



## La tarification au coût marginal social comme politique optimale pour la gestion des déchets : une revue de la littérature

Arnaud BRICE

*Université Bordeaux IV GREThA UMR 5113*

En France, la production de déchets s'est stabilisée autour de 355 kg par habitant depuis le début des années 2000, mais a crû de plus de 70 % entre 1970 et 2000. Cependant, ces chiffres sont dans la moyenne européenne. Pour inverser cette tendance, la Directive cadre sur les déchets de 2008<sup>1</sup> encourage, par ordre hiérarchique, la réduction à la source des déchets, la réutilisation et le recyclage. Pour y parvenir, la politique de gestion des déchets s'appuie sur un cadre réglementaire (interdiction de stocker des déchets autres qu'ultimes, normes sur les rejets des incinérateurs...) et des incitations économiques. Dans cette revue de la littérature, nous avons fait le choix de nous concentrer sur les instruments économiques. Les instruments économiques reposent essentiellement sur le principe du « pollueur – payeur », c'est-à-dire que le détenteur final du déchet doit supporter l'ensemble des coûts d'élimination dudit déchet. Cette méthode de tarification a pour objectif de modifier les comportements de conception des producteurs et d'achat des consommateurs pour répondre aux exigences de la Directive cadre susnommée. Suivant les types de déchets<sup>2</sup>, le détenteur final sera soit le consommateur soit le producteur. Quand le consommateur est reconnu comme le détenteur final du déchet, la collecte des matières recyclables est assurée gratuitement voir contre une rémunération (le consommateur reçoit un paiement pour ses matières recyclables). En revanche, le consommateur supporte le coût de collecte et d'élimination des matières non recyclables en payant une Redevance Incitative (RI) dont l'assiette dépend de la quantité ou du volume des matières non recyclables. Lorsque le producteur est désigné comme le détenteur final du déchet, suivant le principe de la Responsabilité Elargie des Producteurs (REP), il doit assurer la collecte et l'élimination des déchets provenant de la consommation de son bien par les ménages. La REP peut prendre deux formes : Une REP individuelle ou une REP collective.

<sup>1</sup> Cette Directive est référencée sous le terme 2008/98/CE.

<sup>2</sup> Tout au long de cette revue de la littérature le terme de déchet recouvrira l'ensemble des matériaux restant après la consommation du bien. Ainsi, les déchets sont constitués de matières recyclables et non recyclables.

Dans le cas de la REP individuelle, le producteur a le choix entre collecter puis éliminer lui-même les déchets ou payer un service d'élimination pour assurer ces missions<sup>3</sup>. S'il décide d'assurer lui-même la collecte et l'élimination des déchets, le producteur a le choix entre mettre en place une collecte<sup>4</sup> ou une consigne<sup>5</sup>. Dans le cas d'une REP collective, les producteurs versent des contributions à un éco-organisme<sup>6</sup> dont le montant doit couvrir le coût de la collecte et de l'élimination de l'ensemble des déchets. Le taux des contributions est fixé, plus ou moins librement, par les producteurs.

La littérature économique a étudié l'efficacité de la RI et de la REP essentiellement à l'aide de modèles d'équilibre général. En concurrence parfaite, des REP individuelle et collective sont parfaitement similaires puisque les producteurs sont trop nombreux pour adopter un quelconque comportement collusif autorisé par la REP collective. Fullerton & Kinnaman (1995) proposent un modèle d'équilibre général comportant trois agents : les producteurs, les consommateurs et des services de collecte des matières non recyclables. Les producteurs vendent des biens, tous identiques, aux consommateurs. La consommation de ces biens génère des déchets. Ces déchets sont constitués de matières recyclables et non recyclables dont la part dépend des capacités de tri des consommateurs<sup>7</sup>. Les matières recyclables sont revendues directement aux producteurs qui les recyclent puis les utilisent comme inputs dans la production du bien. En revanche, les matières non recyclables sont collectées puis éliminées par les services d'élimination contre le paiement d'une RI. A partir de ce modèle, Fullerton & Kinnaman (1995) démontrent que sans régulation le marché conduit à une surconsommation de biens et à une insuffisance de tri de la part des consommateurs. En effet, le marché ne tient pas compte des externalités environnementales provenant de l'élimination des matières non recyclables, c'est-à-dire que le taux de la RI est égal au coût marginal privé d'élimination des matières non recyclables alors qu'il devrait être égal au Coût Marginal Social (CMS)<sup>8</sup>. Fullerton & Kinnaman recommandent l'application d'une taxe pigouvienne pour que le taux de la RI soit bien égal au CMS.

