et de rapprocher nos résultats de ceux de Levinson (2016), nous les analyserons en supposant qu'elles sont neutres au plan fiscal.

Les principales contributions de ce mémoire sont les suivantes. D'abord, il propose une définition de régressivité qui est liée à l'impact d'une politique publique sur l'utilité des consommateurs plutôt que sur le coût monétaire de la politique. Ceci permet d'analyser une combinaison de politiques comme l'impact simultané d'une taxe sur l'énergie et d'une baisse d'impôt qui rend la politique neutre au plan fiscal. Ensuite, l'incorporation d'un niveau de subsistance dans la fonction d'utilité nous permet d'introduire des fonctions de parts de dépenses sur un bien qui varient avec le revenu tout en utilisant des formes fonctionnelles courantes, comme la CES. On évite ainsi que le cadre d'analyse devienne inutilement complexe. Finalement, nous modélisons une norme d'efficacité énergétique comme une contrainte, plutôt que comme une taxe à l'inefficacité. Donc, le coût du respect de la norme, mesuré par un multiplicateur de Lagrange, est nul pour un consommateur non contraint. Globalement, le modèle proposé permet de traiter de façon rigoureuse la régressivité des politiques environnementales. Si, dans ce mémoire, il sert entre autres à montrer que les résultats de Levinson (2016) doivent être qualifiés, il pourrait également se prêter à l'analyse de combinaisons de politiques environnementales autres que celles considérées ici.

Le reste du document est organisé comme suit. Le premier chapitre présente une revue des études qui ont analysé la régressivité des politiques environnementales. Le chapitre 2 expose notre modèle, les hypothèses ainsi que les propriétés qui font son originalité. De plus, nous présenterons le modèle de Levinson (2016) comme un cas particulier au nôtre. Dans le chapitre 3, nous appliquerons les prédictions de notre modèle à l'analyse de différentes politiques environnementales. Nous finirons par une conclusion qui résume les principaux résultats de notre modèle et met l'accent sur la contribution de ce mémoire ainsi que les extensions possibles qui peuvent en être faites.

Chapitre 1

Revue de littérature

Les travaux qui ont abordé la question de la régressivité des politiques environnementales sont essentiellement empiriques. Baranzini et al (2000) ont analysé l'effet potentiel d'une taxe sur le carbone sur la distribution des revenus dans plusieurs pays européens (La Suède, la Norvège, les Pays-Bas, le Danemark, la Finlande et l'Italie). Ils aboutissent à la conclusion que la taxe sur le carbone est régressive, mais le degré de régressivité est non homogène à travers les pays considérés. L'impact d'une taxe sur le carbone passe par deux principaux canaux de transmission. Il s'agit de l'augmentation des prix de l'énergie ou de ceux des biens à forte intensité énergétique et de la baisse de la rémunération des facteurs de production (principalement le travail et le capital).

En considérant ces deux courroies de transmission, Dissou et Siddiqui (2014) ont montré que le changement dans le prix des facteurs de production et le changement dans les prix des biens énergétiques ont des effets inverses sur la distribution des revenus au niveau des ménages. La taxe sur le carbone tend à être régressive par la hausse des prix, mais elle tend à être progressive par la baisse de la rémunération des facteurs de production. En effet, les ménages pauvres tirent une grande proportion de leur revenu des transferts reçus du gouvernement, alors qu'une grande partie du revenu des ménages riches provient de la rémunération des facteurs de production. En somme, les ménages pauvres sont plus affectés par la hausse du prix des biens énergétiques alors que les ménages riches sont plus touchés par la baisse de la rémunération des facteurs de production.

Les résultats de Dissou et Siddiqui (2014) pour le Canada montrent que l'impact total de la taxe du carbone sur la distribution des revenus est indéterminé car il dépend de la structure de l'économie et du niveau de la taxe. Ils aboutissent à une relation non linéaire en forme de U entre l'inégalité et la taxe sur le carbone. Ce qui suggère qu'à un niveau bas de la taxe, l'effet positif l'emporte sur l'effet négatif et on observe le contraire à un niveau élevé de la taxe. Pour la même économie, la taxe peut être progressive à un certain niveau et devenir régressive à un autre niveau.

La variable utilisée pour mesurer le niveau de bien-être des ménages peut influencer les résultats de la régressivité d'une taxe sur le carbone. Hasset et al (2009) ont analysé l'impact d'une taxe sur le carbone aux Etats-Unis en utilisant le revenu annuel, le niveau de consommation courante et le plan de consommation (life time adjusted consumption) comme mesure de bien-être. La théorie du revenu permanent de Friedman (1957) a mis en exergue l'importance de la dimension temporelle dans le choix de consommation des ménages et a montré les faiblesses du revenu courant comme mesure de bien-être [1]. Avec le niveau de consommation (actuel ou sur la période de vie) comme mesure de bien-être, les résultats sont substantiellement différents des conclusions obtenues avec le revenu courant. Même si la taxe demeure toujours régressive, l'écart entre les ménages pauvres et riches est d'environ $1,7$ alors qu'il était de 4 lorsque le revenu annuel est utilisé comme mesure de bien- être.

De façon générale, l'effet total d'une taxe sur le carbone ou sur l'énergie dépend de l'usage du revenu recueilli par l'autorité publique. Si le revenu de la taxe est utilisé pour financer des biens publics dont tous les consommateurs ont accès, l'effet total de la taxe demeure inchangé. Par contre, si le revenu de la taxe est redistribué aux ménages par des sommes forfaitaires, la taxe énergétique pourrait être progressive (Bento et al 2009, Lee et Sanger 2008, Beck et al 2015). Si ce revenu additionnel est utilisé pour baisser d'autres taxes progressives dans l'économie, la taxe énergétique reste régressive (Marthur et Morris 2014). Une fois encore, ces résultats dépendent des modèles empiriques utilisés et peuvent varier d'un contexte à un autre.

La norme du *Corporate Average Fuel Economy Standards* ($CAFE$) aux Etats-Unis impose un coût disproportionnel aux ménages pauvres (Jacobsen 2013, Davis et Knittel 2016, Levinson (2016) 2016). Jacobsen (2013) et Davis et Knittel (2016) ont mis l'accent sur l'importance d'inclure les véhicules usagés dans l'analyse de cette politique. Si l'analyse porte seulement sur les véhicules neufs, la norme du $CAFE$ est progressive. Cet effet positif est renversé lorsque les véhicules usagés sont pris en compte. En effet, très

1. Cette théorie montre qu'un consommateur rationnel consomme son revenu permanent qui n'est rien d'autre que la valeur actualisée de sa richesse courante et future. Le revenu permanent semble être plus stable dans le temps parce que l'*homo economicus* préfère un plan de consommation lisse. Ceci suggère comme mesure de revenu, le niveau actuel de la consommation.

peu de ménages pauvres s'approvisionnent sur le marché des véhicules neufs. Comme conséquence, seuls les ménages riches supportent le coût de la norme du $CAFE$ si l'on ne considère pas les véhicules usagés. Cette norme est modélisée comme étant une taxe sur l'inefficacité. En d'autres termes, elle crée une contrainte pour les constructeurs d'automobiles dans leur quête de maximisation de profit. Comme conséquence, chaque véhicule supporte une taxe implicite ou une subvention implicite dépendamment de son niveau d'efficacité énergétique.

La réglementation du $CAFE$ a été modifiée en 2012 pour devenir le «footprint-based standards » . Cette nouvelle formule du $CAFE$ est basée sur la surface de base, c'est-à-dire la surface entre les quatre pneus d'un véhicule. Cette nouvelle réglementation du $CAFE$ fixe un niveau d'efficacité énergétique pour chaque type de véhicule au lieu de cibler un niveau d'efficacité moyen pour la flotte d'une compagnie. Levinson (2016) montre que cette nouvelle mesure est également régressive. En effet, cette réglementation en fixant la norme pour chaque véhicule est plus indulgente avec les grandes véhicules (en taille) que les petits. En d'autres termes, les grands véhicules ont une norme d'efficacité plus faible comparativement aux petits véhicules. Or, les ménages riches utilisent plus les véhicules grands en taille et donc sont dans une certaine mesure favorisés par cette norme.

Il apparaît nécessaire de comparer ces deux catégories de politiques environnementales au plan de la régressivité s'il s'avère qu'elles sont toutes régressives. Levinson (2016) conclut que les normes d'efficacité énergétique sont plus régressives qu'une taxe sur l'énergie. Dans un modèle empirique basé sur des données américaines, l'auteur modélise la norme du $CAFE$ comme une taxe sur la consommation totale d'énergie par distance parcourue. Sous la taxe énergétique, il montre que les ménages riches qui ont dix fois le revenu des ménages pauvres supportent seulement environ plus de quatre fois le poids [2] des ménages pauvres. Quant à la norme du $CAFE$, les ménages riches supportent moins que le triple du poids des ménages pauvres ce qui fait d'elle une politique plus régressive que la taxe énergétique [3].

Davis et Knittel (2016) ont résumé les résultats de plusieurs études sur la régressivité d'une taxe sur le carbone et ont comparé les résultats avec la norme du $CAFE$. Selon ces auteurs, il est difficile de conclure à la supériorité de la taxe énergétique sur la

2. Le poids de la politique n'est rien d'autre que l'évaluation monétaire du coût additionnel engendré par la taxe énergique en utilisant la consommation totale d'énergie des ménages.

3. Les ménages riches supportent plus de quatre fois le coût que supportent les ménages pauvres sous la taxe alors qu'ils supportent moins sous la norme.

norme du $CAFE$ (ou inversement) quant à leur effet régressif. Par exemple, le norme du $CAFE$ est plus régressive qu'une taxe énergétique dont le revenu est redistribué aux ménages par une somme forfaitaire. Par contre, $CAFE$ est plus progressive qu'une taxe de carbone dont le revenu est utilisé pour réduire une taxe progressive dans l'économie.

Ces travaux dans la littérature, qui sont pour la plupart empiriques, font un lien direct entre la régressivité et le coût monétaire (en valeur absolue) que supportent les ménages. Dans le chapitre suivant, nous présentons notre modèle ainsi que les limites de la mesure de régressivité utilisée dans la littérature. Ensuite, nous proposons une définition de la régressivité qui est plutôt liée à l'utilité du consommateur. Cette approche est plus englobante dans le sens où elle est non seulement équivalente à celle utilisée dans la littérature comme nous le montrerons dans le chapitre suivant, mais également, reliée à l'utilité indirecte qui a une interprétation économique. De plus, dans la littérature, les auteurs ont négligé le caractère essentiel du service énergétique dont la prise en compte par notre modèle permet d'aboutir à des conclusions qui d'une part, vont dans le même sens que la littérature (par exemple, une taxe énergétique est régressive), et d'autre part, mettent un bémol sur les résultats de Levinson (2016) quant à la comparaison des politiques au plan de la régressivité.

Chapitre 2

Le modèle

Dans ce chapitre, nous présentons le modèle sur lequel nous nous appuyons pour analyser l'impact sur la distribution des revenus des différentes politiques environnementales scrutées dans le cadre de ce mémoire. Ce modèle nous permettra également de mettre en lumière les faiblesses du modèle de Levinson (2016), ce qui remettra en cause sa conclusion générale selon laquelle les normes d'efficacité énergétique sont plus régressives qu'une taxe énergétique.

2.1 Choix des consommateurs

La population de consommateurs est normalisée pour être de mesure 1. Les consommateurs se distinguent par leur revenu, qui est distribué selon une fonction de distribution différentiable H sur l'intervalle $[\underline{I}, \bar{I}]$, où $\underline{I}$ et $\bar{I}$ représentent respectivement le plus petit et le plus grand niveau de revenu dans la population. La fonction de densité est alors donnée par $h(I) \equiv H'(I)$.

Les consommateurs ont des préférences identiques pour la consommation d'un service énergétique s (par exemple le chauffage résidentiel) et d'un second bien noté x. Le service énergétique est un bien dont la consommation crée des externalités négatives et, à ce titre, peut faire l'objet d'une réglementation environnementale. Le bien x est un agrégat des autres biens et services accessibles au consommateur. Ce bien ne cause aucune externalité et nous l'appelons «bien privé». Nous empruntons la modélisation de Baumgärtner et al. (2017) pour imputer un caractère essentiel au service énergétique, en ce sens qu'il existe un niveau $\underline{s}$, que nous appelons seuil de confort, sous lequel l'utilité ne provient que de la consommation du service énergétique. La fonction d'utilité du consommateur est alors définie comme suit :

$$U(s,x) = \begin{cases} U_l(s) & \text{si } s \leq \underline{s} \\ U_h(s,x) & \text{si } s > \underline{s}, \end{cases}$$

où $U_l(s)$ et $U_h(s,x)$ sont deux fois continûment différentiables, strictement croissantes et strictement quasi-concaves. De plus, nous posons $U_l(0) = 0$ et supposons que le consommateur préfère toujours être dans le domaine où le seuil de confort est atteint, c'est-à-dire :

$$\inf_{s>0,\ x\geq 0} U_h(s,x) \geq U_l(\underline{s}). \tag{2.1}$$

Le service énergétique s est obtenu par la combinaison de deux biens intermédiaires (ou inputs) : un équipement de production et l'énergie. Par exemple, pour obtenir de l'éclairage (un service énergétique), il faut des ampoules (l'équipement de production) et l'énergie (l'électricité). L'équipement de production transforme l'énergie e en service énergétique avec une certaine efficacité μ selon la fonction de production

$$s = f(\mu, e),$$

où f est une fonction deux fois continûment différentiable, strictement croissante et strictement concave. Les deux inputs sont nécessaires à la production du service énergétique, de sorte que $f(0,e) = f(\mu,0) = 0$. L'externalité négative de la consommation de s vient exclusivement de l'utilisation de e. Nous définissons le taux marginal de substitution technique de l'efficacité énergétique en termes de quantité d'énergie de la façon usuelle : [1]

$$TmST_{\mu e}(\mu, e) \equiv \frac{f'_\mu(\mu,e)}{f'_e(\mu,e)}. \tag{2.2}$$

Nous modélisons une norme d'efficacité énergétique comme une contrainte sur le choix de l'efficacité énergétique. Le choix de l'efficacité énergétique doit ainsi atteindre un certain seuil $\underline{\mu}$. Le problème de maximisation d'un consommateur ayant un revenu I

1. Pour toute fonction $g(\mathbf{x})$, où $\mathbf{x} = (x_1, x_2, ..., x_n)$, nous dénotons sa dérivée partielle par rapport à la variable x_i comme g'_{x_i} et ses dérivées partielles secondes par $g''_{x_i x_j}$.

s'écrit donc comme suit :

$$\begin{aligned}
\max_{(s,e,\mu,x)\in\mathbb{R}^4_+} \quad & U\left(s,x\right) \\
\text{s.c.} \quad & \\
& s = f(\mu,e) \\
& p_\mu\mu + p_e e + p_x x \leq I \\
& \mu \geq \underline{\mu}.
\end{aligned} \tag{2.3}$$

L'ensemble des solutions réalisables est non-vide si $I \geq I_0 \equiv p_\mu\underline{\mu}$. S'il existe des consommateurs ayant un revenu moindre que I_0, la norme d'efficacité s'avère tout simplement trop élevée pour eux et ils se voient ainsi exclus du marché.

