Tarif progressif, efficience et équité

2. Redistribution et distorsions tarifaires

Claude Crampes et Jean-Marie Lozachmeur

novembre 2012

Résumé

L'objet de ce chapitre est de déterminer les caractéristiques d'une politique tarifaire equitable pour l'électricité, conditionnelle à l'information dont dispose l'autorité publique sur les revenus et/ou l'équipement domestique des ménages. Pour cela, nous construisons un modèle de demande dans lequel l'utilité de chaque ménage dépend de sa consommation d'électricité, de ses équipements électriques domestiques et de la consommation agrégée de tous les autres

biens. Les kilowatt-heures achetés se combinent avec les équipements électriques pour produire un "service énergie" (chauffage, cuisson ou eau chaude sanitaire). Quand l'autorité connait parfaitement les revenus et les équipements, la redistribution se fait exclusivement par des transferts forfaitaires, par exemple en jouant sur la partie fixe d'un tarif binôme, sans distorsion du prix du kWh. En revanche, face à une asymétrie d'information, il est optimal de compléter les transferts forfaitaires par une modification du prix du kWh. Si l'hétérogénéité des ménages est essentiellement due à leur revenu, il faut ajouter une taxe au prix du kWh facturé aux ménages pauvres sans taxer le prix facturé aux ménages riches et compenser partiellement cette hausse par un transfert de revenu des riches vers les pauvres. A l'inverse, si l'hétérogénéité des ménages est essentiellement due à leur équipement, il faut réduire le prix du kWh facturé aux ménages mal équipés sans toucher à celui facturé aux ménages bien équipés et compléter cette baisse par un transfert de revenu des ménages bien dotés vers les autres. Lorsque les ménages peuvent augmenter de façon observable leur équipement de consommation d'électricité mais que l'équipement initial reste non observable, il faut distordre à la fois le prix du kWh et le prix des équipements pour les ménages pauvres dans un sens favorable aux achats d'équipement.

1 Introduction

Le modèle de demande d'électricité que nous avons utilisé dans la première partie de ce rapport présente l'avantage de la simplicité, mais il a l'inconvénient d'agréger dans un indicateur unique exogène, baptisé disposition à payer pour l'électricité, un ensemble de paramètres qu'il faut distinguer pour asseoir une politique de redistribution équitable. En effet, une disposition à payer élevée n'est pas nécessairement révélatrice de la richesse d'un consommateur. Un ménage pauvre aura aussi une disposition à payer pour l'électricité élevée s'il est équipé de telle façon que seule une quantité importante d'électricité répond à ses besoins, notamment pour le chauffage. Il est donc clair que ce n'est pas en faisant payer plus cher les gros volumes consommés qu'on atteindra toujours plus d'équité.

L'approche suivie dans ce chapitre est résolument normative. Comment une autorité qui cherche à maximiser le bien être collectif doit-elle facturer l'électricité quand la population est composée de ménages hétérogènes en termes de revenu et en termes des équipements domestiques servant à transformer l'électricité en service ? Nous n'imposons aucune structure tarifaire, en particulier aucune obligation de progressivité. La seule restriction est informationnelle : un tarif ne peut être assis que sur des quantités économiques observables. Les résultats diffèrent donc selon que l'autorité en charge de la tarification connait ou ne connait pas le revenu des consommateurs et/ou l'équipement installé sur le lieu de consommation.[1] En revanche, la quantité d'électricité consommée peut

[1] Nous ne discutons pas ici de la dimension légale du problème. Connaitre les caractéris-

toujours figurer dans le tarif puisque les logements sont équipés d'un compteur. Dans une extension du modèle, nous étudions aussi le cas dans lequel les achats de nouveaux équipements de consommation sont observables par l'autorité[2] et peuvent donc être inclus dans l'assiette du tarif.

Dans la section 2, nous commençons par construire un modèle dans lequel l'utilité de chaque ménage dépend de sa consommation d'électricité, de ses équipements électriques domestiques et de sa consommation agrégée de tous les autres biens. Les kilowatt-heures consommés se combinent avec les équipements électriques pour produire un service tel que le chauffage, la cuisson ou l'eau chaude sanitaire. Dans ce cadre où l'énergie électrique n'est pas un bien de consommation finale, seulement un bien de consommation intermédiaire, nous étudions d'abord les propriétés de la disposition à payer pour l'électricité. Un premier lemme démontre que la disposition à payer pour l'électricité est une fonction croissante du revenu. Le second établit que la disposition à payer pour l'électricité est une fonction décroissante (resp. croissante) de l'équipement ménager si le coefficient de saturation des besoins est supérieur (resp. inférieur) au coefficient de complémentarité technique entre l'équipement et l'électricité dans la production de service énergétique. Nous montrons enfin que dans ce cadre où l'électricité est un bien de consommation intermédiaire, comme il existe une corrélation positive statistique entre équipement domestique et revenu, il n'est

tiques socio-professionnelles des consommateurs ne signifie pas qu'elles sont utilisables pour fixer les prix. Souvent la discrimination tarifaire est interdite, même aux autorités publiques, au nom de l'égalité des citoyens.

[2] Par exemple parce que les vendeurs d'équipement sont obligés d'informer l'autorité sur l'identité de leurs clients et la nature de leurs achats.

pas certain que la demande d'électricité augmente avec le revenu.

La section 3 est consacrée à l'étude des politiques de redistribution optimales entre deux types de ménages, l'un ayant un revenu et/ou un équipement de consommation plus élevés que l'autre. On démontre d'abord que, si l'autorité dispose de toutes les informations sur le revenu et l'équipment domestique de chaque ménage, la politique optimale consiste à redistribuer les revenus de façon à égaliser la consommation de numéraire des deux types de ménages, et en aucun cas à distordre le prix du kWh. On considère ensuite le cas dans lequel l'autorité est handicapée par un biais informationnel sur le revenu et/ou sur l'équipement domestique. A partir des résultats de la théorie des incitations, on sait bien que l'opportunisme des ménages à haut revenu empêche la réalisation de la politique de premier rang et qu'il faut donc introduire une distorsion tarifaire.[3] Mais nous avons ici deux sources d'hétérogénéité entre ménages, le revenu et l'équipement. Dans la section 3.2, nous démontrons successivement que *i*) si l'hétérogénéité des ménages n'est due qu'à leur revenu, il faut ajouter une taxe au prix du kWh facturé aux ménages pauvres sans taxer le prix facturé aux ménages riches et compenser partiellement cette hausse par un transfert de revenu des riches vers les pauvres ; *ii*) si l'hétérogénéité des ménages n'est due qu'à leur équipement, il faut réduire le prix du kWh facturé aux ménages mal équipés sans toucher à celui facturé aux ménages bien équipés et compléter la baisse par un transfert de revenu des ménages bien équipés vers les autres. Dans le cas d'une double hétérogénéité (section 3.3.3), nous montrons par des simulations numériques que

[3] Voir par exemple Laffont et Martimort (2001).

les résultats précédents se conservent selon que c'est l'hétérogénéité en termes de revenu ou l'hétérogénéité des équipements qui domine. Dans la section 4, nous étudions le cas dans lequel les ménages peuvent augmenter de façon observable leur équipement de consommation d'électricité mais l'équipement initial reste non observable. Il faut alors distordre à la fois le prix du kWh et le prix des équipements pour les ménages pauvres, la distorsion restant toujours en faveur des acquisitions d'équipement.

2 Modèle de demande

Pour obtenir une fonction décrivant la disposition à payer pour l'électricité de chaque type de ménage, nous utilisons une fonction d'utilité permettant d'analyser la substituabilité entre service énergétique et les biens autres que l'électricité. Cette approche permet de mettre en lumière l'importance des équipements installés sur le lieu de consommation. La sous-section 2.1 expose les hypothèses du modèle. La sous-section 2.2. étudie les propriétés de la fonction de disposition à payer pour l'électricité, notamment ses variations avec le revenu et l'équipement du lieu de consommation. La sous-section 2.3 résout le problème d'optimisation du consommateur individuel.

2.1 Hypothèses et notations

L'utilité est une fonction croissante de la consommation de services énergétiques s et de la consommation de tous les autres biens représentés par l'agrégat x. Les services énergétiques sont produits par la fonction

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

dans laquelle e est la consommation de kWh électriques et ϕ mesure la puissance d'un équipement nécessaire à la transformation de l'électricité en service (par exemple un radiateur électrique pour créer de la chaleur grâce aux kWh achetés) ou les caractéristiques techniques du lieu de consommation (par exemple l'efficacité énergétique du logement). Nous supposons que les services énergétiques produits sont croissants en e et ϕ, soit $f_e, f_\phi > 0$. Donc, à service énergétique inchangé ($ds = 0$), on a $d\phi/de = -f_e/f_\phi < 0$: une meilleure isolation (ϕ élevé) permet de maintenir une température s en réduisant la consommation d'électricité (e faible).[4] Nous supposons également que $f_{ee} < 0, f_{\phi\phi} < 0$ et $f_{e\phi} \geq 0$. L'hypothèse de rendements décroissants des deux inputs énergétiques est introduite par souci de simplification. En réalité, pour ϕ, il faut s'attendre à des discontinuités avec rendements croissants au franchissement des seuils. Le signe de la dérivée croisée caractérise un forme de synergie entre les deux inputs énergétiques : $\partial f_e/\partial\phi = \partial f_\phi/\partial e \geq 0$.

L'économie est composée de deux types d'agents. Chaque type est représenté par un vecteur $\left(I^i, \phi^i\right)$, avec $i = H(igh), L(ow)$, où I^i est le revenu supposé exogène de l'agent i et $I^H > I^L$. En ce qui concerne l'équipement du foyer ϕ^i, on observe satistiquement que $\phi^H > \phi^L$: les ménages disposant de revenus élevés

[4] Le modèle ne rend pas compte des complémentarités strictes entre équipements électroménagers et consommation d'électricité : acquérir un réfrigérateur induit naturellement une demande plus élevée d'énergie. Dans notre approche, la variable ϕ doit s'interpréter comme un indicateur de qualité : remplacer un vieux réfrigérateur par un réfrigérateur de classe A permet de réduire les kWh consommés.

vivent dans des logements mieux isolés et/ou utilisent des équipements électriques plus efficaces en moyenne.[5] Mais, à court terme, ϕ est un paramètre du patrimoine du ménage et il n'est donc pas parfaitement corrélé avec le paramètre I qui est un flux. Nous serons donc amenés à examiner la possibilité qu'un revenu plus élevé ne signifie pas nécessairement un équipement plus performant.