Fullerton & Wu (1998) confirment ces résultats à l'aide d'un cadre théorique similaire mais en intégrant la notion d'éco-conception. Les producteurs déterminent le degré de recyclabilité du bien, c'est-à-dire la part recyclable, en poids, du bien. Les consommateurs trient parfaitement et sans effort leurs déchets, ainsi les quantités de matières recyclables et non recyclables sont déterminées par le degré de recyclabilité du bien. Fullerton & Wu (1998) confirment que sans régulation le marché aboutit à une surconsommation de biens et à une surproduction de déchets – les producteurs choisissent un degré de recyclabilité trop faible – car aucun agent ne supporte le coût des externalités. Si le taux de la RI est égal au CMS alors

---

<sup>3</sup> Quand le producteur finance le service d'élimination, ce service collecte les déchets auprès des consommateurs puis les élimine sans que ces derniers ne paient pas de RI ou ne reçoivent de paiements pour leurs matières recyclables.

<sup>4</sup> La collecte peut prendre la forme d'une collecte en porte à porte ou en points d'apport volontaire.

<sup>5</sup> Le système de la consigne n'est pas présenté dans cette revue de la littérature car, d'une part il permet essentiellement de lutter contre l'élimination illégale – qui reste un phénomène marginal comme nous le démontrons plus bas – si on se réfère à la théorie économique et d'autre part son application reste très limitée du fait des coûts de sa mise en œuvre.

<sup>6</sup> En France, la REP collective la plus aboutie concerne les déchets d'emballage, l'éco-organisme est Eco-emballages. Le montant des contributions est fixé par un accord entre les producteurs et l'éco-organisme.

<sup>7</sup> Les capacités de tri résument l'ensemble des moyens dont dispose le consommateur pour trier ses déchets comme la présence de points d'apport volontaire, d'une collecte sélective en porte à porte ou encore de composteurs. Fullerton & Kinnaman (1995) supposent que les ménages ont tous les mêmes capacités de tri et que le tri ne nécessite aucun effort.

<sup>8</sup> Nous regroupons sous cette expression l'ensemble des coûts liés à la collecte et à l'élimination des matières non recyclables y compris le dommage environnemental.

le marché correspond à l'optimum social. De plus, Fullerton & Wu (1998) démontrent qu'une REP dont le taux est égal au CMS présente la même efficacité qu'une RI.

Ces travaux démontrent l'optimalité de la tarification au CMS appliquée soit sur les consommateurs (RI) soit sur les producteurs (REP). Toutefois, la parfaite substituabilité entre ces deux instruments peut être nuancée si on tient compte d'un effort de tri (le temps nécessaire à séparer les déchets, le transport jusqu'à des centres de tri...) et/ou d'un possible recours à l'élimination illégale (incinération domestique, dépôt sauvage...) des consommateurs. En effet, s'il y a un effort de tri des ménages seule une RI égale au CMS crée une incitation suffisante pour atteindre l'effort de tri optimal (Choe et Fraser 2001), tandis qu'un risque d'élimination illégale des consommateurs ne peut être supprimé que si la collecte des matières non recyclables est gratuite pour les consommateurs, donc par l'application d'une REP. Afin de se concentrer sur l'efficacité comparée entre RI et REP nous ne tenons pas compte dans cette revue de la littérature de ces deux hypothèses<sup>9</sup>. De plus, la généralisation des collectes sélectives en porte à porte limite grandement l'effort de tri des consommateurs et l'élimination illégale reste un phénomène marginal d'après les études qui ont essayé de la quantifier (Van Houtven et Morris 1999, Hong 1999, Linderhof, et al. 2001).