Pour faciliter l'écriture, on dénote le vecteur des paramètres du problème (2.3) par $\mathbf{r} \equiv (p_e, p_\mu, p_x, I, \underline{\mu})$. Les consommations optimales de service énergétique et du bien privé sont alors dénotées par $s(\mathbf{r})$ et $x\left(\mathbf{r}\right)$, respectivement, et la fonction d'utilité indirecte par $v(\mathbf{r}) \equiv U\left(s\left(\mathbf{r}\right), x\left(\mathbf{r}\right)\right)$. Du fait que la contrainte budgétaire est toujours serrée à cause de la croissance de la fonction d'utilité, on a $v_I'(\mathbf{r}) > 0$, pour tout $\mathbf{r}$ tel que $I \geq I_0$. Comme certaines des politiques publiques que nous analysons font des transferts monétaires sous l'hypothèse implicite que la valeur d'un dollar est la même pour tous les consommateurs, nous construirons des fonctions d'utilité telles que $v_{II}''(\mathbf{r}) = 0$, $\forall\mathbf{r}$. Ceci revient à faire l'hypothèse que les consommateurs sont neutres face au risque.

Pour les fins de l'analyse, il est pratique d'exploiter le fait que le problème (2.3) soit séparable : on peut déterminer d'abord la façon de minimiser le coût d'obtenir le service énergétique s, puis choisir les quantités optimales de s et x étant donné ce coût. Le problème de la minimisation du coût d'obtenir $s > 0$ est alors :

$$\begin{aligned}
\min_{(\mu,e)\in\mathbb{R}^2_{++}} \quad & p_\mu\mu + p_e e \\
\text{s.c.} \quad & \\
& f(\mu,e) = s \qquad (\lambda_s) \\
& \mu \geq \underline{\mu} \qquad (\lambda_\mu),
\end{aligned} \tag{2.4}$$

où λ_i, $i = s, \mu$, sont des multiplicateurs de Lagrange. Soit $\underline{\mathcal{L}}(\mu, e, \lambda_s, \lambda_\mu) = p_\mu\mu + p_e e + \lambda_s\left(s - f(\mu,e)\right) + \lambda_\mu\left(\underline{\mu} - \mu\right)$, la fonction lagrangienne associée à ce problème ; les conditions de Kuhn et Tucker sont alors :

$$\begin{aligned}
\underline{\mathcal{L}}'_{\mu} &= p_{\mu} - \lambda_s f'_{\mu} - \lambda_{\mu} = 0 && (2.5)\\
\underline{\mathcal{L}}'_{e} &= p_{e} - \lambda_s f'_{e} = 0 && (2.6)\\
\underline{\mathcal{L}}'_{\lambda_s} &= s - f(\mu, e) = 0 && (2.7)\\
\underline{\mathcal{L}}'_{\lambda_\mu} &= \underline{\mu} - \mu \leq 0 \qquad \mathcal{L}'_{\mu} \cdot \lambda_{\mu} = 0 \qquad \lambda_{\mu} \geq 0. && (2.8)
\end{aligned}$$

Comme la fonction objectif est linéaire, que le membre gauche de la première contrainte est strictement concave et que le membre gauche de la deuxième contrainte est linéaire, ces conditions sont suffisantes pour l'obtention d'une solution unique. De (2.5) et (2.6), nous obtenons

$$TmST_{\mu e} + \frac{\lambda_{\mu}}{\lambda_s f'_e} = \frac{p_{\mu}}{p_e}, \tag{2.9}$$

avec $\lambda_{\mu} = 0$ si $\mu > \underline{\mu}$. En dénotant par $\mu\left(s; p_e, p_{\mu}, \underline{\mu}\right)$ et $e\left(s; p_e, p_{\mu}, \underline{\mu}\right)$ les solutions de ce problème,[2] la fonction de valeur est définie par $C(s; p_e, p_{\mu}, \underline{\mu}) \equiv p_e e(s) + p_{\mu}\mu(s)$. Cette fonction s'interprète simplement comme le coût d'obtenir le service énergétique. Du théorème de l'enveloppe, le coût marginal de ce service est alors $C'_s(s) = \lambda_s$ et le coût marginal de la norme d'efficacité est $C'_{\underline{\mu}}(s) = \lambda_{\mu}$. Lorsque la norme n'est pas contraignante, $\lambda_{\mu} = 0$ et le service énergétique est produit de façon économiquement efficace. Lorsque la norme est contraignante et que $\lambda_{\mu} > 0$, la consommation de service énergétique supplémentaire se fait par la seule augmentation de l'utilisation de l'énergie. On a alors, de (2.6), $C'_s(s) = \lambda_s = \dfrac{p_e}{f'_e}$, ce qui implique que $C''_{ss} = -\dfrac{p_e f''_e}{(f'_e)^2} > 0$, car f est strictement concave. Autrement dit, la fonction de coût de production du service énergétique est strictement convexe en s lorsque la norme est serrée.[3] Lorsque la norme n'est pas contraignante, la fonction de coût C possède les propriétés usuelles d'une fonction de coût de long terme d'une entreprise :[4] en particulier, le lemme de Shephard s'applique et l'on a $C'_{p_e} = e(s)$ et $C'_{p_{\mu}} = \mu(s)$.

Une fois déterminée la fonction de coût $C(s)$, le problème de choix de consommation

2. Pour simplifier l'écriture, les paramètres d'une fonction placés après un point-virgule au moment de la définition de la fonction sont omis par la suite.

3. Une façon intuitive d'interpréter le problème est de considérer l'énergie comme un facteur variable et l'efficacité énergétique comme un facteur fixe à court terme. Le coût de produire le service énergétique correspond au coût de long terme lorsque la norme n'est pas contraignante et au coût de court terme avec $\mu = \underline{\mu}$ lorsque la norme est contraignante.

4. Voir par exemple Jely et Reny (2012), p. 138. Notez que la convexité de C par rapport à s n'est plus assurée. Bien que cette propriété ne soit pas nécessaire, dans les cas particuliers que nous étudierons, nous choisirons des fonctions de production qui imliqueront la convexité de C dans le but de rendre les conditions de Kuhn et Tucker suffisantes à l'obtention d'un optimum.

se récrit :

$$\begin{array}{lll}\max\limits_{(s,x)\in\mathbb{R}_+^2} & U(s,x) & \\ \text{s.c.} & & \\ & C(s)+p_x x \leq I & (\lambda). \end{array} \tag{2.10}$$

Soit $\bar{\mathcal{L}}(s,x,\lambda) = U(s,x) + \lambda\,(I - C(s) - p_x x)$, la fonction lagrangienne de ce problème. Comme la fonction objectif est strictement croissante, il est clair que la contrainte budgétaire est serrée. La structure de la fonction d'utilité fait en sorte que l'on s'assure de consommer s jusqu'à concurrence de $\underline{s}$ avant de consommer x, de sorte que l'on sait que $s > 0$ à l'optimum. Les conditions de Kuhn et Tucker sont alors :

$$\bar{\mathcal{L}}'_s = U'_s - \lambda C'_s = 0 \tag{2.11}$$

$$\bar{\mathcal{L}}'_x = U'_x - \lambda p_x \leq 0 \qquad \bar{\mathcal{L}}'_x x = 0 \qquad x \geq 0 \tag{2.12}$$

$$\bar{\mathcal{L}}'_\lambda = I - C(s) - p_x x = 0. \tag{2.13}$$

Plusieurs cas peuvent survenir selon la valeur du revenu I.

— Cas 1 : $I < I_0$.
Comme mentionné plus haut, il n'existe pas de solution réalisable au problème 2.3. On considère alors que la consommation de service énergétique est nulle et le consommateur obtient $U_l\,(0) = 0$. Ce cas se produit si $I_0 > \underline{I}$.

— Cas 2 : $I_0 \leq I < I_{\underline{s}} \equiv C(\underline{s})$.
Le consommateur ne possède pas le revenu nécessaire pour atteindre le seuil de confort $\underline{s}$. Tout le revenu est dépensé sur s, de sorte que $x = 0$ et que s est tel que $C(s) = I$. Ce cas se produit si $I_{\underline{s}} > \underline{I}$.

— Cas 3 : $I \geq \max(I_{\underline{s}}, \underline{I})$.
On a alors $x > 0$. De (2.11) et (2.12), on obtient :

$$TmS_{sx} = \frac{C'_s(s)}{p_x},$$

où $TmS_{sx}\,(s,x) \equiv \dfrac{U'_s}{U'_x}$ pour (s,x) tel que $s > \underline{s}$. Il s'agit de la condition usuelle que le taux marginal de substitution, qui représente le rapport des bénéfices marginaux, soit égal au rapport des coûts marginaux. Ce cas se produit si $I_{\underline{s}} < \bar{I}$.

Cette décomposition du problème en deux étapes permet de construire une fonction d'utilité indirecte uniquement en termes du coût du service énergétique plutôt qu'en termes des prix des biens intermédiaires. Soit $p_s(\mathbf{r}) \equiv C'_s(s(\mathbf{r}))$, le coût marginal du service énergétique à l'optimum, que nous appelons prix «virtuel» du service énergétique, et $\tilde{I}(\mathbf{r}) \equiv I + p_s(\mathbf{r})\, s(\mathbf{r}) - C(s(\mathbf{r}))$ le revenu «ajusté» pour permettre au consommateur d'acheter la même quantité de service énergétique à un prix uniforme $p_s(\mathbf{r})$ plutôt qu'au prix non-uniforme $C'_s(s)$. Nous appelons alors fonction d'utilité indirecte «virtuelle» la fonction d'utilité indirecte du problème :

$$\begin{aligned} \max_{(s,x)\in\mathbb{R}^2_+} \quad & U(s,x) \\ \text{s.c.} \quad & \\ & p_s(\mathbf{r})\, s + p_x x \leq \tilde{I}(\mathbf{r}) \qquad (\lambda). \end{aligned} \tag{2.14}$$

La figure 2.1 illustre la relation entre le problème (2.10) et le problème (2.14). La courbe bleue délimite l'ensemble convexe des solutions réalisables du problème (2.10). Elle est construite à partir de la fonction $C(s)$ et sa pente corrrespond au $TmST_{sx}$ en tout point. La solution de ce problème se situe en un point de tangence entre cet ensemble de solutions réalisables et une courbe d'indifférence (en rouge). A partir de cette solution, on peut construire l'hyperplan séparateur de pente $\frac{p_s(\mathbf{r})}{p_x} = \frac{C'_s(s(\mathbf{r}))}{p_x}$ (droite noire). Le prix $p_s(\mathbf{r})$ du problème (2.14) correspond donc au coût marginal du service énergétique à l'optimum. Le problème (2.14) fait comme si le consommateur payait ce prix à chaque unité plutôt que le coût $C'_s(s)$. Le niveau de revenu doit alors être ajusté pour obtenir les abscisses et ordonnées à l'origine de l'hyperplan. Comme C est convexe, le problème (2.14) «fait payer» un excédent $p_s(\mathbf{r}) - C'_s(s(\mathbf{r}))$ pour chaque unité supplémentaire à partir d'une consommation nulle, soit un total de

$$\int_0^{s(\mathbf{r})} \left(p_s(\mathbf{r}) - C'_s(s(\mathbf{r}))\right) ds = p_s(\mathbf{r})\, s(\mathbf{r}) - C(s(\mathbf{r})),$$

qui est l'ajustement fait au revenu initial I. [5]

Le lemme suivant montre que l'on peut utiliser la fonction d'utilité indirecte virtuelle au lieu de la fonction d'utilité indirecte [6].

5. Notez que l'ajustement représente simplement le surplus du producteur. Le problème (2.14) conçoit le consommateur du service énergétique comme louant le service énergétique d'un producteur indépendant à un prix unitaire constant. Il doit donc verser le surplus du producteur. Le problème (2.10) le conçoit plutôt comme propriétaire de l'équipement énergétique, c'est-à-dire comme auto-producteur de ce service.