En représentant par x la quantité agrégée de tous les biens autres que le service énergétique, l'utilité de l'agent i s'écrit :

$$U^i \equiv U\left(x^i, s^i\right) \equiv U\left(x^i, f\left(e^i, \phi^i\right)\right).$$

Cette écriture de l'utilité de i contient deux hypothèses simplificatrices telles que l'hétérogénéité des ménages ne peut venir que du revenu I^i ou de l'équipement ϕ^i. On voit en effet que :

(i) la structure des préférences est la même pour les individus de types H et L (la fonction $U(.,.)$ n'est pas indicée par i).

(ii) la technologie transformant les inputs énergétiques en services est la même pour les individus de types H et L (la fonction $f(.,.)$ n'est pas indicée par i).

Ces deux hypothèses permettent de dériver directement des résultats quantitatifs simples à partir des conditions de premier ordre caractérisant la solution des problèmes d'optimisation.

[5] "Presque tous les ménages disposent du confort sanitaire de base. Les ménages à bas revenus ou résidant dans des logements anciens ont de moins bonnes conditions de logement que les autres." (Ménard et Volat, 2012). Voir aussi Renard (2010).

Dans la suite de notre analyse, nous faisons aussi l'hypothèse que l'utilité est une fonction séparable entre x et s, c'est à dire $U_{xs} = 0$ et que U est croissante et concave en x et s. Afin d'illustrer certains résultats, nous serons amenés à utiliser les spécifications suivantes :

Exemple 1 *La fonction d'utilité est donnée par*

$$U(x, s) = v(x) + \beta \frac{1}{1 - \sigma} s^{1-\sigma}$$

où $\beta > 0$. Le paramètre $\sigma \in [0, \infty]$ mesure le degré de concavité de la fonction d'utilité par rapport à s et $v(x)$ est une fonction croissante et concave.

Exemple 2 *Le service rendu s est donné par la fonction CES*

$$f(e, \phi) = [ae^r + (1 - a)\phi^r]^{1/r}$$

où $r \in [0, 1]$ et $\eta = 1/(1 - r)$ mesure l'élasticité de substitution entre e et ϕ dans la production du service rendu.

2.2 Disposition à payer pour l'électricité

Avant de procéder à l'analyse normative consistant à redistribuer les revenus et/ou distordre les prix, il est utile d'analyser les propriétés des courbes d'indifférence dans le plan (x, e). Le taux marginal de substitution entre x et e (dénoté MRS_{xe} ci après) mesure combien un consommateur est prêt à donner de bien numéraire x pour obtenir de l'électricité e à niveau d'utilité inchangé.

C'est donc la disposition marginale à payer pour le bien électricité exprimée en termes de bien x. Formellement, on a :[6]

$$MRS_{xe} \stackrel{def}{=} -\left.\frac{dx}{de}\right|_{dU=0} = \frac{f_e U_s}{U_x}.$$

La valeur de cette disposition à payer dépend du revenu et de l'équipement du foyer de chaque type de ménage. Avec des utilités marginales strictement positives, chaque ménage dépense tout son revenu : $I = x + p_e e$ où p_e est le prix du kWh. On peut donc écrire :

$$U(x,s) = U(I - p_e e, f(e,\phi))$$

Les lemmes suivants comparent les taux marginaux de substitution des deux types d'agent, d'abord pour des revenus I différents, puis pour des technologies ϕ différentes. Les effets d'une variation de I et de ϕ sont traités d'abord séparément, puis nous discutons du cas dans lequel les deux paramètres sont corrélés positivement.

Lemme 1 *MRS_{xe} est croissant en I.*

Preuve. Partant de

$$MRS_{xe} = f_e \frac{U_s(I - p_e e, f(e,\phi))}{U_x(I - p_e e, f(e,\phi))}$$

[6] Dans le modèle simplifié de la première partie, on avait $U(x,e) = x + S(e)$ et donc $MRS_{xe} = -\left.\frac{dx}{de}\right|_{dU=0} = S'(e)$.

et en utilisant l'hypothèse $U_{xs} = 0$, on obtient

$$\frac{\partial MRS_{xe}}{\partial I} = -f_e \frac{U_s U_{xx}}{U_x^2}$$

d'où

$$\frac{\partial MRS_{xe}}{\partial I} > 0.$$

■

La Figure 1 illustre le Lemme 1. Elle représente les courbes d'indifférence des deux types d'individus dans le plan $(e, I - x)$ où $I - x$ représente le revenu disponible après réglement de tous les achats autres que l'électricité, à savoir la facture totale d'électricité que le ménage est disposé à payer. L'utilité nette d'un agent augmente donc quand on se déplace du nord-ouest vers le sud-est. D'après le Lemme, en n'importe quel point où une courbe d'indifférence de l'individu H croise une courbe de l'individu L (donc à consommation d'électricité égale), la pente de la courbe de H (sa disposition à payer pour e) est plus forte que celle du type L.

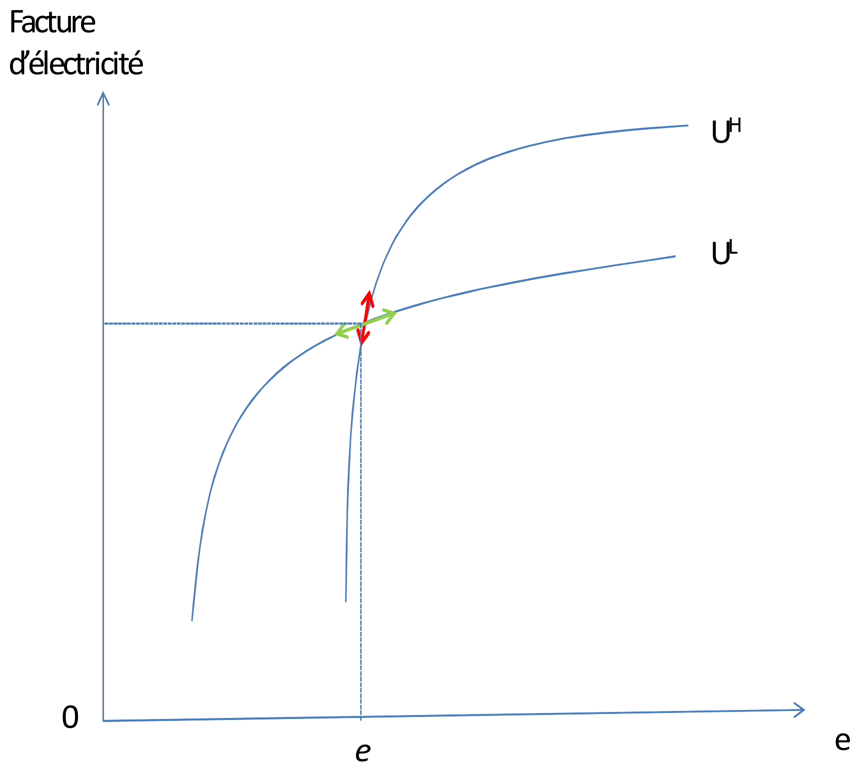

Figure 1 : Courbes d'indifférence pour des revenus différents

Le fait que, à équipement donné, la disposition à payer l'électricité augmente avec le revenu est un résultat suffisamment intuitif pour qu'il ne soit pas nécessaire de trop argumenter. Cependant, on notera que l'obtention de ce résultat est facilitée par l'hypothèse de séparabilité $U_{xs} \equiv 0$. Il serait renforcée si $U_{xs} > 0$. A contrario, on ne peut pas exclure que si $U_{xs} << 0$ pour certains ménages, leur disposition à payer les kWh diminue quand le revenu augmente. Pour que l'électricité soit un bien inférieur il faut donc qu'il y ait dans la structure des préférences une forme de conflit entre la consommation d'énergie et la consommation de biens hors énergie, ce que nous excluons de notre analyse.

Lemme 2 *MRS_{xe} est non croissant (croissant) en ϕ ssi $f_{e\phi}/f_e f_\phi \leq (>) -U_{ss}/U_s$.*

Preuve.

$$\frac{\partial MRS_{xe}}{\partial \phi} = f_{e\phi}\frac{U_s}{U_x} + f_e f_\phi \frac{U_{ss}}{U_x}$$

donc $\partial MRS_{xe}/\partial\phi \leq 0$ ssi

$$\frac{f_{e\phi}}{f_e f_\phi} \leq -\frac{U_{ss}}{U_s} \tag{1}$$

■

L'impact d'une meilleure technologie de consommation ϕ sur la disposition marginale à payer pour l'électricité est ambigu car il est la somme de deux effets de signe contraire. Le premier effet d'une meilleure technologie $f_{e\phi}U_s/U_x \geq 0$, est d'accroître la productivité marginale de l'électricité pour le service rendu, avec pour conséquence d'augenter la disposition à payer pour l'électricité. Cet effet est d'autant plus fort que les deux inputs sont de bons compléments dans la production de services énergétiques : $f_{e\phi} >> 0$. Le deuxième effet $f_e f_\phi U_{ss}/U_x < 0$ est une baisse de l'utilité marginale de la consommation d'électricité via une hausse du service rendu, ce qui réduit la disposition à payer des kWh supplémentaires.

Pour une forte substituabilité entre les deux facteurs ($f_{e\phi}$ petit) et un fort degré de concavité de la fonction d'utilité en s, le premier effet sera dominé par le second et la disposition marginale à payer sera fonction non croissante de ϕ. C'est le cas illustré dans la figure 2. En n'importe quel point où les courbes d'indifférence de l'agent H et de l'agent L se croisent, la pente de la courbe représentant la disposition marginale à payer les kWh du ménage H est plus faible que celle du ménage L.