L'objectif de cette revue de la littérature est de confirmer, en présence de biens différenciés, la portée du résultat suivant : la tarification au CMS est une politique optimale que ce soit sous la forme d'une RI ou d'une REP. Pour cela, nous testons la portée de ce résultat en présence de biens différenciés générant ou ne générant pas de pouvoir de marché aux producteurs. Ainsi, notre première partie présentera le modèle de Calcott & Walls (2005) qui intègre une hétérogénéité des biens mais sans pouvoir de marché, alors que notre seconde partie étudiera le modèle de Fleckinger & Glachant (2010) dans lequel la différenciation des biens génère un pouvoir de marché.

## I. Le modèle de Calcott et Walls (2005)

Calcott & Walls (2005) proposent un modèle d'équilibre général où les producteurs vendent des biens, avec un poids identique mais des degrés de recyclabilité différents, aux consommateurs. Les déchets provenant de la consommation sont soit recyclés soit mis en décharge. Ce choix dépend des recycleurs. En effet, un déchet est accepté au recyclage uniquement si le bénéfice obtenu de sa revente aux producteurs est supérieur ou égal au coût du recyclage ; le coût du recyclage est défini par le degré de recyclabilité. Le degré de recyclabilité est compris entre 0 et 1 et le coût du recyclage est d'autant plus faible que le degré de recyclabilité est proche de 1. Si le consommateur est reconnu comme le détenteur final du déchet, il reçoit un paiement des recycleurs pour les déchets acceptés au recyclage et paie une RI au service de collecte pour les déchets non acceptés au recyclage. Dans le cas d'une REP, les producteurs paient le service de collecte et achètent les matières recyclées aux recycleurs à un prix diminué des recettes du recyclage. Afin de nous concentrer sur la comparaison entre la RI et la REP, nous présentons une version simplifiée du modèle de Calcott & Walls (2005). D'une part, nous supposons que les déchets n'ont que deux destinations possibles : collecte traditionnelle et collecte sélective en porte à porte ; alors que le modèle de Calcott & Walls (2005) en compte trois : collecte traditionnelle, collecte sélective en porte à porte et collecte des recyclables en points d'apport volontaire. D'autre part, nous ne tenons pas compte de possibles coûts de transaction dans la collecte des recyclables.

---

<sup>9</sup> Le lecteur intéressé par une modélisation de l'élimination illégale peut se référer aux travaux de Fullerton & Kinnaman (1995) et aux travaux de Choe et Fraser (2001) pour une modélisation de l'effort de tri. D'autres modèles (Choe et Fraser 1999, Aalbers et Vollebergh 2008) traitent ces deux hypothèses simultanément.

Pour conserver le cadre original du modèle de Calcott & Walls (2005), nous commençons par présenter le modèle quand le consommateur est reconnu comme le détenteur final du déchet.

## A. Le modèle

Les producteurs, indicés par  $i$ , produisent un bien  $q_i$  à l'aide de travail, de capital et de deux inputs matériels : des matières vierges  $v$  et des matières recyclables  $r$  qui sont considérées comme de parfaits substituts et sont donc vendues à un prix identique  $p_v$ . Ces biens sont vendus aux consommateurs à un prix  $p_q(\rho_i)$ . La consommation de ces biens génère des déchets qui sont tous supposés techniquement recyclables<sup>10</sup>, le choix de les recycler ou non dépend du coût du recyclage. Quand un déchet est accepté au recyclage il est recyclé en intégralité. Dans ce cas, il est acheté par les recycleurs aux ménages à un prix qui dépend du degré de recyclabilité noté  $p_r(\rho_i)$ . Une fois le déchet recyclé, les recycleurs vendent ces matières recyclées aux producteurs à un prix  $p_v$ . En revanche, si le déchet n'est pas accepté au recyclage il est alors collecté par le service d'élimination contre le paiement d'une RI dont le taux est noté  $p_g$ . Calcott & Walls (2005) supposent que les services d'extraction de matières vierges et d'élimination des déchets réalisent leur activité avec une productivité marginale constante, notée respectivement  $\gamma_v$  et  $\gamma_g$ , et sont à l'équilibre :  $p_v = \gamma_v$  et  $p_g = \gamma_g$ .

Nous commencerons par présenter les hypothèses sur le comportement des consommateurs puis des recycleurs et enfin des producteurs.