6. Les démonstrations des lemmes et propositions se trouvent en annexe.

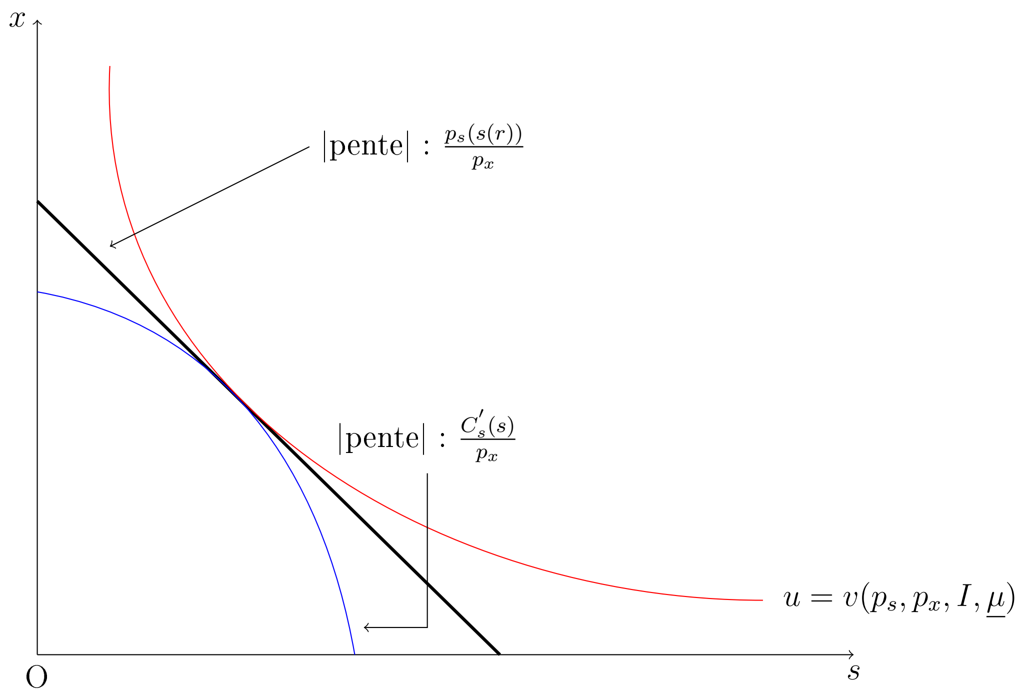

Figure 2.1 – Lien entre le problème (2.10) et le problème (2.14).

Lemme 2.1.1 *Si le vecteur $(s(\mathbf{r}), x(\mathbf{r}))$ est solution du problème (2.10), alors il est solution du problème (2.14) et la fonction d'utilité $\tilde{v}(\cdot)$ associée au problème (2.14) est telle que :*

$$\tilde{v}\left(p_s(\mathbf{r}), p_x, \tilde{I}(\mathbf{r})\right) = v(\mathbf{r}).$$

On peut ainsi étudier l'impact d'un changement de paramètres à partir de la fonction d'utilité virtuelle. On a alors :

$$d\tilde{v} = \tilde{v}'_{p_s} dp_s + \tilde{v}'_{p_x} dp_x + \tilde{v}'_I d\tilde{I}.$$

où $dp_s = C_s'' \left[\left(\sum s'_{r_i} dr_i \right) + \frac{\partial p_s}{\partial p_e} dp_e + \frac{\partial p_s}{\partial p_\mu} dp_\mu + \frac{\partial p_s}{\partial \underline{\mu}} d\underline{\mu} \right]$ et $d\tilde{I} = dI + (p_s - C_s') \left(\sum s'_{r_i} dr_i \right)$.

Comme les politiques gouvernementales peuvent porter sur les inputs, mais que l'utilité du consommateur dépend du prix global du service énergétique, le choix de l'utilisation de v ou de $\tilde{v}$ sera fait selon le contexte.

2.2 Régressivité d'une politique environnementale

Une politique publique, quelle que soit sa nature, est représentée ici comme un choc exogène sur les paramètres auxquels fait face le consommateur. Autrement dit, une politique publique est représentée par un vecteur $d\mathbf{r} = (dp_e, dp_\mu, dp_x, dI, d\underline{\mu})$. L'impact de cette politique publique sur un consommateur est donné par :

$$dv(\mathbf{r}) = v'_{p_e} dp_e + v'_{p_\mu} dp_\mu + v'_x dp_x + v'_I dI + v'_{\underline{\mu}} d\underline{\mu}.$$

Une politique environnementale est une politique publique qui n'a pas d'impact sur le prix du bien x, celui-ci étant considéré comme un bien ne créant pas d'externalités. On a alors $dp_x = 0$. On peut distinguer deux catégories de politiques environnementales : celle des instruments économiques, dans laquelle on modifie les prix de l'un ou des deux biens du secteur énergétique ($dp_e \neq 0$ et/ou $dp_\mu \neq 0$) sans changer la norme d'efficacité énergétique ($d\underline{\mu} = 0$), et celle des réglementations par prescription, où $d\underline{\mu} \neq 0$. [7]

Une politique publique est dite **régressive** si son bénéfice croît en proportion du revenu des individus et **progressive** si son bénéfice décroît en proportion du revenu. [8] Dans la littérature, la régressivité et la progressivité d'une politique publique sont étudiées dans deux cas particuliers où un seul des paramètres de $\mathbf{r}$ est modifié, soit le cas d'une modification de l'impôt sur le revenu et le cas d'une modification d'une taxe sur un bien. La façon d'opérationnaliser la définition de régressivité et de progressivité dépend alors de la politique étudiée.

1. L'impôt sur le revenu

   Comme c'est de la fiscalité que la notion de régressivité et de progressivité tire son origine, la définition générale de cette notion s'y applique directement. Ainsi, un nouvel impôt ($dI < 0$, $d\mathbf{r}_{-I} = \mathbf{0}$) [9] est une politique

$$\left\{ \begin{array}{c} \text{régressive} \\ \text{progressive} \end{array} \right\} \Leftrightarrow \frac{\partial}{\partial I} \left(\frac{dI}{I} \right) \gtrless 0, \ \forall I.$$

7. Notez que la politique concerne un changement de norme et non l'imposition d'une norme en tant que telle. On laisse la possibilité d'une norme préexistante à la politique ($\underline{\mu} > 0$), possiblement pour des raisons autres qu'environnementales. On peut penser par exemple à des normes de sécurité ou des normes résolvant des problèmes d'information imparfaites. En absence de norme préexistante ($\underline{\mu} = 0$), la prescription se confond à l'instauration d'une norme.

8. Si la politique fait porter un coût, on considère alors que le bénéfice est négatif. Une définition équivalente est donc qu'une politique est régressive si son coût décroît en proportion du revenu et qu'elle est progressive si son coût croît en proportion du revenu.

9. On dénote par $d\mathbf{r}_{-i}$ le vecteur $\mathbf{r}$ avec la composante i retirée. Notez que les définitions de régressivité demeurent identiques dans le cas d'une nouvelle subvention ($dI > 0$, $d\mathbf{r}_{-I} = 0$).

Une impôt proportionnel t_I sur le revenu est neutre sur le plan redistributionnel, car il n'est ni progressif, ni régressif : on a $dI = -t_I I$, de sorte que $\frac{dI}{I}$ est constant.

2. Une modification de taxe sur un bien

   La régressivité des politiques publiques est souvent étudiée dans le cadre d'une augmentation de la taxe d'un seul bien. Par exemple, Koch (2018) étudie la régressivité des taxes sur le tabac. Une hausse de la taxe sur un bien ($dp_i > 0$, $d\mathbf{r}_{-p_i} = \mathbf{0}$) est alors dite régressive si elle porte sur un bien nécessaire et progressive si elle porte sur un bien de luxe. [10] Comme la part des dépenses totales d'un consommateur faites sur un bien nécessaire diminuent avec le revenu et que celle des dépenses faites sur un bien de luxe augmentent avec le revenu, on établit ainsi un lien direct entre la taxe et son fardeau en proportion du revenu.

Ces façons d'identifier la régressivité et la progressivité de politiques publiques possèdent la lacune de ne pouvoir mesurer l'impact d'une combinaison de changements de paramètres. Comme nous étudions dans ce mémoire des politiques neutres au plan fiscal, c'est-à-dire des mesures qui modifient à la fois le revenu et au moins l'un des prix ou la norme, nous proposons une notion générale de régressivité et de progressivité.

Définition 2.2.1 *Une politique est dite*

$$\left\{ \begin{array}{c} \textbf{\textit{régressive}} \\ \textbf{\textit{progressive}} \end{array} \right\} \Leftrightarrow \frac{\partial \left(\frac{dv(\mathbf{r})}{I} \right)}{\partial I} \gtrless 0 \;\; \forall I.$$

Elle est dite ***localement*** *régressive ou progressive en I si cette définition est vérifiée dans un voisinage de I plutôt que pour tout I.*

Notre définition tient donc compte du bénéfice global de la politique et déclare une politique régressive (progressive) si le bénéfice croît (décroît) en proportion du revenu. [11] Le lemme suivant démontre que cette définition générale reproduit les définitions particulières que nous avons mentionnées ci-dessus.

10. Dans le cas d'une subvention sur un bien, la politique est régressive si elle porte sur un bien de luxe et progressive si elle porte sur un bien nécessaire.

11. Un autre avantage de cette définition est de tenir compte de l'utilité plutôt que du revenu. Nous ne tirerons pas profit de cet avantage dans ce mémoire puisque, sous l'hypothèse que l'utilité marginale la monnaie est constante, le revenu peut servir de mesure d'utilité. Mais la définition permet des extensions aux cas d'aversion pour le risque.

Lemme 2.2.1 *1. Soit la politique publique $dI \neq 0$ avec $d\mathbf{r}_{-I} = \mathbf{0}$. Alors,*

$$\frac{\partial\left(\frac{dv(\mathbf{r})}{I}\right)}{\partial I} \gtreqless 0 \Leftrightarrow \frac{\partial}{\partial I}\left(\frac{dI}{I}\right) \gtreqless 0,\ \forall I.$$

2. Soit la politique publique $dp_i \neq 0$ et $d\mathbf{r}_{-p_i} = \mathbf{0}$. Alors,

$$\frac{\partial\left(\frac{dv(\mathbf{r})}{I}\right)}{\partial I} \gtreqless 0 \Leftrightarrow \left\{\begin{array}{l} \frac{\partial \alpha_i}{\partial I} \lesseqgtr 0 \text{ et } dp_i > 0 \\ \frac{\partial \alpha_i}{\partial I} \gtreqless 0 \text{ et } dp_i < 0 \end{array}\right\},$$

où $\alpha_i(\mathbf{r})$ est la part du revenu dépensé sur le bien i.

Nous abordons à présent des cas particuliers du modèle. L'objectif est double : premièrement, exemplifier nos résultats en dérivant les fonctions de demande afin d'expliciter les particularités de notre modèle ; deuxièmement, illustrer les faiblesses du modèle de Levinson (2016). Les formes paramétriques visent donc à faire ressortir le modèle de cet auteur comme un cas particulier de notre modélisation.

2.3 Cas particuliers

Différents cas particuliers du modèle peuvent être analysés selon les formes fonctionnelles données à la fonction d'utilité et à la fonction de production du service énergétique, d'une part, et à la présence ou non de seuils de consommation du service énergétique et d'efficacité énergétique, d'autre part. Nous expliquons ici les cas particuliers qui seront étudiés dans ce mémoire.

Dans le but de comparer nos résultats à ceux de Levinson (2016), nous empruntons tout au long de notre analyse la fonction de production Cobb-Douglas qu'il a utilisée, soit :

$$f(\mu, e) = \mu^{\frac{1}{2}} e^{\frac{1}{2}}, \tag{2.15}$$

de sorte que $TmST_{\mu e} = \dfrac{e}{\mu}$. Le lemme suivant donne alors le prix virtuel du service énergétique.

Lemme 2.3.1 *Si $f(\mu, e) = \mu^{\frac{1}{2}} e^{\frac{1}{2}}$, le prix virtuel du service énergétique est donné par :*

$$p_s(s(\mathbf{r})) = C_s'(s(\mathbf{r})) = \begin{cases} \frac{2p_e s(\mathbf{r})}{\underline{\mu}} & si\ \mu(s) = \underline{\mu} \\ 2\sqrt{p_\mu p_e} & si\ \mu(s) > \underline{\mu}. \end{cases} \tag{2.16}$$

A l'aide de cette fonction de production, nous analysons trois cas.

2.3.1 Cas de référence : utilité CES sans seuil de consommation du service énergétique et de norme d'efficacité

La fonction d'utilité CES est fréquemment utilisée dans les études empiriques sur l'impact des politiques environnementales, notamment dans les modèles d'équilibre général calculables. La fonction d'utilité s'écrit alors :

$$U(s,x) = U_h(s,x) = [s^\rho + x^\rho]^{\frac{1}{\rho}} \qquad \text{avec } 0 \neq \rho < 1. \tag{2.17}$$

Avec $\underline{\mu} = 0$, on a $p_s = 2\sqrt{p_e p_\mu}$ et $\tilde{I} = I$ car $C''_{ss}(s) = 0$. La résolution du problème du consommateur (2.10) permet d'obtenir les fonctions de demande marshalienne : [12]

$$\begin{aligned} s(p_e, p_\mu, p_x, I, 0) &= \frac{p_s^{\gamma-1} I}{p_s^\gamma + p_x^\gamma} \\ x(p_e, p_\mu, p_x, I, 0) &= \frac{p_x^{\gamma-1} I}{p_s^\gamma + p_x^\gamma}, \end{aligned}$$

où $\gamma \equiv \dfrac{\rho}{\rho - 1}$. En remplaçant les demandes marshaliennes dans la fonction d'utilité directe, on obtient la fonction d'utilité indirecte

$$\tilde{v}(p_s, p_x, I) = I\left[p_s^\gamma + p_x^\gamma\right]^{1/\gamma},$$

qui satisfait notre hypothèse que $v''_{II} = 0$. La part du revenu consacrée au service énergétique est donnée par :

$$\alpha_s(p_s, p_x, I) \equiv \frac{p_s s}{I} = \frac{p_s^\gamma}{(p_s^\gamma + p_x^\gamma)}.$$

Donc, $\dfrac{\partial \alpha_s}{\partial I} = 0$, ce qui implique que la fonction CES sans seuil de consommation ne peut servir pour analyser la régressivité d'une politique économique modifiant les prix implicites des biens puisque, par construction, toute politique ayant un impact sur les prix aura, proportionnellement au revenu, un impact indépendant du revenu. [13]

2.3.2 Utilité CES avec seuil de consommation et sans norme d'efficacité

L'imposition d'un seuil de consommation $\underline{s} > 0$ permet de représenter la nature essentielle d'un bien en obtenant le résultat «naturel» que la part des dépenses sur ce bien décroît avec le revenu. [14] La figure 2.2 permet de mieux visualiser cette remarque. En

12. Voir par exemple Jely et Reny (2012).
13. Ce fait se généralise donc à toute fonction d'utilité homothétique.
14. L'ajout du seuil de consommation permet de rendre la fonction CES non-homothétique tout en conservant la facilité de calcul.