Une façon plus pragmatique de lire les deux effets antagoniques d'une variation de ϕ est la suivante. Le coefficient $-\frac{U_{ss}}{U_s} > 0$ peut s'interpréter comme une mesure de la saturation des besoins en services énergétiques et $f_{e\phi}/f_e f_\phi$ comme une mesure de la complémentarité technique entre électricité et équipement dans la production de services énergétiques sur le lieu de consommation. La condition (1) signifie donc que si le coefficient de saturation des besoins est supérieur au coefficient de complémentarité technique, le ménage est prêt à payer moins cher l'électricité quand son équipement domestique augmente car il satisfait déjà l'essentiel de ses besoins et l'amélioration de son équipement réduit sa dépendance à l'électricité.

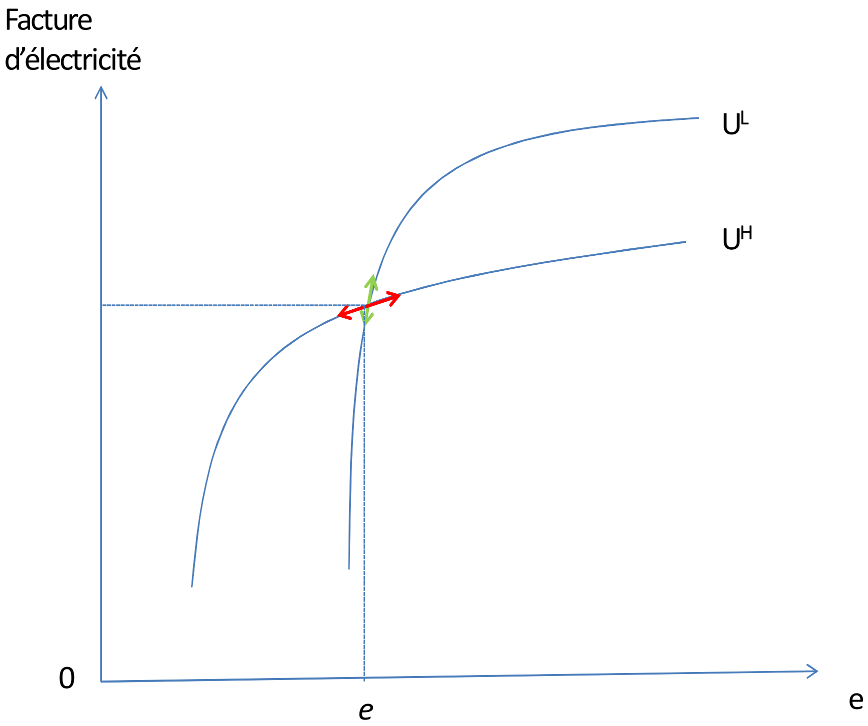

Figure 2 : Courbes d'indifférence pour des technologies différentes

Dans le cadre des spécifications données par les exemples 1 et 2, on peut calculer que $f_{e\phi}/f_e f_\phi = 1/\eta s$ et $-U_{ss}/U_s = \sigma/s$. Donc le lemme 2 implique $dMRS_{xe}/d\phi \leq 0$ si et seulement si $1/\eta \leq \sigma$. Autrement dit, avec ces spécifications, MRS_{xe} est une fonction monotone de ϕ, soit croissante, soit non croissante. Pour des spécifications moins restrictives que celles des exemples 1 et 2, il est possible d'avoir une fonction $MRS_{xe}(\phi)$ en cloche ou en U selon que $-U_{ss}/U_s$ décroît avec s (donc avec ϕ) moins vite ou plus vite que $f_{e\phi}/f_e f_\phi$.

Enfin, plaçons-nous dans le cas où il existe une corrélation positive entre revenu et équipement du foyer. En notant $\phi_I \overset{def}{=} d\phi/dI > 0$ cette corrélation positive, on obtient

$$\frac{dMRS_{xe}}{dI} = \frac{\partial MRS_{xe}}{\partial I} + \frac{\partial MRS_{xe}}{\partial \phi}\phi_I$$

Par le Lemme 1 nous savons que le premier terme est positif et par le Lemme 2 que le second peut être positif ou négatif selon les poids relatifs du coefficient de saturation des besoins énergétiques et du coefficient de complémentarité des facteurs énergétiques. Donc dans une approche généralisée du problème de redistribution des revenus entre les ménages de type H et ceux de type L, on ne peut pas exclure que les ménages du groupe H aient une disposition à payer pour l'électricité plus faible que ceux du groupe L malgré le revenu plus élevé des premiers.

2.3 Demande individuelle d'électricité

Dans un système décentralisé, chaque agent choisit librement la quantité d'électricité e et la quantité des autres biens x qu'il souhaite consommer compte tenu de son revenu I, du prix unitaire de l'électricité p_e et de la technologie produisant le service énergétique $f(e, \phi)$, avec ϕ donné. Il résout donc le problème

$$\max_{x,e} U(x, f(e,\phi)) \qquad \text{sous la contrainte} \quad x + p_e e \leq I$$

En notant ν le multiplicateur de Lagrange associé à la contrainte budgétaire du ménage, les conditions du premier ordre donnent le système de trois équations

$$\begin{aligned} U_x\left(x, f\left(e,\phi\right)\right) - \nu &= 0 \\ f_e\left(e,\phi\right) U_s\left(x, f\left(e,\phi\right)\right) - \nu p_e &= 0 \\ I - x - p_e e &= 0 \end{aligned}$$

pour déterminer les trois inconnues ν, x, e en fonction des paramètres I, ϕ, p_e.

On peut facilement montrer avec ce modèle pourquoi la consommation d'électricité n'est pas nécessairement plus élevée chez les riches que chez les pauvres. Une variation dI du revenu provoque les changements[7]

$$\begin{aligned} U_{xx} dx - d\nu &= 0 \\ f_{ee} U_s de + f_{e\phi} U_s \phi_I dI + f_e^2 U_{ss} de + f_e f_\phi U_{ss} \phi_I dI - p_e d\nu &= 0 \\ dI - dx - p_e de &= 0 \end{aligned}$$

où $\phi_I > 0$ représente la corrélation positive entre revenu et équipement du logement.

En notant le déterminant complet du système par

$$\Delta = -\left(f_{ee} U_s + f_e^2 U_{ss} + p_e^2 U_{xx}\right) > 0$$

[7] Rappelons l'hypothèse $U_{xs} = 0$.

on obtient

$$\frac{de}{dI} = \frac{(f_e f_\phi U_{ss} + f_{e\phi} U_s)\phi_I - p_e U_{xx}}{\Delta} \tag{2}$$

dont le signe est celui du numérateur. Comme $U_{xx} < 0$ et $\phi_I > 0$, en nous basant sur le Lemme 2 nous pouvons écrire

Lemme 3 $\frac{f_{e\phi}}{f_e f_\phi} \geq -\frac{U_{ss}}{U_s}$ *est une condition suffisante mais non nécessaire pour que* $\frac{de}{dI} > 0$; $\frac{f_{e\phi}}{f_e f_\phi} < -\frac{U_{ss}}{U_s}$ *est une condition nécessaire mais non suffisante pour que* $\frac{de}{dI} < 0$.

Nous voyons qu'il est particulièrement difficile d'établir une relation claire entre le revenu et la consommation d'électricité dès lors que l'on prend en compte la corrélation positive entre revenu et équipement du ménage. Seules des enquêtes statistiques peuvent établir pour quelle catégorie de ménage et sous quelle latitude les caractéristiques techniques de l'équipement de conversion de l'électricité en service énergétique l'emportent sur le ressenti des besoins en services. Compte tenu du Lemme 3, il est plus probable que l'on observera plutôt une relation positive entre demande d'électricité et revenu mais on peut imaginer de nombreuses circonstances particulières conduisant à l'observation inverse pour certains groupes de consommateurs. La circonstance la plus évidente est le mode de chauffage installé. Si les logements sociaux sont équipés avec le chauffage électrique et les maisons individuelles avec le chauffage au gaz, les kWh électriques demandés n'augmentent pas avec le revenu.

3 Tarifs et redistribution

Nous utilisons le modèle de demande construit à la section précédente pour définir les règles de politique sociale que doit suivre un planificateur qui maximise le bien-être collectif sous la contrainte d'équilibrer financièrement les transferts entre groupes de ménages. Dans la première sous-section, nous supposons que le planificateur social est parfaitement informé sur les deux caractéristiques des ménages, à savoir leur revenu et leur équipement ménager. L'objectif d'équité est alors atteint uniquement par des transferts forfaitaires. Dans la sous-section 2, nous montrons comment l'impossibilité pour le planificateur d'observer ces caractéristiques le force à toucher au prix unitaire du kWh. Nous abordons successivement le cas où seuls les revenus diffèrent d'un ménage à l'autre, le cas où seuls les équipements diffèrent d'un ménage à l'autre, et finalement le cas où l'hétérogénéité est double.

3.1 Politique de premier rang

Nous déterminons d'abord les caractéristiques de l'allocation de premier rang, c'est à dire sans contrainte informationnelle, puis sa mise en oeuvre dans un cadre marchand.

3.1.1 Optimum collectif

Plaçons-nous dans le cadre d'une information parfaite de l'autorité (régulateur sectoriel, ministère ou agence de planification). Elle peut observer à la fois le revenu et l'efficacité énergétique de chaque individu. Nous supposons que le planificateur social est utilitariste (il maximise la somme des utilités des ménages, sans pondération) et qu'il est contraint financièrement (les redistributions de ressources entre H et L doivent s'autofinancer). On notera π^i la proportion d'agents de type i. On a donc $\pi^L + \pi^H = 1$. L'objectif du planificateur s'écrit :

$$\begin{aligned} &\max_{x^i, e^i} \sum_{i=\{L,H\}} \pi^i U\left(x^i, f\left(e^i, \phi^i\right)\right) \\ &\text{sous la contrainte} \quad \sum_i \pi^i \left(I^i - x^i - p_e e^i\right) \geq 0 \end{aligned}$$

Pour $i = \{L, H\}$, les conditions du premier ordre par rapport à x^i et e^i, sont respectivement :

$$U_x^i - \lambda = 0 \tag{3}$$

$$f_e^i U_s^i - \lambda p_e = 0. \tag{4}$$

où λ représente le multiplicateur de Lagrange associé à la contrainte budgétaire de l'autorité.