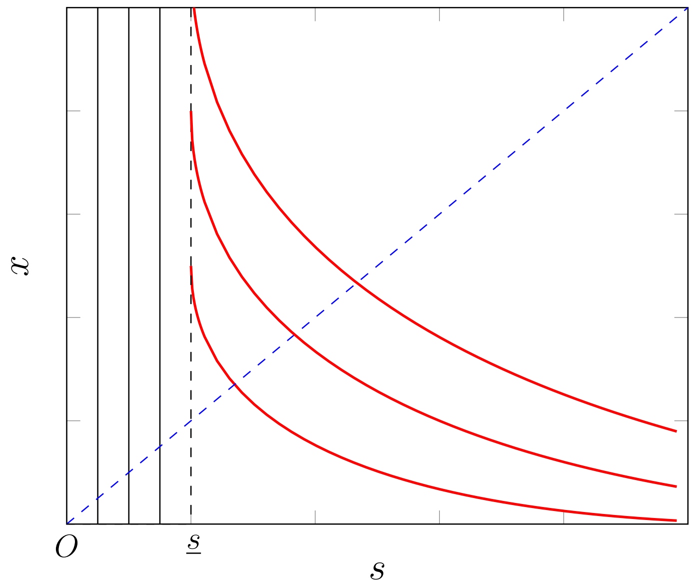

FIGURE 2.2 – Courbes d'indifférence en présence d'un niveau de subsistance non nul

Source : Baumgärtner et al (2017)

posant [15] $U_l(s) = s^{\frac{1}{2}}$, nous utilisons la forme fonctionnelle suivante :

$$U(s,x) = \begin{cases} s^{\frac{1}{2}} & \text{si } s \leq \underline{s} \\ \underline{s}^{\frac{1}{2}} + \left[(s-\underline{s})^{\rho} + x^{\rho}\right]^{\frac{1}{\rho}} & \text{si } s > \underline{s}. \end{cases} \tag{2.18}$$

En absence de norme d'efficacité énergétique, on a toujours $p_s = 2\sqrt{p_e p_\mu}$ et $\tilde{I} = I$. Les fonctions de demande marshalienne sont données par :

$$s(p_e, p_\mu, p_x, I, 0) = \begin{cases} \frac{I}{p_s} & \text{si } I \leq I_{\underline{s}} \\ \underline{s} + \frac{p_s^{\gamma-1}(I - p_s\underline{s})}{p_s^{\gamma}+p_x^{\gamma}} & \text{si } I > I_{\underline{s}}. \end{cases} \tag{2.19}$$

$$x(p_e, p_\mu, p_x, I, 0) = \begin{cases} 0 & \text{si } I \leq I_{\underline{s}} \\ \frac{p_x^{\gamma-1}(I - p_s\underline{s})}{p_s^{\gamma}+p_x^{\gamma}} & \text{si } I > I_{\underline{s}}. \end{cases} \tag{2.20}$$

Pour évaluer des politiques publiques modifiant le prix des biens (sans introduire de normes), nous utiliserons la fonction d'utilité indirecte virtuelle. Elle s'écrit :

$$\tilde{v}(p_s, p_x, I) = \begin{cases} \left(\frac{I}{p_s}\right)^{\frac{1}{2}} & \text{si } I \leq I_{\underline{s}} \\ \underline{s}^{\frac{1}{2}} + (I - p_s\underline{s})\left(p_s^{\gamma} + p_x^{\gamma}\right)^{-1/\gamma} & \text{si } I > I_{\underline{s}}. \end{cases} \tag{2.21}$$

15. Puisque l'utilité ne dépend que d'un seul bien lorsque $s < \underline{s}$, toute fonction croissante peut être utilisée.

ce qui implique que $v''_{II} = 0$. La part du revenu consacrée au service énergétique est alors :

$$\alpha_s\left(p_s, p_x, I\right) = \begin{cases} 1 & \text{si } I \leq I_{\underline{s}} \\ \frac{p_x^\gamma p_s \underline{s} + p_s^\gamma I}{\left(p_s^\gamma + p_x^\gamma\right) I} & \text{si } I > I_{\underline{s}}. \end{cases} \tag{2.22}$$

d'où

$$\frac{\partial \alpha_s}{\partial I} = \begin{cases} 0 & \text{si } I \leq I_{\underline{s}} \\ -\frac{p_x^\gamma p_s \underline{s}}{\left(p_s^\gamma + p_x^\gamma\right) I^2} < 0 & \text{si } I > I_{\underline{s}}. \end{cases} \tag{2.23}$$

La représentation du caractère essentiel du service énergétique par l'ajout d'un seuil de consommation permet d'analyser le caractère régressif ou progressif des politiques puisque la part des dépenses sur ce service décroît avec le revenu.

2.3.3 Le modèle de Levinson (2016)

Levinson (2016) utilise une fonction d'utilité générale et la fonction de production (2.15). Le but de son modèle est de comparer la régressivité d'une norme à celle d'une taxe sur l'énergie, mais la norme n'est pas modélisée comme une contrainte comme nous l'avons fait dans le problème (2.3). Il considère plutôt que «energy efficiency standards are economically equivalent to a tax on inefficient appliances» [16] et résout donc le problème :

$$\begin{aligned} \max_{(s,e,\mu,x)\in\mathbb{R}_+^4} \quad & U\left(s, x\right) \\ \text{s.c.} \quad & \\ & s = f(\mu, e) \\ & p_\mu \mu + t_\mu\left(\underline{\mu} - \mu\right) + p_e e + p_x x \leq I. \end{aligned} \tag{2.24}$$

où t_μ est la taxe sur l'inefficacité. En absence de seuil de consommation et de contrainte sur l'efficacité énergétique, le choix optimal du service énergétique satisfait les conditions de premier ordre usuelles :

$$TmS_{sx} = \frac{1}{\mu}\frac{p_e}{p_x} = \frac{1}{e}\frac{p_\mu - t_\mu}{p_x}. \tag{2.25}$$

On remarque alors que «the tax on inefficiency is effectively a subsidy for efficiency». [17] Ainsi, dans les termes de notre modèle, la norme de Levinson (2016) est un instrument

16. Levinson (2016), p. 5
17. Levinson (2016), p. 8.

économique plutôt qu'une réglementation par prescription. Cet instrument économique se traduit par la politique $(dp_e, dp_\mu, dp_x, dI, d\underline{\mu}) = \big(0, -t_\mu, 0, -t_\mu\underline{\mu}, 0\big)$. Nous analyserons cette politique dans la section 3.3.

En utilisant la fonction de production Cobb-Douglas (2.15), l'auteur conclut qu'une taxe sur l'énergie ainsi qu'une taxe sur l'inefficacité énergétique sont toutes deux régressives et qu'une taxe sur l'inefficacité énergétique l'est toujours plus qu'une taxe sur l'énergie. Son argumentation est la suivante : «Assume energy services s is a normal good. As income increases s increases, which means the product $e\mu$ increases. Since the ratio $\frac{e}{\mu}$ remains constant [...] both e and μ increase proportionnaly. Richer households use more energy e and purchase more purchase more efficiency appliances μ. Tax payments on energy $t_e e$ will increase with income, whereas tax payments on inefficiency $t_\mu\left(\underline{\mu} - \mu\right)$ will decrease with income. An energy tax will be less regressive than an efficiency standard». [18] Bien qu'il ne définisse pas explicitement la notion de régressivité, on constate que Levinson (2016) considère que la régressivité d'une politque se mesure par la **variation de la dépense** du bien taxé selon le revenu. Sous une telle définition, toute taxe sur un bien normal est régressive. Par contraste, notre définition de régressivité porte sur la **variation de la part de la dépense** sur le bien taxé. Il faut alors qu'un bien soit nécessaire pour que la taxe soit régressive. Une taxe sur un bien de luxe serait progressive. Les conclusions sur la régressivité d'une politique peuvent évidemment différer selon la définition employée. Il est cependant important de noter que notre définition de régressivité correspond à ce qui se trouve dans la littérature. [19]

2.3.4 Notre modèle

L'analyse des politiques environnementales du chapitre suivant sera faite en supposant que la fonction d'utilité est une fonction CES incluant un seuil de consommation. Un seuil d'efficacité énergétique est également inclus dans l'analyse d'une politique de subvention à l'efficacité énergétique. [20] Le coût marginal du service énergétique est donc

18. Levinson (2016), p. 8.

19. Elle correspond également au sens courant : on craint que l'instauration d'une taxe sur les boissons gazeuses soit régressive, mais non celle d'une taxe ou d'un impôt sur les yachts ou sur les résidences secondaires. Dans les deux cas, il s'agit de biens normaux, mais dans le premier, la part des dépenses décroît avec le revenu (il s'agit donc d'un bien nécessaire) et dans le second, elle croît (il s'agit donc d'un bien de luxe).

20. Nous utilisons une fonction d'utilité CES, car elles sont générales et très largement utilisées en économie. De plus, nous avons montré que pour une fonction d'utilité CES, le modèle de Levinson (2016) était mal fondé. L'introduction du seuil de consommation du service énergétique nous sera utile pour étudier l'impact des politiques environnementales.

donné par (2.16) et la fonction d'utilité par (2.18).

Par rapport aux modèles précédents, cela introduit la possibilité que la production du service énergétique ne soit pas faite de façon économiquement efficace, puisque le consommateur peut se voir contraint à utiliser un équipement d'efficacité énergétique $\underline{\mu}$ alors qu'il en désirerait un moins efficace. Comme μ est un bien normal, il existe un seuil de revenu $I_{\underline{\mu}}$ au-dessus duquel la contrainte n'est plus serrée. Ce niveau de revenu dépend de $\underline{\mu}$ et peut donc prendre n'importe quelle valeur de l'intervalle $[\underline{I}, \bar{I}]$.

Si $I \leq I_{\underline{\mu}}$, c'est-à-dire si la norme est contraignante, $p_s(s) = \dfrac{2p_e s}{\underline{\mu}}$. On obtient alors de façon implicite :

$$s(\mathbf{r}) = \begin{cases} \frac{\tilde{I}(\mathbf{r})}{p_s(s(\mathbf{r}))} & \text{si } I \leq I_{\underline{s}} \leq I_{\underline{\mu}} \\ \underline{s} + \frac{(p_s(s(\mathbf{r})))^{\gamma-1}\tilde{I}(\mathbf{r})}{p_s(s(\mathbf{r}))^{\gamma}+p_x^{\gamma}} & \text{si } I_{\underline{s}} < I \leq I_{\underline{\mu}} \end{cases} \tag{2.26}$$

$$x(\mathbf{r}) = \begin{cases} 0 & \text{si } I \leq I_{\underline{s}} \leq I_{\underline{\mu}} \\ \frac{p_x^{\gamma-1}\tilde{I}(\mathbf{r})}{p_s(s(\mathbf{r}))^{\gamma}+p_x^{\gamma}} & \text{si } I_{\underline{s}} < I \leq I_{\underline{\mu}}. \end{cases} \tag{2.27}$$

Même s'il ne s'agit que de solutions implicites, notez que la fonction objectif de (2.10) est strictement concave et que le membre gauche de la contrainte est strictement convexe, de sorte que l'on sait que la solution existe et est unique.

Pour évaluer des politiques publiques modifiant la norme sans modifier le prix des biens, nous utiliserons la fonction d'utilité indirecte v. En appliquant le théorème de l'enveloppe sur le lagrangien du problème (2.10), on obtient le coût marginal de la norme pour le consommateur :

$$v'_{\underline{\mu}} = \bar{\mathcal{L}}'_{\underline{\mu}} = -\lambda C'_{\underline{\mu}} = -v'_I C'_{\underline{\mu}} < 0.$$

D'où

$$v''_{\underline{\mu}I} = -v''_{II} C'_{\underline{\mu}} = 0,$$

car le coût de production du service énergétique C est indépendant de I. Lorsque $I > I_{\underline{\mu}}$, les fonctions de demande sont données par (2.19) et (2.20). La norme étant non contraignante, $v'_{\underline{\mu}} = 0$.

Dans le chapitre suivant, nous nous appuyons sur notre modèle pour analyser la régressivité ou la progressivité de politiques neutres au plan fiscal.