De ces deux équations, on déduit

$$U_x^H = U_x^L \tag{5}$$

$$MRS_{x,e}^i \stackrel{def}{=} \frac{f_e^i U_s^i}{U_x^i} = p_e \quad i = H, L \tag{6}$$

Etant donné la forme séparable de la fonction d'utilité et notre hypothèse de fonctions d'utilité et de transformation énergétique identiques pour les deux types de ménages, l'équation (5) implique que les consommations de bien numéraire doivent être égales pour les deux types d'individus. L'équation (6) indique quant à elle que les dispositions marginales à payer pour l'électricité doivent être rendues égales au prix du kWh pour les deux types d'individus.

3.1.2 Mise en oeuvre

Afin de décentraliser l'allocation de premier rang, le gouvernement peut recourir à des transferts (possiblement) non linéaires individuels :

$$T^i = T\left(e^i, I^i, \phi^i\right) \quad i = H, L$$

respectant la contrainte financière

$$\pi^H T^H + \pi^L T^L = 0 \tag{7}$$

Puisque $U_x > 0$, la contrainte budgétaire de chaque ménage est saturée. Alors, en remplaçant x^i par $I^i - p_e e^i - T^i$, le problème que chaque individu doit résoudre est :

$$\max_{e^i} U\left(I^i - p_e e^i - T^i, f\left(e^i, \phi^i\right)\right).$$

De la condition du premier ordre $\frac{dU}{de^i} = 0$, on tire

$$MRS_{xe}^i = p_e + T_e^i. \tag{8}$$

où $T_e^i \overset{def}{=} \partial T\left(e^i, I^i, \phi^i\right) / \partial e^i$.

En comparant l'équation (8) à l'équation (6), nous voyons que pour décentraliser l'optimum de premier rang il faut que $T_e^i = 0$ pour $i = H, L$, donc il faut un système de transfert qui ne distorde pas le prix de l'électricité : tous les acheteurs doivent régler leurs achats d'électricité au prix du marché p_e.

Pour ce qui est du prix, les ménages sont donc placés face au même choix que dans l'équilibre de laissez-faire présenté à la sous-section (2.3), c'est à dire quand il n'y a pas intervention d'un planificateur social. Mais le planificateur doit satisfaire la contrainte de redistribution (5) . On a donc besoin de transferts forfaitaires (*i.e.* qui ne distordent pas le prix du kWh) permettant d'égaliser les consommations en numéraire des deux types d'individus, soit

$$I^H - p_e e^H - T^H = I^L - p_e e^L - T^L$$

Cette égalité combinée avec la contrainte budgétaire du régulateur (7) donne

$$T^L = \pi^H \left(I^L - I^H + p_e \left(e^H - e^L\right)\right) \tag{9}$$

$$T^H = \pi^L \left(I^H - I^L - p_e \left(e^H - e^L\right)\right) \tag{10}$$

On voit que le signe et la valeur des transferts à réaliser dépendent de l'écart entre revenus mais aussi de l'écart entre factures d'électricité, lesquelles dépendent des équipements ϕ^i. Laissons provisoirement de côté la relation statistique $\phi_I > 0$.

* A technologie identique $\phi^H = \phi^L$, tout le monde consommera le même montant d'électricité puisque les préférences d'une part et les technologies d'autre

part sont les mêmes. On voit donc que, d'après (9) , $T^L = \pi^H \left(I^L - I^H\right) < 0$: chaque ménage de type L doit recevoir un revenu supplémentaire dont la valeur augmente avec la proportion de ménages de type H. Ces transferts sont payés par les individus de type H, chacun étant d'autant plus mis à contribution qu'il y a de ménages de type L à aider.

* A revenus égaux $I^L = I^H$, le transfert de L est donné par $T^L = \pi^H p_e \left(e^H - e^L\right)$. On a donc $T_L < 0$ si et seulement si $de/d\phi|_{x^H = x^L} < 0$, c'est à dire si et seulement si $f_{e\phi}/f_e f_\phi < -U_{ss}/U_s$. Si $f_{e\phi}/f_e f_\phi > -U_{ss}/U_s$ il faudrait au contraire une redistribution des revenus du type L vers le type H. Ce résultat, établi pour $I^L = I^H$, reste vrai, par continuité, pour I^L légèrement plus petit que I^H. Même si cette situation est probablement peu fréquente, les spécificités de l'électricité (produit intermédiaire à combiner avec un équipement) font qu'il n'est pas exclu de trouver des circonstances dans lesquelles la politique optimale commande de prendre aux bas revenus pour donner aux hauts revenus, la différence entre hauts et bas revenus étant petite.

Pour limiter le nombre de cas à examiner, nous nous en tiendrons à

$$f_{e\phi}/f_e f_\phi < -U_{ss}/U_s \tag{11}$$

Sous cette condition, à l'optimum de premier rang les ménages dont l'équipement installé est ϕ^H subissent un prélèvement forfaitaire qui est redistribué aux ménages dont l'équipement est $\phi^L < \phi^H$.

La figure 3 illustre comment cet optimum peut être décentralisé au moyen d'un tarif binôme dont on ne modifie que la partie fixe. Sans intervention publique, la facture est donnée par la formule $A + p_e e$ où la partie fixe A et la partie variable p_e sont les mêmes pour tous les consommateurs. Pour redistribuer, on ajoute un impôt forfaitaire T^H à l'abonnement A payé par l'individu H et une subvention forfaitaire T^L à l'abonnement A payé par l'individu de type L. On voit ainsi qu'à l'optimum de premier rang (variables indicées PR), la consommation d'électricité et le niveau d'utilité des agents de type L sont supérieurs à ceux du cas où il n'y a pas d'intervention publique (variables indicées LF). Cette redistribution se fait au détriment des agents de type H dont la consommation d'électricité et le niveau d'utilité sont moindres que si $T^H = 0$.

Les résultats peuvent être résumés par :

Proposition 1 *En information parfaite, la mise en oeuvre de l'optimum de premier rang est réalisée par une réallocation des revenus : impôt $T^H > 0$ pour H et aide $T^L < 0$ pour L. Le prix du kWh payé par les deux types de ménage doit être le prix de marché.*

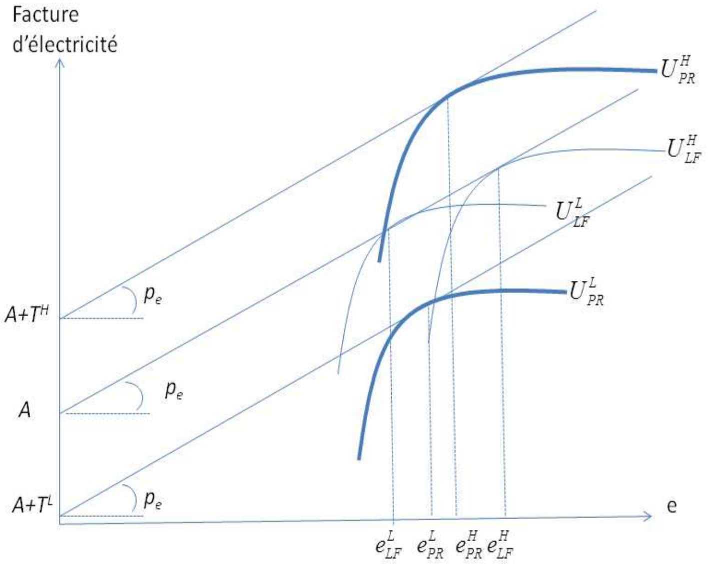

Figure 3. Mise en oeuvre de l'optimum de premier rang.

3.2 Second rang

Grâce aux compteurs installés dans les résidences, la consommation d'électricité e est vérifiable, donc contractualisable. En revanche, pour des raisons techniques et légales, l'autorité ne connait parfaitement ni les revenus I^i ni la technologie ϕ^i des ménages $i = L, H$. Dans ces conditions, il est facile de vérifier que l'optimum de premier rang n'est plus décentralisable. En effet, si on proposait aux ménages de choisir entre les contrats $\left(e^H, T^H\right)$ et $\left(e^L, T^L\right)$ où, sous la condition (11), $T^H > 0$ et $T^L < 0$ sont respectivement donnés par (9) et (10), le ménage de type H (caractérisé par I^H et ϕ^H) aurait intérêt à se faire passer pour un ménage de type L (caractérisé par I^L et ϕ^L). Pour éviter ce comportement opportuniste de H, la redistribution doit être limitée par la contrainte d'incitation suivante :

$$U\left(I^H - T^H - p_e e^H, f\left(e^H, \phi^H\right)\right) \geq U\left(I^H - T^L - p_e e^L, f\left(e^L, \phi^H\right)\right) \quad (12)$$

Le problème du gouvernement s'écrit alors :

$$\begin{array}{l} \max\limits_{T^i, e^i} \sum\limits_i \pi^i U\left(I^i - T^i - p_e e^i, f\left(e^i, \phi^i\right)\right) \\ \text{sous les contraintes (12) et } \sum\limits_i \pi^i T^i \geq 0. \end{array}$$

Notons $f^{HL} \stackrel{def}{=} f\left(e^L, \phi^H\right)$ le service énergétique dont bénéficie le type H s'il consomme la quantité d'électricité e^L et $U^{HL} \stackrel{def}{=} U\left(I^H - T^L - p_e e^L, f^{HL}\right)$ l'utilité qu'il en retire alors qu'il reçoit $\left|T^L\right|$. En notant μ et λ les multiplicateurs de Lagrange respectivement associés à la contrainte d'incitation et à la contrainte de ressource, les conditions du premier ordre par rapport à T^i et e^i sont respectivement données par :

$$T^H \quad : \quad -\left(\pi^H + \mu\right) U_x^H + \lambda \pi^H = 0, \quad (13)$$

$$T^L \quad : \quad -\pi^L U_x^L + \mu U_x^{HL} + \lambda \pi^L = 0, \quad (14)$$

$$e^H \quad : \quad -\left(\pi^H + \mu\right)\left(p_e U_x^H - f_e^H U_s^H\right) = 0, \quad (15)$$

$$e^L \quad : \quad p_e\left(\mu U_x^{HL} - \pi^L U_x^L\right) + \pi^L f_e^L U_s^L - \mu f_e^{HL} U_s^{HL} = 0. \quad (16)$$

Considérons d'abord la politique de redistribution des revenus. En réarrangeant (13) et (14), on obtient

$$\begin{aligned} U_x^H &= \lambda \frac{\pi^H}{(\pi^H + \mu)}, \\ U_x^L &= \lambda + \frac{\mu U_x^{HL}}{\pi^L}, \end{aligned}$$

donc

$$U_x^L > \lambda > U_x^H.$$

Par la concavité de la fonction d'utilité, on en déduit que $x^L < x^H$. Il y a donc moins de redistribution qu'à l'optimum de premier rang où nous avions $x_L = x_H$.

Examinons maintenant les consommations d'électricité socialement optimales au second rang. On voit qu'il n'y a pas de distorsion pour l'individu H puisque, en simplifiant la condition (15) , on retrouve la condition de premier rang (6). En revanche, on peut réécrire (16) sous la forme

$$-\pi^L U_x^L \left(p_e - MRS_{xe}^L\right) + \mu U_x^{HL} \left(p_e - MRS_{xe}^{HL}\right) = 0,$$

ce qui donne

$$MRS_{xe}^L = p_e + \frac{\mu U_x^L}{\pi^L U_x^L} \left(MRS_{xe}^{HL} - p_e\right),$$

ou en utilisant (14),

$$MRS_{xe}^{L} = p_e + \left(1 - \frac{\lambda}{U_x^L}\right)\left(MRS_{xe}^{HL} - p_e\right), \tag{17}$$

où $1 > 1 - \lambda/U_x^L > 0$.[8]

En résumé, si le gouvernement ne peut pas distinguer les ménages selon leur niveau de revenu I^i et d'efficacité énergétique ϕ^i, il ne peut pas proposer les contrats $\left(e^H, T^H\right)$ et $\left(e^L, T^L\right)$ de premier rang. Comme le montre la relation (17), les contrats proposés au second rang impliquent de manière générale une distorsion pour les individus de type L puisqu'il n'y a plus égalité entre la disposition à payer l'électricité MRS_{xe}^{L} et le prix du kWh p_e.

Pour comprendre le sens de cette distorsion, nous allons considerer le cas où les ménages se distinguent uniquement par leur revenu (section 3.2.1), puis uniquement par leur technologie (section 3.2.2). Nous traiterons enfin le cas de la double hétérogénéité dans la section 3.2.3.

3.2.1 Hétérogénéité des revenus

Plaçons-nous dans la situation où la seule différence entre ménages vient du revenu, c'est à dire $\phi^H = \phi^L$ et $I^H > I^L$. Alors, d'après le lemme 1,

$$MRS_{xe}^{HL} > MRS_{xe}^{L} \tag{18}$$

[8] De $U_x^L > \lambda > U_x^H$, on tire facilement $1 - \lambda/U_x^L > 0$

D'après (17), nous avons $\left(MRS_{xe}^{L} - p_e\right) / \left(MRS_{xe}^{HL} - p_e\right) < 1$. Donc si $MRS_{xe}^{HL} - p_e < 0$, on obtient $MRS_{xe}^{HL} < MRS_{xe}^{L}$ en contradiction avec (18). Donc au point solution, on a $MRS_{xe}^{L} > p_e$. Comme la désirabilité marginale MRS_{xe}^{L} est décroissante en e, cela signifie que, à l'optimum de second rang contraint par la non-verifiabilité des revenus des deux types de ménages, le ménage de type L doit consommer moins d'électricité que la quantité qui égalise sa disposition à payer au prix comme au premier rang. Pour mettre en oeuvre ce résultat, il faut décourager la consommation de e par l'individu L, donc introduire pour lui une taxe à l'unité $T_e^L > 0$. Ainsi, le prix marginal de e est supérieur au prix de marché au point de consommation des agents de type L.

Ce résultat vient de la disposition marginale à payer des individus de type H qui est plus élevée que celle des ménages de type L. Alors, partant de l'arbitrage de premier rang dans lequel il n'y a aucune distorsion, une réduction de la consommation d'électricité $de^L < 0$ combinée à une augmentation de la consommation des autres biens $dx^L > 0$ n'a pas d'effet de premier ordre sur l'utilité des agents de type L si $dx^L = -MRS_{xe}^{L} de^L > 0$. Mais elle réduit l'utilité de l'agent de type H qui voudrait choisir le contrat qui ne lui est pas destiné. La figure 4 illustre la façon de décentraliser l'optimum contraint par l'asymétrie d'information sur le revenu, au moyen de taxes et subventions forfaitaires combinées à un prix du kWh décroissant avec le volume consommé.

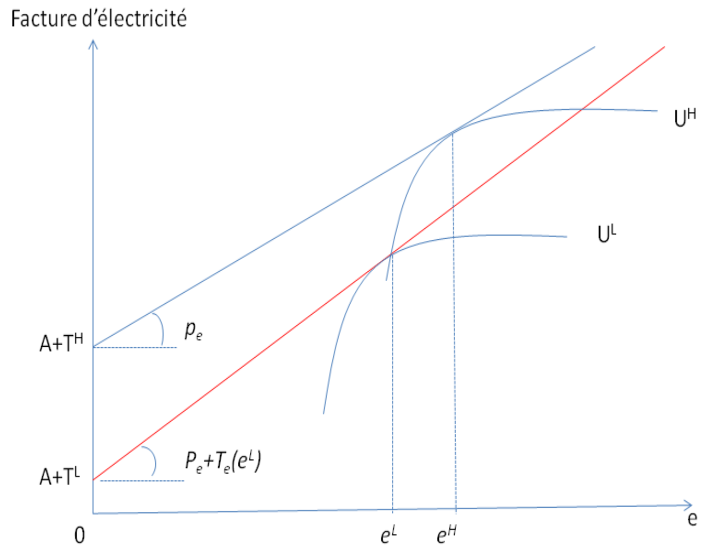

Figure 4 : Mise en oeuvre de la politique de second rang pour des revenus hétérogènes.

En résumé,

Proposition 2 *Quand l'autorité n'observe pas parfaitement les revenus et que les technologies sont identiques, le contrat destiné au ménage H consiste à lui faire payer l'électricité au prix du marché p_e et à ponctionner une partie de ses revenus $T^H > 0$. Le contrat destiné au ménage L se caractérise par un prix du kWh plus élevé que le prix de marché, $p_e + T_e^L > p_e$, partiellement compensé par un tranfert forfaitaire payé par les individus de type H.*

Notons que le transfert forfaitaire payé par H est plus faible que celui de premier rang car il faut laisser à H une rente informationnelle pour neutraliser son incitation à choisir le contrat conçu pour les ménages L.

3.2.2 Hétérogénéité des équipements

Supposons maintenant que la seule source d'asymétrie d'information soit l'hétérogénéité de la technologie installée sur le lieu de consommation, c'est à dire $\phi^H > \phi^L$ et $I^H = I^L$. Comme discuté précédemment, on ne traite pas ici le cas où $f_{e\phi}/f_e f_\phi > -U_{ss}/U_s$ puisqu'il impliquerait des transferts de premier rang tels que $T^H < 0$ et $T^L > 0$. Dans le cas où $f_{e\phi}/f_e f_\phi < -U_{ss}/U_s$, un raisonnement similaire à celui de la section précédente permet de conclure que $MRS^L_{xe} < p_e$. En effet, puisque la disposition marginale à payer pour l'électricité des ménages chez qui est installé un équipement électrique performant est plus faible que celle des ménages moins bien équipés, une distorsion de l'allocation encourageant la consommation d'électricité par les individus de type L permet de relâcher la contrainte d'incitation. Pour matérialiser cet encouragement, il faut donc subventionner le prix de l'électricité qu'ils consomment par $T^L_e < 0$.

La figure 5 illustre la mise en oeuvre des allocations du second rang dans ce cas. Les individus de type L sont incités à consommer plus d'électricité grâce à un prix subventionné alors que les individus de type H font face au prix de marché. Là encore, les individus de type L reçoivent un transfert forfaitaire payé par les individus de type H.