Chapitre 3

Applications : Politiques environnementales neutres au plan fiscal

Dans ce chapitre, nous appliquons notre modèle à l'analyse de la régressivité ou de la progressivité de cinq politiques environnementales, soit une taxe sur l'énergie, une subvention à l'efficacité énergétique, une norme modélisée comme une taxe à l'inefficacité énergétique comme dans Levinson (2016), une norme modélisée comme une politique prescriptive et finalement, une subvention pour permettre aux consommateurs de se conformer à une nouvelle norme, que nous appelons «subvention de mise aux normes».

Pour rendre les politiques comparables, nous supposons que les recettes de taxation sont redistribuées par des baisses d'impôt sur le revenu et que les dépenses en subventions sont financées par une hausse de l'impôt qui, dans les deux cas, maintiennent le solde budgétaire du gouvernement constant. La baisse ou hausse d'impôt requise sera effectuée selon un taux proportionnel pour s'assurer que la redistribution de revenu soit en elle-même ni progressive, ni régressive. Ces applications de notre modèle permettent de qualifier les résultats de Levinson (2016) sur la régressivité relative de la norme et de la taxe unitaire.

3.1 Taxe sur l'énergie

Supposons que l'autorité publique instaure une taxe unitaire [1] t_e sur l'énergie qui est

1. Nous supposons que le niveau de la taxe est égal au dommage marginal social causé par la consommation d'une unité d'énergie. La taxe unitaire est alors efficace dans la mesure où le dommage

redistribuée par une subvention proportionnelle au revenu $t_I I$. Pour rendre nos résultats comparables à ceux de Levinson (2016),[2] nous supposons de plus qu'il n'existe pas de norme avant l'instauration des politiques, c'est-à-dire que $\underline{\mu} = 0$. Pour que le solde budgétaire du gouvernement ne soit pas modifié par la politique, la subvention proportionnelle est de niveau

$$t_I = \frac{\int_{I_0(\mathbf{r})}^{\bar{I}} t_e e\left(p_e + t_e, p_\mu, p_x, I\left(1 + t_I\right), 0\right) dH}{I_m}, \tag{3.1}$$

où $I_m \equiv \int_{\underline{I}}^{\bar{I}} IdH$ est le revenu moyen de la population. Du point de vue du consommateur, la politique environnementale peut alors être décrite par $dp_e = t_e$, $dI = t_I I$ et $d\mathbf{r}_{-(p_e,I)} = \mathbf{0}$. Conformément à l'intuition, une taxe sur l'énergie est régressive.

Proposition 3.1.1 *Si U_h est une fonction d'utilité CES et $\underline{s} > 0$, une politique telle que*

$$dp_e = t_e, dI = t_I I \text{ et } d\mathbf{r}_{-(p_e,I)} = \mathbf{0},$$

est régressive.

De plus si t_I est donné par (3.1), il existe un niveau de revenu $I_{t_e} \in \left[\underline{I}, \bar{I}\right]$ tel que

$$dv \lesseqqgtr 0 \Leftrightarrow I \lesseqqgtr I_{t_e}.$$

Il est à noter que ce résultat est issu de l'intégration d'un seuil de consommation $\underline{s} > 0$ dans le modèle, qui fait que le service énergétique est un bien nécessaire. Sans ce seuil, la part des dépenses sur chacun des biens serait constante sous une fonction d'utilité CES. Conséquemment, notre modèle infirme le résultat de Levinson (2016) qu'une taxe sur l'énergie soit régressive de façon générale.[3] La raison en est que Levinson (2016) conclut à la régressivité de la politique à partir du fait que le service énergétique est un bien normal et non à partir du fait qu'il s'agisse d'un bien nécessaire.

3.2 Subvention à l'efficacité énergétique

En maintenant l'hypothèse qu'il n'existe pas de norme d'efficacité énergétique, nous supposons maintenant que le régulateur propose une subvention à l'efficacité énergétique

marginal social est constant.

2. Levinson (2016) étudie deux cas mutuellement exclusifs, soit un cas où l'on taxe la consommation d'énergie sans imposer de norme d'efficacité et un autre où l'on impose une norme d'efficacité sans taxer l'énergie.

3. Entre autres, elle ne le serait pas dans tout modèle d'équilibre général utilisant des fonctions CES.

au lieu d'une taxe sur l'énergie. De façon à obtenir le même impact environnemental, le niveau de la subvention est égal au bénéfice marginal de l'efficacité énergétique. Celui-ci correspond au dommage marginal évité par la réduction de la consommation d'énergie. Comme nous avons supposé dans la section précédente que le dommage marginal de l'énergie était t_e, en absence de norme d'efficacité, le niveau de la subvention unitaire est :

$$dp_\mu = -\frac{\mu}{e} t_e = -\frac{p_e}{p_\mu} t_e,$$

puisque, selon le taux marginal de substitution technique (2.2), chaque unité d'efficacité supplémentaire $d\mu$ permet d'épargner $|de| = \frac{\mu}{e}$ unités d'énergie tout en maintenant le niveau de service énergétique constant. Pour que la politique soit neutre au plan fiscal, le niveau d'impôt proportionnel sur le revenu qui doit être appliqué est :

$$t_I = \frac{\int_{\underline{I}}^{\bar{I}} \frac{p_e}{p_\mu} t_e \mu\left(p_e, p_\mu\left(1 - \frac{t_e}{p_e}\right), p_x, I\left(1 - t_I\right), 0\right) dH}{I_m}. \tag{3.2}$$

La subvention unitaire est donc une politique environnementale qui est le «miroir» de la taxe unitaire.

Proposition 3.2.1 *Si U_h est une fonction d'utilité CES et $\underline{s} > 0$, une politique telle que*

$$dp_\mu = -p_\mu \frac{t_e}{p_e}, dI = -t_I I \text{ et } d\mathbf{r}_{-(p_\mu, I)} = \mathbf{0}.$$

est progressive.

De plus si t_I est donné par (3.2), il existe un niveau de revenu $I_{t_\mu} \in \left[\underline{I}, \bar{I}\right]$ tel que

$$dv \gtreqless 0 \Leftrightarrow I \lesseqgtr I_{t_\mu}.$$

La subvention à l'efficacité énergétique est donc fiscalement neutre, a le même impact environnemental que la taxe à l'énergie, mais est progressive au lieu d'être régressive. Elle semble donc dominer la taxe sur l'énergie.

Ce résultat dépend cependant de façon cruciale sur le fait que le dommage marginal de la consommation d'énergie est constant. Sous l'hypothèse raisonnable qu'il est plutôt croissant, la subvention aurait un impact environnemental moins important à cause de l'effet «rebond». En effet, la baisse du prix du service énergétique p_s suite à la subvention à l'efficacité énergétique fait augmenter la consommation du service énergétique par rapport à la situation initiale, alors que la hausse du prix p_s suite à la taxation de l'énergie fait diminuer la consommation du service énergétique. Il s'ensuit que la consommation d'énergie sera moins réduite suite à la subvention qu'à la taxe et, sous l'hypothèse d'une fonction de dommage marginal croissante, les dommages environnementaux seront plus élevés sous la subvention.

On peut cependant argumenter que ce fait est dû à l'usage d'une subvention ou d'une taxe unitaire plutôt qu'au choix de la subvention ou de la taxe comme instrument. Avec un instrument unitaire, le montant prélevé ou donné ne correspond au coût ou bénéfice marginal externe qu'au point de consommation initial, à moins que le dommage marginal ne soit constant. En prélevant une taxe non-uniforme convexe ou une subvention non-uniforme concave, on pourrait conserver l'égalité du montant prélevé (versé) au coût (bénéfice) marginal externe en tout niveau de consommation.

Evidemment, la difficulté d'un tel système de transfert non-uniforme fait en sorte qu'il est peu probable qu'il soit implanté en pratique. Mais dans ce cas, dans le choix entre une taxe et une subvention, l'on devrait tenir compte non seulement de l'effet rebond de la subvention, mais également de l'effet «dépresseur» équivalent de la taxe sur l'énergie, soit le fait que la consommation du service énergétique diminuera suite à la hausse du prix p_s du service énergétique. Avec des dommages marginaux croissants, cela veut dire que les dernières unités de consommation auront été taxées à un niveau plus élevé que le dommage marginal, signifiant une sous-consommation d'énergie. Si le service énergétique est un bien nécessaire, ce sont les consommateurs relativement pauvres qui souffrent de cette sous-consommation. Le choix entre la taxe unitaire et la subvention unitaire est un choix entre deux instruments imparfaits : l'un qui donne un plus grand impact environnemental au prix d'une redistribution régressive ou un autre qui permet une meilleure redistribution des revenus mais au prix d'un moins grand impact environnemental. L'avantage comparatif de la taxe est d'autant plus grand que les coûts externes des dommages environnementaux sont importants.

Malgré ces qualifications issues d'hypothèses fortes, la proposition 3.2.1 démontre clairement que l'on ne peut imputer un avantage «absolu» à la taxe vis-à-vis la subvention.

3.3 Taxe à l'inefficacité énergétique de Levinson (2016)

Comme mentionné dans la section 2.3.3, la taxe à l'inefficacité énergétique de Levinson (2016) modélisée dans le problème (2.24) remplace la contrainte sur l'efficacité énergétique de notre problème (2.3). Dans un tel contexte, Levinson (2016) conclut : «In sum, even a simple model with few assumptions predicts that an energy tax will be more efficient and less regressive than an efficient standard. All it requires is that energy services be normal, the cost of energy efficiency be convex (or not too concave), and the efficiency standard be framed as revenue-equivalent tax on inefficient appliances». Le résultat qu'une taxe soit plus efficace qu'une norme reproduit le résultat classique de l'économie de l'environnement. Levinson (2016) place plutôt sa contribution sur le fait que la taxe serait non seulement plus efficace, mais également moins régressive. Or, cet énoncé repose sur la conjonction d'une définition non usuelle du concept de régressivité et d'une adéquation fautive entre norme et taxe à l'inefficacité. Dans cette section, nous montrons que le résultat de régressivité de la norme ne tient pas de façon générale si on remplace la définition de norme comme taxe à l'inefficacité, comme proposé par Levinson (2016), avec la définition usuelle de régressivité. [4]

Comme Levinson (2016) établit une adéquation entre norme et taxe à l'inefficacité énergétique, nous supposons que l'introduction de cette dernière se fait à partir d'une situation initiale où il n'existe pas de norme. L'introduction de la taxe sur l'inefficacité appliquée à la différence $\left(\underline{\mu} - \mu\right)$ se modélise alors comme une politique environnementale $dp_\mu = -t_\mu$, $dI = -t_\mu \underline{\mu} - t_I I$ et $d\mathbf{r}_{-(p_\mu, I)} = \mathbf{0}$, où t_I est défini de façon à ce que la politique soit neutre au plan fiscal : [5]

$$t_I = \frac{\int_{\underline{I}}^{\bar{I}} t_\mu \mu \left(p_e, p_\mu - t_\mu, p_x, I\left(1 - t_I\right) - t_\mu \underline{\mu}, 0\right) dH}{I_m}. \tag{3.3}$$

Proposition 3.3.1 *Si U_h est une fonction d'utilité CES et $\underline{s} > 0$, une politique telle que*

$$dp_\mu = -t_\mu, dI = -t_\mu \underline{\mu} - t_I I, d\mathbf{r}_{-(p_\mu, I)} = \mathbf{0}$$

est localement

$$\left\{ \begin{array}{c} \textit{régressive} \\ \textit{progressive} \end{array} \right\} \Leftrightarrow \mu(\mathbf{r}) \lesseqgtr \underline{\mu}.$$

L'intuition du résultat est directe. Les consommateurs dont l'équipement a un niveau d'efficacité inférieur à $\underline{\mu}$ paient une taxe à l'inefficacité alors que ceux qui possèdent un équipement dont le niveau d'efficacité surpasse $\underline{\mu}$ reçoivent une subvention à l'efficacité.

4. La prochaine section montrera que la norme est effectivement régressive lorsque l'on définit la norme comme une réglementation prescriptive, mais qu'elle ne peut être déclarée plus ou moins régressive qu'une taxe de façon générale.

5. Pour obtenir le même impact environnemental que la taxe sur l'énergie, il s'agit de poser $t_\mu = \frac{p_e}{p_\mu} t_e$ comme dans la section précédente. L'usage de t_μ est fait pour simplifier la présentation.

Comme le service énergétique est un bien nécessaire, la taxe est localement régressive et la subvention est localement progressive. Puisque le seuil d'application de la subvention ou de la taxe est associé à un impôt forfaitaire, la politique régressive concerne la population relativement pauvre. La proposition 3.3.1 contredit clairement la proposition de Levinson (2016) qu'une taxe à l'inefficacité est toujours plus régressive qu'une taxe à l'énergie.

Cette proposition doit également être qualifiée au regard des fortes hypothèses qui la sous-tendent. Notre hypothèse de fonction d'utilité CES avec seuil de consommation fait en sorte que le bien énergétique est un bien nécessaire quel que soit le niveau de revenu. En réalité, il est possible que le bien devienne un bien de luxe une fois les usages de base du service énergétique assurés. Par exemple, même si les personnes pauvres peuvent consacrer une très grande part de leur revenu au service énergétique, les personnes riches peuvent consacrer une plus grande partie de leur revenu à l'efficacité énergétique que les personnes de classe moyenne (en possédant une Tesla par exemple), de sorte que la subvention à l'efficacité énergétique peut devenir localement régressive. Mais quoi qu'il en soit, la définition de régressivité de Levinson (2016), basée sur la croissance des dépenses avec le revenu plutôt que la croissance des parts des dépenses, ne peut capter non plus un tel phénomène puisqu'elle implique que la taxe à l'inefficacité est globalement régressive dans toutes les circonstances.

3.4 Norme d'efficacité énergétique

Nous supposons que le gouvernement instaure une norme $\underline{\mu}$ sous forme prescriptive, de sorte que la contrainte $\mu \geq \underline{\mu}$ est serrée pour certains consommateurs. La politique est alors décrite par $d\underline{\mu} = \underline{\mu} > 0$ et $d\mathbf{r}_{-\underline{\mu}} = \mathbf{0}$. Comme l'imposition de la norme n'engendre aucun coût direct au gouvernement, aucun transfert monétaire n'est fait entre le gouvernement et les consommateurs. La norme n'a aucun impact sur les personnes qui utilisaient préalablement des appareils d'efficacité énergétique au-dessus de la norme, mais elle impose un coût fixe à ceux qui possédaient des appareils dorénavant considérés comme illégaux. De plus, la consommation de service énergétique devient économiquement inefficace, le taux marginal de substitution technique $TmST_{\mu e}$ étant supérieur au rapport de prix $\frac{p_\mu}{p_e}$.[6] Il s'ensuit le résultat suivant.

6. On peut utiliser l'analogie avec les opérations d'une entreprise : la fonction de coût $C_s(s)$ du service énergétique applicable est la fonction de court terme, avec la quantité de l'efficacité énergétique fixée à $\underline{\mu}$, plutôt que la fonction de coût de long terme.

Proposition 3.4.1 *Si U_h est une fonction d'utilité CES et $\underline{s} > 0$, une norme pour laquelle $I_{\underline{\mu}} > \underline{I}$ est localement régressive sur $[\underline{I}, I_{\underline{\mu}}]$.*

Contrairement à la taxe ou à la subvention, la norme n'incite pas le consommateur à égaliser la valeur marginale qu'il accorde au service énergétique au coût marginal social de ce service. L'incitation à la réduction vient de l'augmentation du coût de production du service. On crée ainsi de l'inefficacité pour atteindre la cible environnementale, conformément aux résultats standards de l'économie de l'environnement. Au plan redistributif, comme l'efficacité est un bien normal, la norme fait porter le fardeau de la politique uniquement sur les personnes les plus pauvres.

La proposition 3.4.1 va à l'encontre de l'analyse de Levinson (2016), pour qui la norme affecte l'ensemble des consommateurs. En considérant la norme comme étant une taxe à l'inefficacité, Levinson (2016) modélise la contrainte budgétaire du consommateur comme étant :

$$I = x + (p_e + t_e)\, e + p_\mu \mu + t_\mu \left(\underline{\mu} - \mu\right). \tag{3.4}$$

En fait, sous la norme, le coût implicite de l'augmentation d'une unité d'efficacité énergétique est $p_\mu + C'_{\underline{\mu}}(s) = p_\mu + \lambda_{\underline{\mu}}(s)$, où $\lambda_{\underline{\mu}}$ est le multiplicateur de Lagrange associé à la norme dans le problème (2.4). Ce multiplicateur représente donc le sur-coût dû à la norme et c'est à partir de lui que l'on pourrait écrire la contrainte budgétaire comme :

$$I = x + (p_e + t_e)\, e + p_\mu \mu + \lambda_{\underline{\mu}}(s) \left(\underline{\mu} - \mu\right).$$

Or, lorsque $\mu(s) > \underline{\mu}$, $\lambda_{\underline{\mu}}(s) = 0$. On ne peut donc suggérer, comme Levinson (2016) le fait avec la contrainte budgétaire (3.4) qu'une subvention est versée lorsque $\mu > \underline{\mu}$ et que les consommateurs qui utilisent des équipements dont l'efficacité énergétique est supérieure à la norme bénéficie de l'imposition de la norme.

Bien que le caractère inefficace de la norme soit, conformément à la littérature économique, incontournable, il est relativement aisé de concevoir des politiques palliant à son aspect régressif. Nous en donnons un exemple dans la section suivante.

3.5 Mise aux normes

Comme l'imposition d'une nouvelle norme affecte les personnes se situant dans la tranche de revenu la plus faible, il peut être relativement facile de fournir une aide ciblée à ces personnes pour qu'elles puissent se conformer à la nouvelle norme sans en subir les coûts.[7] Nous considérons donc ici un programme de «mise aux normes» dans lequel le gouvernement compense le consommateur pour le coût d'ajustement à la nouvelle norme.

Pour utiliser le modèle dans toute sa généralité, nous supposons qu'il existe initialement une norme[8] $\underline{\mu} = \underline{\mu}^0$ et que le gouvernement impose une nouvelle norme $\underline{\mu} = \underline{\mu}^1$. Pour les consommateurs possédant un équipement dont l'efficacité énergétique se situe sous la norme $\underline{\mu}^1$, le gouvernement offre une subvention $p_\mu(\underline{\mu}^1 - \mu(p_e, p_\mu, p_x, I, \underline{\mu}^0))$ sur les dépenses d'investissement en efficacité énergétique.[9] Pour que la politique soit neutre au plan fiscal, un impôt proportionnel sur le revenu t_I est prélevé.

Soit $I_{\underline{\mu}^i}$, le revenu tel que $\mu(p_e, p_\mu, p_x, I_{\underline{\mu}^i}, \underline{\mu}^i) = \underline{\mu}^i$, c'est-à-dire le revenu pour lequel la norme $\underline{\mu}^i$ représente la quantité optimale d'efficacité énergétique. En supposant que tous les consommateurs se conformaient à la norme initiale $\underline{\mu}^0$, la politique distingue trois catégories de consommateurs : d'abord, ceux qui étaient contraints par $\underline{\mu}^0$ reçoivent $p_\mu(\underline{\mu}^1 - \underline{\mu}^0)$; ensuite, les consommateurs contraints par $\underline{\mu}^1$ alors qu'ils ne l'étaient pas sous $\underline{\mu}^0$ reçoivent $p_\mu d\mu(I)$ où $d\mu(I) \equiv \underline{\mu}^1 - \mu(p_e, p_\mu, p_x, I, \underline{\mu}^0)$; finalement ceux qui ne sont pas contraints par $\underline{\mu}^1$ contribuent au financement du programme. La figure 3.1 représente les différents types de consommateurs.

La politique de mise aux normes peut donc être décrite de la façon suivante : $dp_\mu = dp_e = dp_x = 0$ et

$$(dI, d\underline{\mu}) = \begin{cases} \left(p_\mu d\underline{\mu}, d\underline{\mu}\right) & \text{si } I \leq I_{\underline{\mu}^0} \\ \left(p_\mu d\mu(I), d\underline{\mu}\right) & \text{si } I_{\underline{\mu}^0} < I \leq I_{\underline{\mu}^1} \\ \left(-It_I, d\underline{\mu}\right) & \text{si } I > I_{\underline{\mu}^1}, \end{cases} \tag{3.5}$$

où

$$t_I = \frac{p_\mu \left[d\underline{\mu} \cdot H\left(I_{\underline{\mu}^0}\right) + \int_{I_{\underline{\mu}^0}}^{I_{\underline{\mu}^1}} [d\mu(I)] dH \right]}{\left(1 - H\left(I_{\underline{\mu}^1}\right)\right)}.$$

Cette politique permet alors «d'inverser» la régressivité initiale de la norme évoquée dans la proposition 3.3.1.

7. Par exemple, le programme "Green Deal" du Royaume-Uni offre un financement aux personnes pauvres pour l'investissement dans l'isolation de leur habitation. Voir à ce sujet Guertler (2012). Notez que l'aide liée au revenu peut se confronter à des problèmes d'asymétrie d'information.

8. Il suffit de poser $\underline{\mu}^0 = 0$ si ce n'est pas le cas.

9. La subvention ne peut être utilisée à d'autres fins que l'efficacité énergétique. Par exemple, elle est versée sous présentation d'une facture.

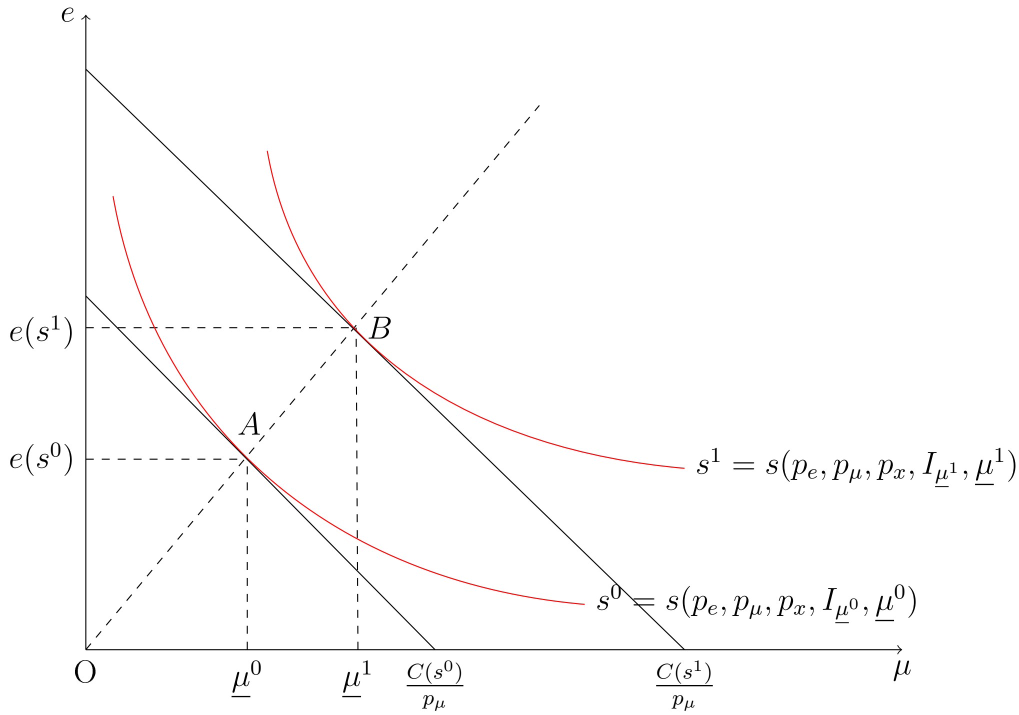

FIGURE 3.1 – Les différents types de consommateurs occasionnés par la norme environnementale

Proposition 3.5.1 *Si U_h est une fonction d'utilité CES et $\underline{s} > 0$, la politique (3.5) est localement progressive sur $[\underline{I}, I_{\underline{\mu}^1}]$.*

Ce programme permet donc de retirer tout aspect régressif à une norme. De plus, contrairement à une subvention unitaire qui réduit le coût relatif du service énergétique, la mise aux normes évite un effet de rebond dans le cas d'une fonction de production homothétique (comme la Cobb-Douglas). La situation est illustrée dans la figure 3.2 pour un consommateur dont le revenu est dans l'intervalle $\left[I_{\underline{\mu}^0}, I_{\underline{\mu}^1}\right]$. Avec la norme $\underline{\mu}^0$, le consommateur utilisait la quantité économiquement efficace d'énergie (point A). Avec le programme de mise aux normes, sa contrainte budgétaire se déplace de façon horizontale d'un montant $d\mu(I)$, puisque la subvention versée uniquement sur l'efficacité énergétique correspond à un don en nature. En $\underline{\mu}^1$, le consommateur ne voudra pas augmenter sa consommation d'énergie, car le taux marginal de substitution technique $TmST_{\mu e}$ est supérieur au rapport de prix. Il utilisera donc la même quantité d'énergie, mais son service énergétique passera à s^1. Notez qu'étant donné que le TmS_{sx} a augmenté, le consommateur serait prêt à sacrifier un montant de service énergétique pour du bien privé supplémentaire, mais cela n'est pas possible, car le don en nature ne lui permet

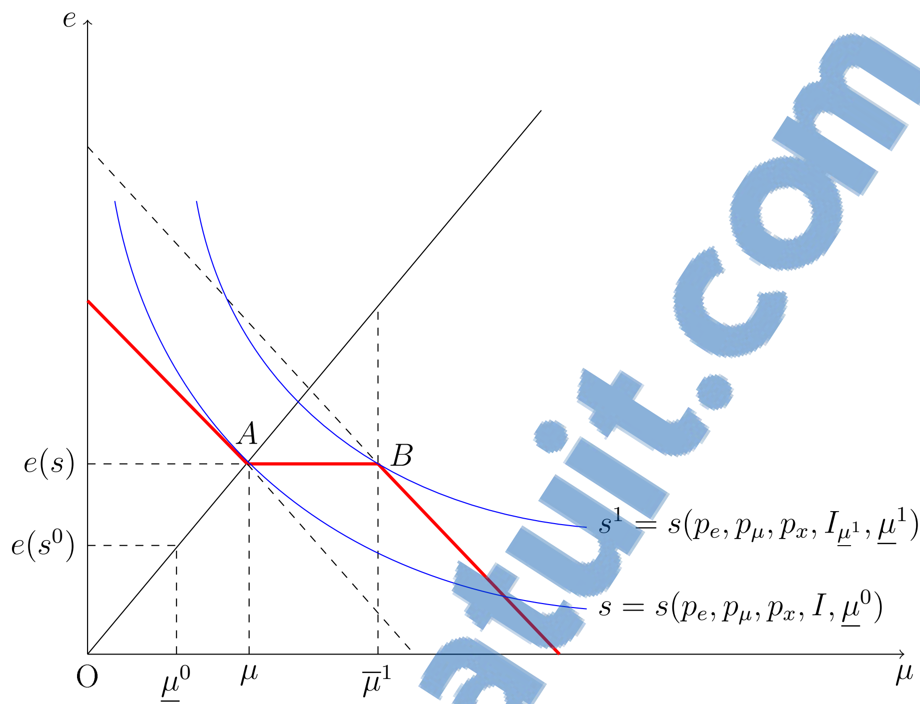

FIGURE 3.2 – La consommation optimale d'énergie pour un consommateur ayant bénéficié de la subvention du gouvernement sous la norme.

pas faire ce type de compromis.