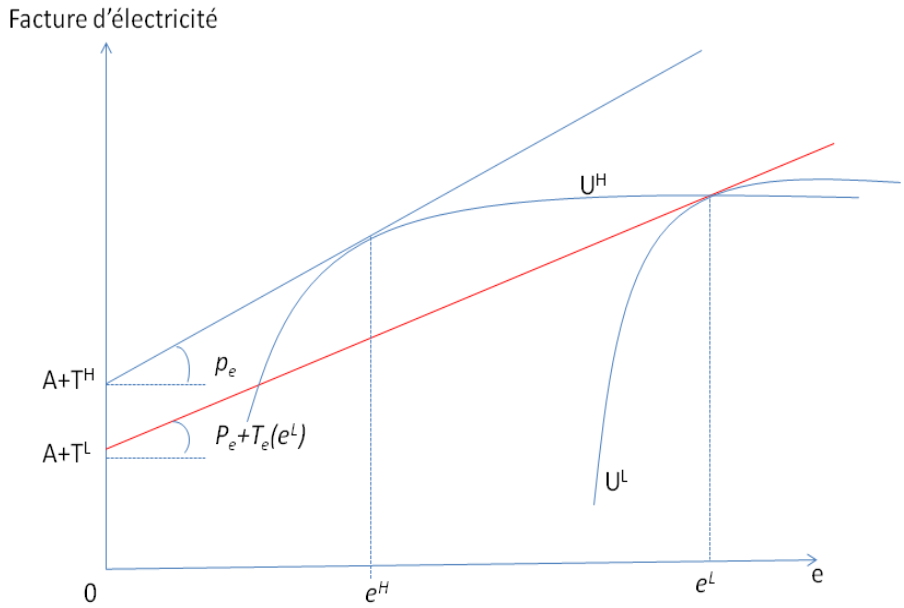

Figure 5 : Mise en oeuvre de l'optimum de second rang avec équipement hétérogène

Proposition 3 *Quand l'autorité n'observe pas les équipements des ménages et que les revenus sont identiques, le contrat destiné au ménage H consiste à lui faire payer l'électricité au prix du marché p_e et à prélever une partie de ses revenus $T^H > 0$. Le contrat destiné au ménage L se caractérise par un prix du kWh plus faible que le prix de marché, complété par un tranfert forfaitaire payé par les individus de type H.*

De fait, nous sommes dans la situation où le groupe L dispose d'un équipement moins performant que celui du groupe H, alors que leurs revenus sont identiques. La recherche d'une allocation équitable passe alors par une surconsommation d'électricité par le groupe L : on voit sur la Figure 5 que $e^H < e^L$, encouragé par le prix de détail $p_e + T_e^L < p_e$ réservé à L. Ce résultat n'est donc pas un argument en faveur du tarif progressif. Au contraire, ceux qui consomment le plus d'électricité paient le prix unitaire le plus faible ; ici, il s'agit du groupe L.

3.2.3 Double hétérogénéité

Quand les individus diffèrent à la fois par leur revenu et par la technologie de conversion des kWh en services énergétiques, comme ces deux variables sont corrélées positivement, les consommations et la redistribution optimales au second rang sont ambiguës. En effet, l'hétérogénéité des revenus plaide pour une distorsion vers le haut du prix de l'électricité pour les individus de type L et nous venons de voir que l'hétérogénéité des équipements conduit à une distorsion vers le bas de ce même prix sous la condition (11) . La politique tarifaire à mettre en place dépend donc de la source d'hétérogénité dominante :

quand le parc de logements est relativement homogène et que l'inégalité à corriger est surtout celle des revenus, il faut taxer l'électricité vendue à L et entièrement baser la recherche de l'équité sur des transferts forfaitaires ;

quand, au contraire, les revenus sont assez homogènes (parce qu'il existe déjà une politique fiscale très redistributive) mais que les ménages vivent dans des logements très hétérogènes, il faut combiner redistribution des revenus et rabais sur le prix de l'électricité vendue au groupe L.

Afin d'illustrer ces résultats, nous proposons deux simulations numériques basées sur les spécifications des exemples 1 et 2, en prenant $v(x) = \log(1+x)$ et $\beta = 1$. Le tableau 1 illustre le rôle de l'hétérogénéité en termes de technologie quand l'hétérogénéité entre les revenus est fixe (les individus de type H ont un revenu deux fois supérieur à celui des individus de type L). Les valeurs des paramètres sont fixées à : $I^H = 10$, $I^L = 5$, $\pi^H = 0.8$, $\pi^L = 0.2$, $a = 0.5$, $\sigma = 0.5$. On fait alors varier la différence entre les technologies de consommation dans le cas (i) où la disposition à payer l'électricité diminue avec ϕ (ce qui correspond à la condition (11)) et dans le cas (ii) où elle augmente. Le cas (i) est dans la partie gauche du tableau. On voit que lorsque l'écart $\phi^H - \phi^L$ augmente (le rapport entre les deux passant de 1 à 5), la distorsion (positive) sur le prix payé par les individus de type L baisse quasiment de moitié : T_e^L passe de 0.41 à 0.23. En d'autres termes, le sens de la distorsion ne change pas mais son importance dépend bien de la source d'hétérogénéité dominante. On peut voir aussi que le transfert forfaitaire vers les agents de type L baisse à mesure que l'hétérogénité en technologie augmente. Ceci est dû au fait que lorsque la différence entre les dispositions marginales à payer diminue, il devient plus coûteux de cibler chaque type. En conséquence, bâtir des contrats qui permettent de séparer les types de ménage par auto-sélection devient plus difficile et la redistribution des revenus est plus faible. Au contraire dans le cas (ii) qui apparait dans la partie droite du tableau, la distorsion augmente avec l'hétérogénéité des équipements puisque celle-ci plaide, dans le même sens que l'hétérogénéité en termes de revenus, en faveur d'une taxation de l'électricité payée par les ménages L. C'est aussi le cas des transferts monétaires puisqu'il devient de plus en plus aisé de cibler les individus.

	$\eta = 3.33$ (cas (i))			$\eta = 1.43$ (cas (ii))		
ϕ^H	2	4	10	2	4	10
ϕ^L	2	2	2	2	2	2
T^H	0.10	0.07	0.03	0.11	0.14	0.19
T^L	-0.41	-0.27	-0.12	-0.45	-0.58	-0.78
e^H	1.31	1.10	0.80	1.47	1.61	1.83
e^L	0.15	0.16	0.19	0.39	0.38	0.39
T_e^L	0.41	0.34	0.23	0.45	0.49	0.51

Tableau 1 : Exemple avec hétérogénéité fixe du revenu.

Le tableau 2 illustre le rôle de l'hétérogénéité en terme de revenu seulement dans le cas (i)[9], l'hétérogénéité en termes de technologie étant fixée. On utilise les paramètres suivants : $\phi^H = 10$, $\phi^L = 2$, $\pi^H = 0.8$, $\pi^L = 0.2$, $a = 0.5$ et $\sigma = 0.5$. Quand l'hétérogénéité des revenus est nulle ou faible (colonnes 1 et 2), le prix payé par les individus de type L doit être inférieur à celui du prix de marché ($T_e^L < 0$). Mais à mesure que l'hétérogénéité en termes de revenu augmente, la subvention du prix de l'électricité diminue puis devient une taxation quand le rapport entre les revenus est assez grand ($T_e^L > 0$ dans la colonne 3). On peut voir aussi que les tranferts sont non monotones dans la différence de revenu. Là encore, lorsque la différence de revenu augmente de 2

[9] i.e. quand la condition (11) est vérifiée.

unités, les dispositions marginales à payer pour l'électricité se rapprochent et il est difficile de séparer les individus, ce qui réduit la redistribution des revenus. Dans la cas où la différence de revenu est de 5, il est plus aisé de redistribuer puisque les dispositions marginales à payer sont plus hétérogènes.

	$\eta = 3.33$(cas (i))		
I^H	10	12	15
I^L	10	10	10
T^H	0.01	0.004	0.02
T^L	-0.05	-0.01	-0.08
e^H	0.80	1.23	2.03
e^L	1.37	1.35	1.20
T_e^L	-0.008	-0.005	0.06

Tableau 2 : Exemple avec hétérogénéité de technologie fixe.

Il semble difficile de donner des résultats plus précis dans le cadre du modèle simplifié utilisé jusqu'ici. Mais l'exercice de simulation numérique auquel nous venons de nous livrer montre bien que ce sont les transferts forfaitaires qui doivent servir d'outils essentiels à une politique équitable d'accès à l'électricité. On peut les accompagner de distorsions tarifaires, mais celles-ci ne vont jamais dans le sens d'un tarif progressif. Au contraire, la taxe ou la subvention ont toujours pour effet de faire payer un prix unitaire plus faible à celui des deux groupes qui consomme le plus.

4 Achats d'équipement

Il est admis par la plupart des analystes que les transferts et les manipulations de prix de l'énergie ne sont que des solutions de court terme aux difficultés des ménages pauvres. Réduire la consommation d'électricité sans réduire le service rendu est, au contraire, une solution pérenne. Mais elle passe par l'acquisition d'équipements électriques et par des dépenses en isolation des habitations qui ne sont pas supportables par le budget des ménages pauvres.

C'est ce problème que nous abordons maintenant en étudiant comment ajuster la politique tarifaire de l'énergie lorsque les ménages peuvent investir pour modifier la performance de leur équipement électrique ϕ. Nous étudions le cas où le gouvernment peut observer les dépenses individuelles destinées à accroitre ϕ. Cette observabilité permet de construire une tarification non linéaire basée à la fois sur la consommation d'électricité (mesurable au compteur) et la dépense d'amélioration de la technologie.

4.1 Disposition à payer pour l'équipement

Le ménage i a la possibilité de choisir un investissement ϕ'^i qui complète son équipement énergétique installé ϕ^i. Soit p_ϕ le prix unitaire d'acquisition de cet équipement. La fonction d'utilité de l'individu i est maintenant $U\left(x^i, f\left(e^i, \phi^i + \phi'^i\right)\right)$

avec $x_i = I^i - p_e e^i - p_\phi \phi'^i$. Les taux marginaux de substitution s'écrivent :

$$MRS_{xe} = -\left.\frac{dx}{de}\right|_{dU=0} = f_e \frac{U_s}{U_x} \tag{19}$$

$$MRS_{x\phi'} \overset{def}{=} -\left.\frac{dx}{d\phi'}\right|_{dU=0} = f_\phi \frac{U_s}{U_x} \tag{20}$$

$$MRS_{\phi' e} \overset{def}{=} -\left.\frac{d\phi'}{de}\right|_{dU=0} = \frac{f_e}{f_\phi} \tag{21}$$

Les propriétés de MRS_{xe} décrites dans les Lemmes 1 et 2 sont inchangées. En ce qui concerne la substitution entre le bien numéraire et l'équipement de consommation, c'est à dire la disposition à payer pour l'équipement, on peut calculer :

$$\begin{aligned}
\frac{\partial MRS_{x\phi'}}{\partial I} &= -\frac{f_\phi U_s U_{xx}}{U_x^2} > 0 \\
\frac{\partial MRS_{x\phi'}}{\partial \phi} &= \frac{f_{\phi\phi} U_s U_x + (f_\phi)^2 U_{ss} U_x}{U_x^2} < 0
\end{aligned}$$

On voit donc que, comme pour la consommation d'électricité, la disposition marginale à payer pour l'équipement est croissante dans le revenu. En revanche, elle est décroissante avec la taille de l'équipement déjà installé, et ce sans aucune condition. En effet, un meilleur équipement décroît la productivité marginale de l'équipement dans le service rendu ($f_{\phi\phi} < 0$) et décroît aussi l'utilité marginale du service rendu $(U_{ss} < 0)$.