Par ailleurs, la consommation d'énergie des consommateurs qui sont au-dessus de la norme ne peut que baisser, puisque le gouvernement taxe leur revenu sans aucune compensation. En bref, malgré les aspects positifs d'une mise aux normes au plan redistributif, ce programme conserve les inefficacités de la norme telle que modélisée dans la section 3.4.

Si l'on résume les résultats sur les cinq politiques étudiées, la subvention à l'efficacité énergétique semble dominer les autres instruments dans la mesure où le coût marginal du dommage causé par la consommation d'énergie est constant. Ce résultat va à l'encontre de celui de Levinson (2016), pour qui la taxe sur l'énergie était l'instrument dominant.

Conclusion

Nous avons proposé un modèle microéconomique d'analyse de la régressivité des politiques environnementales. Dans ce modèle, nous avons tenu compte du caractère essentiel du service énergétique par l'introduction d'un seuil de consommation. Nous avons par la suite proposé une définition de régressivité qui porte sur l'utilité des consommateurs et non sur le revenu comme c'est le cas dans la littérature. L'avantage de cette définition est qu'elle permet de mesurer l'impact d'une combinaison de politiques publiques. De plus, elle tient compte de l'utilité plutôt que du revenu et offre donc la possibilité d'incorporer l'aversion des consommateurs pour le risque pour des extensions futures.

Nous avons appliqué notre modèle à l'analyse d'une série de cinq politiques environnementales. Les résultats suggèrent que : (*i*) une taxe unitaire sur l'énergie est régressive, (*ii*) une subvention unitaire à l'efficacité énergétique est progressive, (*iii*) une norme sur l'efficacité énergétique modélisée comme une taxe unitaire comme dans Levinson (2016) est localement régressive (pour les consommateurs contraints) et localement progressive (pour les consommateurs non contraints) , (*iv*) une norme sur l'efficacité énergétique modélisée comme une réglementation prescriptive est localement régressive (pour les consommateurs contraints) et (*v*) une subvention pour permettre aux consommateurs de se conformer à une nouvelle norme que nous avons appelée «subvention de mise aux normes» est progressive.

Le caractère général de notre modèle a permis de considérer le modèle de Levinson (2016) comme un cas particulier. En plus de proposer une autre approche de modélisation d'une norme d'efficacité énergétique, nous avons montré qu'en considérant la norme comme une taxe unitaire à l'inefficacité, nous ne pouvons conclure qu'elle est «globalement » régressive comme dans Levinson (2016). Notre modélisation de la norme suggère plutôt qu'elle est localement régressive (pour les consommateurs contraints) puisque les consommateurs non contraints ne sont pas affectés. Il est relativement simple de renverser l'effet régressif de cette norme en la couplant avec une subvention financée par une taxe sur le revenu.

Nous avons supposé que toutes ces politiques sont neutres au plan fiscal, c'est-à-dire qu'elles n'affectent pas le solde budgétaire du gouvernement. Cette hypothèse nous a permis de comparer les politiques entre elles au plan de la régressivité et de rapprocher nos résultats de celui de Levinson (2016) qui conclut qu'une taxe énergétique est moins régressive que les normes d'efficacité énergétique. Il en ressort qu'une subvention à l'efficacité est progressive et permet d'atteindre le même objectif environnemental qu'une taxe énergétique. Elle domine toutes les autres politiques analysées au plan de la régressivité fournissant ainsi un exemple qui va à l'encontre de la conclusion du modèle de Levinson (2016).

Des extensions sont envisageables à partir de notre modèle. Outre l'incorporation de l'aversion des consommateurs au risque mentionnée plus haut, il est également possible d'analyser l'impact d'une combinaison de politiques. Par exemple, la taxe énergétique mise ensemble avec une norme est-elle plus ou moins régressive, efficace, etc. Ce modèle peut se fondre à l'intérieur d'un modèle d'équilibre général dynamique calculable afin de chercher par exemple le niveau de la taxe et de la norme qui peut dominer ces politiques prises individuellement.

Bibliographie

[1] **Anderson S. T. et J. M. Sallee**. Using Loopholes to Reveal the Marginal Cost of Regulation : The Case of Fuel-Economy Standards. *American Economic Review,* 101 (2011) 1375-1409.

[2] **Austin D. et T. Dinan**. Clearing the Air : The Costs and Consequences of Higher CAFE Standards and Increased Gasoline Taxes. *Journal of Environmental Economics and Management,* 50 (2005) 562-582.

[3] **Baranzini A., Goldemberg J. et S. Speck**. A Futur for Carbon Taxes. *Ecological Economics,* 32 (2000) 395-412.

[4] **Baumgärtner S., Moritz A. D. et F. Q. Martin**. Subsistence, Substitutability and Sustainability in Consumption. *Environmental Resource Economics,* 67 (2017) 47-66.

[5] **Beck M., Rivers N., Wigle R. et H. Yonezawa**. Carbon Tax and Revenue Recycling : Impacts on Households in British Columbia. *Ressource and Energy Economics,* 41 (2015) 40-69.

[6] **Beckman S. R. et W. J. Smith**. A Theory of Demand Based on Essential and Inessential Goods. *Disponible à l'adresse SSRN : https ://ssrn.com/abstract=2653907 ou http ://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2653907.*

[7] **Bento A. M., Goulder L. H., Jacobsen M. R. et R. Von**. Distributional and Efficiency Impacts of Increased U.S. Gasoline Taxes. *American Economic Review,* 99 (2009) 667-699.

[8] **Borenstein S. et L. W. Davis**. The Distributional Effects of U.S. Clean Energy Tax Credits. *NBER Working Paper,* 21437 (2015).

[9] **Davis L.W. et C. R. Knittel**. Are Fuel Economy Standards Regressive ? *NBER Working Paper,* 22925 (2016).

[10] **Dissou Y. et M. S. Siddiqui**. Can Carbone Taxes Be Progressive ? *Energy Economics,* 42 (2014) 88-100.

[11] **Friedman M**. A Theory of the Consumption Function ? *Princeton University Press,* (1957).

[12] **Geary R. C**. A Note on «A Constant Utility Index of the Cost of Living». *Review of Economic Studies,* 18 (1950) 65-66.

[13] **Heal G**. Climate Economics : A Meta-review and Some Suggestions for Future Research. *Review of Environmental Economics Policy,* 3 (2009) 4-21.

[14] **Hamilton K. et G. Cameron**. Simulating the Distributional Effects of a Canadian Carbon Tax. *Canadian Public Policy / Analyse de Politiques,* 20 (1994) 385-399.

[15] **Hasset K. A., Mathur A. et G. E. Metcalf**. The Incidence of US Carbon Tax : A Lifetime and Regional Analysis. *The Energy Journal,* 30 (2009) 155-177.

[16] **Heal JR et RGD Allen**. A Reconsidération of the Theory of Value, Part I. *Economica,* 1 (1934) 52-76.

[17] **Heal JR et RGD Allen**. A Reconsidération of the Theory of Value, Part II. *Economica,* 1 (1934) 196-219.

[18] **Ito Koichiro et J. M. Sallee**. The Economics of Attribute-Based Regulation : Theory and Evidence from Fuel-Economy Standards. *NBER Working Paper,* (2014).

[19] **Jacobsen R. M**. Evaluating US Fuel Economy Standards in a Model with Producer and Household Heterogeneity. *American Economic Journal : Economic Policy,* 5 (2013) 148-187.

[20] **Jely G. et P. J. Reny**. *Advanced Microeconomic Theory,* 3e édition, Prentice Hall (2012).

[21] **Klein L. et H. Rubin**. A Constant-utility Index of the Cost of Living. *The Review of Economic Studies,* 15 (1947) 84–87.

[22] **Koch S. F**. Quasi-Expirimental Evidence on Tobacco Regressivity. *Social Science and Medicine,* 196 (2018) 19-28.

[23] **Lee M. et T. Sanger**. Is BC's Carbon Tax Fair ? *Canadian Center for Policy Alternatives,* (2008).

[24] **Levinson A**. Energy Efficency Standards are More Regressive Than Energy Taxes : Theory and Evidence. *NBER Working Paper,* 22956 (2016).

[25] **Mathur A. et A. C. Morris**. Distributional Effects of a Carbon Tax in Broader U.S. Fiscal Reform. *Energy Policy,* 66 (2014) 326-334.

[26] **Pigou C. A**. The Economics of Welfare. *London : Macmillan and Co,* (1920).

[27] **Robinson H. D**. Who Pays for Industrial Pollution Abatement. *The Review of Economic Studies,* 67 (1985) 702–706.

[28] **Ross McKitrick**. Economic Analysis of Environmental Policy. *University of Toronto Press Incorporated,* (2011).

[29] **Samuelson PA**. Some Implications of Linearity. *Review of Economic studies,* 15 (1947) 88-90.

[30] **Stone JRN**. Linear Expenditure Systems and Demand Analysis : An Application to the Pattern of British Demand. *Economic Journal,* 64 (1954) 511-527.

[31] **Varian H**. *Microeconomic Analysis,* 3e édition, Norton (1992).

[32] **Wang Q., Klaus H., Kuishuang F., Yi-Ming W. et L. Qiao-Mei**. Distributional Effects of Carbon Taxation. *Applied Energy,* 184 (2016) 1123-1131.

[33] **Wier M., Birr-Pedersen K., Jacobsen K.H. et J. Klok** . Are CO_2 Taxes Regressive ? Evidence from the Danish Experience. *Ecological Economics,* 52 (2005) 239-251.

[34] **Williams R. C., Roberton C., Gordon H., Burtraw D., Carbone J. et R. D. Morgenstern**. The Initial Incidence of a Carbon Tax Across Income Groups. *National Tax Journal,* 68 (2015) 195-214.

Annexe : Démonstrations

• **Lemme 2.1.1** Il s'agit de démontrer que toute solution au problème (2.10) est solution au problème (2.14), de sorte que l'utilité maximale obtenue est la même dans les deux problèmes.

Les conditions de Kuhn et Tucker du problème (2.14) sont :

$$\bar{\mathcal{L}}'_s = U'_s - \lambda p_s(\mathbf{r}) = 0 \tag{6}$$

$$\bar{\mathcal{L}}'_x = U'_x - \lambda p_x \leq 0 \qquad \bar{\mathcal{L}}'_x x = 0 \qquad x \geq 0 \tag{7}$$

$$\bar{\mathcal{L}}'_\lambda = \tilde{I} - p_s(\mathbf{r})\, s - p_x x = 0. \tag{8}$$

Comme $p_s(\mathbf{r}) \equiv C'_s(s(\mathbf{r}); p_e, p_\mu, \underline{\mu})$ et $\tilde{I} \equiv I + p_s(\mathbf{r})\, s(\mathbf{r}) - C(s(\mathbf{r}))$, il est clair que la solution du problème (2.10), qui respecte les conditions (2.11)−(2.13) respecte également les conditions (6)−(8). On a donc :

$$\tilde{v}(p_s(\mathbf{r}), p_x, I + p_s(\mathbf{r})\, s(\mathbf{r}) - C(s(\mathbf{r}))) = v(\mathbf{r}).$$

■

• **Lemme 2.2.1**

1. Supposons une politique publique telle que $dI \neq 0$ et $d\mathbf{r}_{-I} = 0$. Alors $dv = v'_I dI$, de sorte que
$$\frac{\partial\left(\frac{dv}{I}\right)}{\partial I} = \frac{v''_{II} I - v'_I}{I^2} dI = -\frac{v'_I}{I^2} dI,$$
car $v''_{II} = 0$. Comme $v'_I > 0$, on obtient :
$$\frac{\partial\left(\frac{dv}{I}\right)}{\partial I} \gtrless 0 \Leftrightarrow \frac{\partial}{\partial I}\left(\frac{dI}{I}\right) \gtrless 0.$$
2. Supposons une politique publique telle que $dp_i \neq 0$ et $d\mathbf{r}_{-p_i} = 0$. Alors, de l'identité de Roy et de la définition de la part des dépenses α_i,
$$dv = v'_{p_i} dp_i = -v'_I x_i dp_i = -v'_I \alpha_i I \frac{dp_i}{p_i},$$

où x_i représente le bien dont le prix p_i a été modifié. On a :

$$\frac{\partial\left(\frac{dv}{I}\right)}{\partial I} = -\left(v_I'\frac{\partial\alpha_i}{\partial I} + v_{II}''\alpha_i\right)\frac{dp_i}{p_i} = -v_I'\frac{\partial\alpha_i}{\partial I}\frac{dp_i}{p_i},$$

car $v_{II}'' = 0$. Comme $v_I' > 0$, on obtient :

$$\frac{\partial\left(\frac{dv(\mathbf{r})}{I}\right)}{\partial I} \gtreqless 0 \Leftrightarrow \left\{\begin{array}{l} \frac{\partial\alpha_i}{\partial I} \lesseqgtr 0 \text{ et } dp_i > 0 \\ \frac{\partial\alpha_i}{\partial I} \gtreqless 0 \text{ et } dp_i < 0 \end{array}\right\}.$$

■

- **Lemme 2.3.1**

— Cas $\mu = \underline{\mu}$

La norme est alors contraignante et l'augmentation de la quantité de service énergétique ne se fait que par l'augmentation de la quantité d'énergie. De (2.6),

$$C_s'(s) = \lambda_s = \frac{p_e}{f_e'} = 2p_e\underline{\mu}^{-\frac{1}{2}}e^{\frac{1}{2}} = 2p_e\frac{s}{\underline{\mu}}.$$

— Cas $\mu > \underline{\mu}$

On a $\lambda_\mu = 0$, de sorte que la condition (2.9) devient

$$\mu^{-1}e = p_e^{-1}p_\mu.$$

De (2.6), on a :

$$C_s'(s) = \lambda_s = \frac{p_e}{f_e'} = 2p_e\left(\underline{\mu}^{-1}e\right)^{\frac{1}{2}} = 2\sqrt{p_e p_\mu}.$$