Enfin, $MRS_{\phi' e}$ mesure à revenu net donné (*i.e.* à consommation de bien numéraire donnée), la disposition marginale à payer pour e en termes de ϕ (équation (21)). Elle est simplement égale au ratio entre la productivité marginale de e dans la production du service rendu et la productivité marginale de ϕ. On a donc

$$\begin{aligned} \frac{\partial MRS_{\phi' e}}{\partial I} &= 0 \\ \frac{\partial MRS_{\phi' e}}{\partial \phi} &= \frac{f_{e\phi} f_\phi - f_e f_{\phi\phi}}{(f_\phi)^2} > 0 \end{aligned}$$

Etant donné que les deux types de ménages font face à la même fonction de service rendu $f(e, \phi)$, la disposition à payer $MRS_{\phi e}$ ne dépend pas du revenu. En revanche, elle dépend bien sûr de l'équipement déjà installé. Accroître ϕ augmente la productivité marginale de l'électricité ($f_{e\phi} > 0$) et baisse la productivité marginale de l'équipement en raison des rendements décroissants ($f_{\phi\phi} < 0$). Ainsi un meilleur équipement accroît la disposition marginale à payer pour ϕ en terme de e. Nous résumons ces résultats dans le Lemme suivant :

Lemme 4 *$MRS_{x\phi'}$ est croissant en I et décroissant en ϕ. $MRS_{\phi' e}$ ne dépend pas de I mais croît avec ϕ.*

4.2 Optimum et décentralisation

En reprenant le cadre de la section 3.1.1, à l'optimum de premier rang, les achats d'équipement sont déterminés par la condition $f_\phi^i U_s^i - \lambda p_\phi = 0$ qui vient s'ajouter aux conditions (3) et (4). Le plan optimal de consommation d'électricité et d'achat d'équipement est donc donné par les équations (5), (6) et

$$MRS_{x\phi'}^i = f_\phi^i U_s^i / U_x^i = p_\phi \tag{22}$$

.

Plaçons nous maintenant dans le cas où e^i et ϕ'^i sont choisis par le ménage. Si les équipements acquis sont observables par l'autorité, on peut construire une tarification dépendant de ϕ' en plus d'être dépendante des kWh enregistrés au compteur. Le transfert payé par l'agent i est donc de la forme $T\left({\phi'}^i, e^i\right)$. Le ménage i doit alors résoudre

$$\max_{e_i,\phi'_i} U\left(x^i, f\left(e^i, \phi^i + \phi'^i\right)\right) \text{ sous la contrainte } I^i - x^i - p_e e^i - p_\phi \phi'^i - T\left(\phi'^i, e^i\right) \geq 0$$

Pour chaque agent i, les conditions du premier ordre impliquent

$$\begin{aligned} MRS^i_{x,e} &= \frac{f^i_e U^i_s}{U^i_x} = p_e + T_e \quad i = H, L & (23) \\ MRS^i_{x,\phi'} &= \frac{f^i_\phi U^i_s}{U^i_x} = p_\phi + T_{\phi'} \quad i = H, L & (24) \end{aligned}$$

dont on déduit

$$MRS^i_{\phi' e} = \frac{f^i_e}{f^i_\phi} = \frac{p_e + T_e}{p_\phi + T_{\phi'}} \quad i = H, L \tag{25}$$

Une façon d'interpréter les distorsions dans le plan $\left(e, \phi'\right)$ consiste à se demander si, à dépense donnée en électricité et équipement $DT = p_e e^i + p_\phi \phi'^i + T\left(\phi'^i, e^i\right)$, la consommation d'électricité est encouragée (ou découragée) par rapport à celle de bien d'équipement. En effet, en différentiant totalement DT, on obtient facilement

$$-\left.\frac{d\phi'}{de}\right|_{\overline{DT}} = \frac{p_e + T_e}{p_\phi + T_{\phi'}} \tag{26}$$

ce qui est exactement le membre de droite de (25). Ainsi si $\frac{T_e}{p_e} < \frac{T_{\phi'}}{p_{\phi'}}$, alors $d\phi'/de\big|_{DT=0} < p_e/p_\phi$ et le schéma de redistribution encourage la consommation d'électricité au détriment de la consommation en bien d'équipement. L'effet inverse est produit par $\frac{T_e}{p_e} > \frac{T_{\phi'}}{p_{\phi'}}$.

Pour que la politique mise en oeuvre soit neutre au premier rang, il faut que les choix décentralisés déterminés par (23) et (24) donnent le même résultat que les conditions (6) et (22) respectivement. Il faut donc que $T_{\phi'} = T_e = 0$ et un transfert forfaitaire permettra de satisfaire la condition d'égalité des dotations en bien numéraire (5). Ainsi, chaque ménage devra faire ses achats aux mêmes prix, p_e pour l'électricité, p_ϕ pour l'équipement. On aura alors $-\, d\phi'/de\big|_{DT=0} = p_e/p_\phi$ et la consommation d'aucun des deux inputs énergétiques ne sera encouragée par rapport à l'autre dans l'allocation décentralisée avec revenus et équipements observables.

Proposition 4 *En information parfaite, la mise en oeuvre de l'optimum de premier rang est réalisée par une réallocation des revenus : impôt $T^H > 0$ pour H et aide $T^L < 0$ pour L. Le prix du kWh et celui de l'équipement payé par les deux types de ménage doivent être les prix de marché.*

4.3 Encouragement à l'installation d'équipement sous contrainte informationnelle

A nouveau, plaçons-nous dans la situation où le régulateur ne peut observer ni les revenus I^i ni l'équipement déjà installé ϕ^i. En revanche la consommation d'électricité e^i et les améliorations des équipements domestiques ϕ'^i sont observables. L'observabilité des modifications de l'équipement est plus difficile que celle de la consommation d'électricité. On peut cependant imaginer un système déclaratif obligatoire pour les vendeurs d'appareils électroniques et électroménagers et, pour ce qui est de l'isolation des logements, l'utilisation des données recueillies lors de l'émission de certificats d'économies d'énergie.[10]

La politique de second rang doit donc prendre en compte la contrainte d'incitation destinée à empêcher le type H de choisir le contrat conçu pour le type L, soit

$$\begin{aligned} & U\left(I^H - T^H - p_e e^H - p_\phi \phi'^H, f\left(e^H, \phi^H + \phi'^H\right)\right) - \\ & U\left(I^H - T^L - p_e e^L - p_\phi \phi'^L, f\left(e^L, \phi^H + \phi'^L\right)\right) \geq 0 \end{aligned} \tag{27}$$

Le problème à résoudre s'écrit :

$$\begin{aligned} & \max_{T^i, e^i, \phi'^i} \sum_i \pi^i U\left(I^i - T^i - p_e e^i - p_\phi \phi'^i, f\left(e^i, \phi^i + \phi'^i\right)\right) \\ & \text{sous les contraintes } (27) \quad \text{et} \quad \sum_i \pi^i T^i \geq 0 \end{aligned}$$

En notant repectivement μ et λ les multiplicateurs associés à ces contraintes, les conditions du premier ordre par rapport à T^H, T^L, e^H, et e^L sont données par $(13), (14), (15), (16)$ respectivement. Elles constituent une système d'équations à résoudre conjointement avec les conditions de premier ordre par rapport aux

[10] http ://www.developpement-durable.gouv.fr/-Economies-d-energie,154-.html

acquisitions d'équipement ϕ'^H et ϕ'^L :

$$\phi'^H : -\left(\pi^H + \mu\right)\left(p_\phi U_x^H - f_\phi^H U_s^H\right) = 0 \tag{28}$$

$$\phi'^L : p_\phi\left(\mu U_x^{HL} - \pi^L U_x^L\right) + \pi^L f_\phi^L U_s^L - \mu f_\phi^{HL} U_s^{HL} = 0 \tag{29}$$

où, comme précédemment,

$$\begin{aligned} f^{HL} &= f\left(e^L, \phi^H + \phi'^L\right) \\ U^{HL} &= U\left(I^H - T^L - p_e e^L - p_\phi \phi'^L, f^{HL}\right) \end{aligned}$$

Les résultats concernant la forme des tarifs optimaux de l'électricité sont donc inchangés par rapport à ceux de la section 3.2. Concernant la tarification optimale au second rang pour l'équipement, on peut appliquer un raisonnement identique à celui relatif à la tarification de l'électricité. Le lemme 4 nous indique que la disposition marginale à payer pour l'équipement de consommation est plus forte pour les individus à haut revenu et plus faible pour les individus disposant d'une bonne technologie de production de service installée. Alors, si l'hétérogénéité en terme de revenu domine,[11] il convient de taxer à la marge les achats de bien d'équipement des individus de type L. Inversement, si l'hétérogénéité en terme d'équipement domine, il conviendra de subventionner à la marge les dépenses en équipement des individus de type L. Dans les deux cas

[11] Nous ne donnons pas ici une définition précise de ce que signifie "l'hétérogénéité en termes d'équipement domine l'hétérogénéité en termes de revenu." Il est clair que l'amplitude de l'écart $\phi^H - \phi^L$ comparée à celle de $I^H - I^L$ joue un rôle. Mais comme nous l'avons bien vu dans les sections (2.2) et (3.2.3), la forme des préférences et celle de la technologie installée sont également très importantes.

des transferts forfaitaires de H vers L permettent de satisfaire l'objectif d'équité de l'autorité.