■

- **Proposition 3.1.1** Supposons $\underline{\mu} = 0$ et une politique environnementale telle que $dp_e = t_e$, $dI = t_I I$ et $d\mathbf{r}_{-(p_e,I)} = \mathbf{0}$, où t_I est donné par (3.1). Alors, pour un consommateur ayant un revenu I, on obtient :

$$d\tilde{v} = \tilde{v}_{p_s}'dp_s + \tilde{v}_I'dI = -s\tilde{v}_I'dp_s + \tilde{v}_I'dI = \tilde{v}_I'I\left(t_I - \alpha_s\frac{dp_s}{p_s}\right), \tag{9}$$

où la deuxième égalité est obtenue de l'identité de Roy. En l'absence de norme, $p_s = 2\sqrt{p_e p_\mu}$, de sorte que $\frac{dp_s}{p_s} = \frac{1}{2}\frac{dp_e}{p_e} = \frac{1}{2}\frac{t_e}{p_e}$. Avec $\tilde{v}_I'' = 0$, on a donc :

$$\frac{\partial\left(\frac{d\tilde{v}}{I}\right)}{\partial I} = -\tilde{v}_I'I\frac{\partial\alpha_s}{\partial I}\frac{dp_s}{p_s} > 0,$$

car $\tilde{v}'_I > 0$, $\dfrac{\partial \alpha_s}{\partial I} < 0$ et $\dfrac{dp_s}{p_s} > 0$. La politique est donc régressive. Par ailleurs, comme la politique est fiscalement neutre, il existe un $I_{t_e} \in [\underline{I}, \overline{I}]$ tel que $d\tilde{v} = 0$. Supposons que ce ne soit pas le cas. Comme $\dfrac{d\tilde{v}}{I}$ est monotone, soit $\dfrac{d\tilde{v}}{I} > 0$, $\forall I$, soit $\dfrac{d\tilde{v}}{I} < 0, \forall I$. On a alors :

$$\begin{aligned}
d\tilde{v} \gtrless 0,\ \forall I \Rightarrow 0 &\lesseqgtr \int_{\underline{I}}^{\overline{I}} \left(t_I I - \alpha_s I \frac{dp_s}{p_s} \right) dH \\
&= t_I I_{moy} - \int_{\underline{I}}^{\overline{I}} p_s s \frac{dp_s}{p_s} dH \\
&= t_I I_{moy} - \int_{\underline{I}}^{\overline{I}} 2 p_e e \left(\frac{1}{2} \frac{t_e}{p_e} \right) dH \\
&= t_I I_{moy} - \int_{\underline{I}}^{\overline{I}} t_e e(p_e + t_e, p_\mu, p_x, I + t_I I, 0) dH.
\end{aligned}$$

en contradiction avec (3.1). ■

• **Proposition 3.2.1** Supposons $\underline{\mu} = 0$ et une politique environnementale telle que $dp_\mu = -p_\mu \dfrac{t_e}{p_e}$, $dI = -t_I I$ et $d\mathbf{r}_{-(p_\mu, I)} = \mathbf{0}$ où t_I est donné par (3.2). Alors, pour un consommateur ayant un revenu I, on obtient :

$$d\tilde{v} = \tilde{v}'_{p_s} dp_s + \tilde{v}'_I dI = -s \tilde{v}'_I dp_s + \tilde{v}'_I dI = \tilde{v}'_I I \left(-t_I - \alpha_s \frac{dp_s}{p_s} \right), \tag{10}$$

où la deuxième égalité est obtenue de l'identité de Roy. En l'absence de norme, $p_s = 2\sqrt{p_e p_\mu}$, de sorte que $\dfrac{dp_s}{p_s} = \dfrac{1}{2} \dfrac{dp_\mu}{p_\mu} = -\dfrac{1}{2} \dfrac{t_e p_e}{p_\mu^2}$. Avec $\tilde{v}''_I = 0$, on a donc :

$$\frac{\partial \left(\frac{d\tilde{v}}{I} \right)}{\partial I} = -\tilde{v}'_I I \frac{\partial \alpha_s}{\partial I} \frac{dp_s}{p_s} < 0,$$

car $\tilde{v}'_I > 0$, $\dfrac{\partial \alpha_s}{\partial I} < 0$ et $\dfrac{dp_s}{p_s} < 0$. La politique est donc progressive. Par ailleurs, comme la politique est fiscalement neutre, il existe un $I_{t_\mu} \in [\underline{I}, \overline{I}]$ tel que $d\tilde{v} = 0$. Supposons que ce ne soit pas le cas. Comme $\dfrac{d\tilde{v}}{I}$ est monotone, soit $\dfrac{d\tilde{v}}{I} < 0$, $\forall I$, soit $\dfrac{d\tilde{v}}{I} > 0, \forall I$.

On a alors :

$$
\begin{aligned}
d\tilde{v} \lesseqgtr 0 \Rightarrow 0 \quad & \lesseqgtr \quad \int_{\underline{I}}^{\overline{I}} \left(t_I I + \alpha_s I \frac{dp_s}{p_s} \right) dH \\
& = \quad t_I I_{moy} + \int_{\underline{I}}^{\overline{I}} p_s s \frac{dp_s}{p_s} dH \\
& = \quad t_I I_{moy} - \int_{\underline{I}}^{\overline{I}} 2 p_\mu \mu \left(\frac{1}{2} \frac{t_e p_e}{p_\mu^2} \right) dH \\
& = \quad t_I I_{moy} - \frac{t_e}{p_e p_\mu} \int_{\underline{I}}^{\overline{I}} \mu \left(p_e, p_\mu \left(1 - \frac{t_e p_e}{p_\mu^2} \right), p_x, I \left(1 - t_I \right), 0 \right) dH,
\end{aligned}
$$

en contradiction avec (3.2). ■

• **Proposition 3.3.1** Supposons $\underline{\mu} = 0$ et une politique environnementale telle que $dp_\mu = -t_\mu$, $dI = -t_\mu \underline{\mu} - t_I I$ et $d\mathbf{r}_{-(p_e, I)} = \mathbf{0}$, où t_I est donné par (3.3). Alors, pour un consommateur ayant un revenu I, on obtient :

$$
d\tilde{v} = \tilde{v}'_{p_s} dp_s + \tilde{v}'_I dI = -s \tilde{v}'_I dp_s + \tilde{v}'_I dI = \tilde{v}'_I \left(-t_\mu \underline{\mu} - \left(t_I + \alpha_s \frac{dp_s}{p_s} \right) I \right), \tag{11}
$$

où la deuxième égalité est obtenue de l'identité de Roy. On a donc :

$$
\frac{d\tilde{v}}{I} = -\tilde{v}'_I \left(\frac{t_\mu \underline{\mu}}{I} + \left(t_I + \alpha_s \frac{dp_s}{p_s} \right) \right).
$$

En l'absence de norme, $p_s = 2\sqrt{p_e p_\mu}$, de sorte que $\frac{dp_s}{p_s} = \frac{1}{2} \frac{dp_\mu}{p_\mu} = -\frac{1}{2} \frac{t_\mu}{p_\mu}$. Avec $\tilde{v}''_{II} = 0$, on a donc :

$$
\frac{\partial \left(\frac{d\tilde{v}}{I} \right)}{\partial I} = \tilde{v}'_I \left(\frac{t_\mu \underline{\mu}}{I^2} + \frac{1}{2} \frac{\partial \alpha_s}{\partial I} \frac{t_\mu}{p_\mu} \right) \gtreqless 0 \Leftrightarrow \frac{t_\mu \underline{\mu}}{I^2} \gtreqless -\frac{1}{2} \frac{\partial \alpha_s}{\partial I} \frac{t_\mu}{p_\mu}.
$$

Avec $\alpha_s = \frac{p_s s}{I} = \frac{2\sqrt{p_\mu p_e \mu e}}{I} = \frac{2 p_\mu \mu}{I}$, on a $\frac{\partial \alpha_s}{\partial I} = -2 \frac{p_\mu \mu}{I^2}$. Donc,

$$
\frac{t_\mu \underline{\mu}}{I^2} \gtreqless -\frac{1}{2} \frac{\partial \alpha_s}{\partial I} \frac{t_\mu}{p_\mu} \Leftrightarrow \underline{\mu} \gtreqless \mu.
$$

■

• **Proposition 3.4.1** Supposons une politique environnementale telle que $d\underline{\mu} = \underline{\mu} > 0$ et $d\mathbf{r}_{-\underline{\mu}} = \mathbf{0}$. L'utilité à l'optimum est alors donnée par :

$$
\begin{array}{ll}
v \left(p_\mu, p_e, p_x, I, \underline{\mu} \right) & \text{si } I \leq I_{\underline{\mu}} \\
v \left(p_\mu, p_e, p_x, I, 0 \right) & \text{si } I > I_{\underline{\mu}},
\end{array}
$$

puisque les consommateurs $I > I_{\underline{\mu}^1}$ ne sont pas affectés par la norme. Il existe alors deux cas possibles. Notez que ces cas sont indépendants du fait que I soit supérieur, égal ou inférieur à I_s.

— Cas 1 : $I \leq I_{\underline{\mu}}$

On a :

$$dv = v'_{\underline{\mu}} d\underline{\mu}.$$

Du théorème de l'enveloppe appliqué sur le lagrangien $\bar{\mathcal{L}}$ du problème (2.10), on obtient :

$$v'_{\underline{\mu}} = \bar{\mathcal{L}}'_{\underline{\mu}} = \frac{\partial}{\partial \underline{\mu}} \left(U(s,x) + \lambda \left(I - C(s; p_\mu, p_e, \underline{\mu}) - p_x x \right) \right) = -v'_I C'_{\underline{\mu}} < 0,$$

car $v'_I > 0$ et $C'_{\underline{\mu}} = \lambda_\mu > 0$ en vertu du théorème de l'enveloppe appliqué au problème (2.4). Comme v'_I et $C'_{\underline{\mu}}$ sont indépendants du revenu, il s'ensuit que :

$$\frac{\partial \left(\frac{dv}{dI} \right)}{\partial I} = \frac{v'_I C'_{\underline{\mu}}}{I^2} > 0,$$

c'est-à-dire que la norme est régressive sur le domaine $\left[I, I_{\underline{\mu}^0} \right]$.

— Cas 2 : $I_{\underline{\mu}} < I$. Comme le consommateur n'était pas contraint en $\underline{\mu}$, on a $v'_{\underline{\mu}} (p_\mu, p_e, p_x, I, 0) = 0$ d'où $dv = 0$ et $\dfrac{\partial \left(\frac{d\tilde{v}}{dI} \right)}{\partial I} = 0.$ ■

• **Proposition 3.5.1** L'utilité à l'optimum est alors donnée par :

$$\begin{array}{ll} v\left(p_\mu, p_e, p_x, I + p_\mu d\mu(I), d\underline{\mu}\right) & \text{si } I < I_{\underline{\mu}^1} \\ v\left(p_\mu, p_e, p_x, I\left(1 - t_I\right), d\underline{\mu}\right) & \text{si } I > I_{\underline{\mu}^1}. \end{array}$$

Nous considérons plusieurs cas possibles. Notez que ces cas sont indépendants du fait que I soit supérieur, égal ou inférieur à I_s.

— Cas 1 : $I \leq I_{\underline{\mu}^0}$

On a :

$$dv = v'_I p_\mu d\underline{\mu} + v'_{\underline{\mu}} d\underline{\mu} = v'_I \left(p_\mu - C'_{\underline{\mu}} \right) d\underline{\mu} > 0,$$

en vertu de (2.5) où $\lambda_{\underline{\mu}} = C'_{\underline{\mu}}$. En appliquant le théorème de l'enveloppe sur le lagrangien $\bar{\mathcal{L}}$ du problème (2.10), on obtient le coût marginal de la norme pour le consommateur :

$$v'_{\underline{\mu}} = -v'_I C'_{\underline{\mu}} \leq 0.$$

D'où :

$$v''_{\underline{\mu}I} = -v''_{II} C'_{\underline{\mu}},$$

car C est indépendant de I. On a donc :

$$\frac{\partial \left(\frac{d\tilde{v}}{dI} \right)}{\partial I} = -v'_I C''_{\underline{\mu}\underline{\mu}} < 0,$$

car $C''_{\underline{\mu}\underline{\mu}} > 0$.

— Cas 2 : $I_{\underline{\mu}^0} < I \leq I_{\underline{\mu}^1}$

De la même façon,

$$dv = v'_I p_\mu d\mu(I) + v'_{\underline{\mu}} d\underline{\mu},$$

en vertu de (2.5) où $\lambda_{\underline{\mu}} = C'_{\underline{\mu}}$. Comme le consommateur n'était pas contraint en $\underline{\mu}^0$, on a $v'_{\underline{\mu}} \left(p_\mu, p_e, p_x, I, \underline{\mu}^0 \right) = 0$ d'où :

$$dv = v'_I p_\mu d\mu(I) > 0,$$

et

$$\frac{\partial \left(\frac{d\tilde{v}}{dI} \right)}{\partial I} = -v'_I p_\mu \mu'_I < 0,$$

car μ est un bien normal.

— Cas 3 : $I_{\underline{\mu}^1} \leq I$

On obtient : $dv = -t_I v'_I I < 0$, de sorte que $\frac{\partial \left(\frac{d\tilde{v}}{I} \right)}{\partial I} = 0$.

Donc, la politique n'est ni progressive ni régressive pour les consommateurs qui utilisent de l'équipement dont l'efficacité excède la nouvelle norme.

■