Mais faut-il que la distorsion de prix soit plus forte pour l'électricité ou pour l'équipement ? En d'autres termes, à revenu net donné x, vaut-il mieux encourager (ou moins décourager) plutôt la consommation d'électricité ou plutôt les améliorations de l'équipement par le ménage L.

En tirant $\left(\mu U_x^{HL} - \pi^L U_x^L\right)$ de (16) et en l'insérant dans (29), on obtient :

$$-\pi^L f_\phi^L U_s^L \frac{p_e}{p_\phi} + \mu f_\phi^{HL} U_s^{HL} \frac{p_e}{p_\phi} + \pi^L f_e^L U_s^L - \mu f_e^{HL} U_s^{HL} = 0$$

On divise par $\pi^L f_\phi^L U_s^L$ ce qui nous donne par (21)

$$-\frac{p_e}{p_\phi} + \frac{\mu f_\phi^{HL} U_s^{HL}}{\pi^L f_\phi^L U_s^L} \frac{p_e}{p_\phi} + MRS_{\phi' e}^L - \frac{\mu f_e^{HL} U_s^{HL}}{\pi^L f_\phi^L U_s^L} = 0$$

Donc après mise en facteur,

$$MRS_{\phi' e}^L = \frac{p_e}{p_\phi} + \frac{\mu}{\pi^L} \frac{U_s^{HL}}{U_s^L} \frac{f_\phi^{HL}}{f_\phi^L} \left(\frac{f_e^{HL}}{f_\phi^{HL}} - \frac{p_e}{p_\phi} \right)$$

On utilise encore une fois (21) pour obtenir

$$MRS_{\phi' e}^L = \frac{p_e}{p_\phi} + \frac{\mu}{\pi^L} \frac{U_s^{HL}}{U_s^L} \frac{f_\phi^{HL}}{f_\phi^L} \left(MRS_{\phi' e}^{HL} - \frac{p_e}{p_\phi} \right)$$

Finalement, par (14), on trouve

$$MRS^{L}_{\phi' e} = \frac{p_e}{p_\phi} + \left(1 - \frac{\lambda}{U^L_x}\right) \frac{MRS^{HL}_{x\phi'}}{MRS^{L}_{x\phi'}} \left(MRS^{HL}_{\phi' e} - \frac{p_e}{p_\phi}\right) \tag{30}$$

On peut alors analyser cette relation de la même façon que nous l'avons fait pour la relation (17) . Auparavant, il est utile d'établir le lemme suivant :

Lemme 5 *A l'optimum de second rang,* $\left(1 - \lambda/U^L_x\right) MRS^{HL}_{x\phi'}/MRS^{L}_{x\phi'} < 1.$

Preuve. En insérant l'équation (14) dans l'équation (29), on obtient comme pour l'équation (17),

$$MRS^{L}_{x\phi'} = p_\phi + \left(1 - \frac{\lambda}{U^L_x}\right)\left(MRS^{HL}_{x\phi'} - p_\phi\right)$$

où $1 - \lambda/U^L_x > 0$. En mettant $MRS^{L}_{x\phi'}$ en facteur, cela donne

$$MRS^{L}_{x\phi'} \left[1 - \left(1 - \frac{\lambda}{U^L_x}\right) \frac{MRS^{HL}_{x\phi'}}{MRS^{L}_{x\phi'}}\right] = p_\phi \left(\frac{\lambda}{U^L_x}\right)$$

donc $1 - \left(1 - \lambda/U^L_x\right) MRS^{HL}_{x\phi'}/MRS^{L}_{x\phi'} > 0$ ce qui établit le résultat. ■

Supposons alors que $MRS^{HL}_{\phi' e} \leq p_e/p_\phi$. Dans ce cas, puisque

$$\left(1 - \lambda/U^L_x\right) MRS^{HL}_{x\phi'}/MRS^{L}_{x\phi'} < 1$$

l'équation (30) implique $MRS^{L}_{\phi' e} - p_e/p_\phi \geq MRS^{HL}_{\phi' e} - p_e/p_\phi$ ce qui contredit le lemme 20. Nous avons donc $MRS^{HL}_{\phi' e} > p_e/p_\phi$ ce qui d'après l'équation (30) entraîne $MRS^{L}_{\phi' e} > p_e/p_\phi$. En nous reportant à l'équation (26) , nous voyons que l'achat des biens d'équipement est encouragé par rapport à la consommation d'électricité, et ce quel que soit le degré d'hétérogénéité entre revenu et biens d'équipement.

L'intuition pour ce résultat est la suivante. Nous savons dans tous les cas que, d'après le Lemme 4, la disposition à payer pour e en terme de ϕ' est au moins plus grande pour les individus de type H. Alors, une manière de relâcher la contrainte d'incitation est de distordre les prix de façon à encourager la consommation de ϕ' par rapport à celle de e. Ceci est mis en oeuvre par une taxe marginale sur les deux biens de telle sorte que $\frac{T_e^L}{p_e} > \frac{T_{\phi'}^L}{p_{\phi'}}$, encourageant ainsi la consommation de ϕ' à revenu net donné.

5 Conclusions

L'approche normative de la recherche d'une plus grande équité entre ménages hétérogènes en termes de revenu et d'équipement du foyer met clairement en lumière l'instrument à privilégier pour atteindre l'objectif, à savoir des transferts forfaitaires. Mais quand les pouvoirs publics ne disposent pas des informations leur permettant de distinguer les différents types de ménages, face à l'opportunisme des ménages plus riches et/ou mieux équipés, il est souhaitable, en complément des transferts, de distordre le prix du kWh, *i*) jamais pour les plus riches ou les mieux dotés en équipement, *ii*) à la hausse pour les moins riches quand c'est le différentiel de revenu qui prévaut, *iii*) à la baisse pour les moins bien équipés quand c'est le différentiel de technologie qui prévaut. Dans les deux cas, le prix du kWh le plus faible est facturé à celui qui consomme le plus de kWh. Il y a donc là un argument plutôt en faveur de tarifs dégressifs, mais dans notre modèle chaque type de ménage paie un prix et un seul pour l'ensemble de sa consommation.

L'originalité du modèle utilisé ici est que l'électricité y est traitée comme un bien intermédiaire, de sorte que sa valeur pour un ménage est distordue par l'équipement installé sur le lieu de consommation. Si avec un revenu plus élevé on peut acquérir un équipement moins gourmant en énergie, la relation monotone croissante entre demande d'électricité et revenu est brisée. En effet, ce que désire consommer le ménage c'est le service énergétique, pas l'électricité. Dès lors, l'efficacité de l'équipement installé et le degré de saturation des besoins se combinent pour déterminer la demande d'électricité et d'équipement énergétique.

La possibilité d'acquérir un équipement plus performant pour transformer l'électricité en service énergétique modifie la politique de redistribution. Nous n'avons examiné ici que le cas dans lequel les achats sont observables par l'autorité, de sorte que le système tarifaire peut être assis à la fois sur les kWh consommés et sur les dépenses en équipement énergétique. Nous avons pu montrer que les distorsions tarifaires ne doivent pas être symétriques pour les deux inputs énergétiques : les achats d'équipement par L doivent être plus encouragés (ou moins découragés) que les achats d'électricité.

A partir de ce modèle, plusieurs axes de recherche peuvent être explorés. L'un consiste à augmenter le nombre de catégories de ménages, puisqu'on sait que dans les politiques de redistribution les classes moyennes peuvent se retrouver d'un côté ou de l'autre du système de taxe/subvention. Avec une hétérogénéité des installations (dont nous avons vu qu'elle n'affecte pas nécessairement de façon monotone la disposition à payer des agents) plus forte que l'hétérogénéité des revenus, il est assez probable qu'on ne pourra pas bâtir un système de redistribution qui soit totalement séparateur. Il y aura donc du "bunching", c'est à dire que des groupes d'agents seront traités identiquement malgé leur hétérogénéité. Un deuxième axe consiste à revoir l'hypothèse d'observabilité des achats individuels d'équipement, ce qui retire un argument de la fonction de redistribution. Mais s'il est possible d'observer les achats agrégés, on peut envisager une taxe linéaire (non "personnalisée") venant en complément des distorsions de prix du kWh d'électricité ciblées sur chaque type de ménage. Finalement, on peut envisager la possibilité que les revenus soient observables par l'autorité tarifaire, mais pas la façon dont ils sont obtenus. Le tarif de l'électricité peut alors être assis à la fois sur le volume consommé et sur le revenu, mais il va provoquer des comportements opportunistes dans l'offre de travail. La question à examiner alors est de savoir sous quelles conditions il est envisageable de séparer en deux parties la fonction de transfert, l'une basée sur le revenu, l'autre sur les kWh. Quand c'est possible, le tarif électrique peut être proposé par les fournisseurs sans test de ressource, c'est à dire sans qu'ils aient besoin de connaitre le revenu de leurs clients.

Références

[1] Devalière I. (2010) "Identification des processus de précarisation énergétique des ménages et analyse des modes d'intervention". Enquêtes en Indre et Loire et dans le Pas de Calais. Rapport final, CSTB, Mai, www.prebat.net/IMG/pdf/energie_indre_loire_calais.pdf

[2] Laffont JJ et D. Martimort (2001) "The Theory of Incentives : The Principal-Agent Model", *Princeton University Press*.

[3] Ménard S. et G. Volat (2012), "Conditions de logement de 2005 à 2010", Insee Première, n° 1396 - Mars 2012, www.insee.fr/fr/ffc/ipweb/ip1396/ip1396.pdf

[4] De Quero A. et B. Lapostolet (2009), Rapport du Comité stratégique du Plan Bâtiment Grenelle, Groupe de travail Précarité énergétique, décembre, www.ladocumentationfrancaise.fr/var/storage/rapports-publics/104000012/0000.pdf

[5] Renard E. (2010), "Le logement des ménages modestes", Résultats de l'enquête Logement 2006 de l'Insee, DREES, www.onpes.gouv.fr/IMG/pdf/Renard.pdf