### 1. Les consommateurs

Les consommateurs ont tous la même fonction d'utilité qui a une forme quasi linéaire,

$$U = U\left(\int q_i di, G\right) + m \quad (1)$$

avec  $q_i$  la quantité de biens  $q$  provenant de chaque producteur  $i$ ,  $G$  la quantité totale de déchets dans l'économie et  $m$  un bien gratuit, ne générant aucun déchet et qui sera utilisé comme numéraire dans le reste de l'analyse. Calcott & Walls (2005) supposent que les biens  $q_i$  restent de parfaits substituts pour les consommateurs bien qu'ils aient des degrés de recyclabilité différents, c'est-à-dire que :

$$U_{q_i} = U_{q_j} \quad \text{avec } i \neq j \quad (2)$$

Ainsi, nous notons par  $U_q$  l'utilité marginale provenant de la consommation d'une unité supplémentaire de  $q_i$  quelque soit  $i$ .

L'utilité dépend positivement de la consommation ( $U_q < 0$ ) et négativement de la quantité totale de déchets ( $U_G < 0$ ). En effet, les déchets génèrent des externalités durant leur élimination (pollution visuelle, olfactive...) et ces externalités dépendent de la quantité totale de déchets  $G$ .

Tous les ménages disposent d'une même dotation  $W$  qu'ils dépensent intégralement pour consommer et éliminer les déchets. Les coûts d'élimination dépendent du degré de recyclabilité et sont notés  $CE(\rho_i)$ . Le régulateur peut intervenir par le biais d'une taxe sur les déchets non acceptés au recyclage et notée  $t_g$ . Calcott & Walls (2005) définissent  $\bar{p}$  comme le

<sup>10</sup> Cette hypothèse indique que l'économie dispose des capacités pour recycler n'importe quel type de déchets. Cependant, le coût de recyclage de certains déchets dépasse les bénéfices, il est donc économiquement inefficace de les recycler.

degré de recyclabilité minimal pour qu'un déchet soit accepté au recyclage. Les coûts d'élimination des déchets sont donc :

$$CE(\rho_i) = \begin{cases} (p_g + t_g) & \text{si } \rho_i < \bar{\rho} \\ -p_r(\rho_i) & \text{si } \rho_i \geq \bar{\rho} \end{cases} \quad (3)$$

En plus des coûts d'élimination, la contrainte budgétaire est complétée par le prix d'achat du bien  $p_q(\rho_i)$ , elle s'écrit donc :

$$W = \int (p_q(\rho_i)q_i + q_i CE(\rho_i)) di + m \quad (4)$$

Sous sa contrainte budgétaire, le ménage détermine le niveau de consommation maximisant son utilité. Le programme de maximisation du consommateur s'écrit donc :

$$\begin{cases} \max_{q_i} U \left( \int q_i di, G \right) + m \\ sc W = \int (p_q(\rho_i)q_i + q_i CE(\rho_i)) di + m \end{cases} \quad (5)$$

La condition d'équilibre du consommateur est donc :

$$p_q(\rho_i) = U_q - CE(\rho_i) \quad (6)$$

Cette égalité confirme que pour les consommateurs les biens restent de parfaits substituts bien qu'ils aient des degrés de recyclabilité différents. Si on réaménage l'équation (6),

$$U_q = CE(\rho_i) + p_q(\rho_i) \quad (7)$$

on constate qu'en intégrant les coûts d'élimination dans le prix de vente tous les biens sont vendus au même prix. Ainsi, toute variation du prix du bien, provenant d'une variation du degré de recyclabilité, est nécessairement compensée par une variation d'un même montant des coûts d'élimination. La variation des coûts d'élimination dépend de la condition d'acceptabilité des déchets au recyclage et donc du comportement des recycleurs.

## 2. Les recycleurs

Les recycleurs achètent aux consommateurs les matières recyclables à un prix pouvant être positif ou négatif en fonction du degré de recyclabilité. Ce prix est noté  $p_r(\rho_i)$ . Les matières recyclables sont ensuite traitées par les recycleurs à un coût qui dépend du degré de recyclabilité et que nous notons  $k(\rho_i)$ . Le coût du recyclage diminue avec le degré de recyclabilité du bien ( $k_\rho < 0$ ). Pour finir, les matières recyclées sont vendues aux producteurs à un prix  $p_v$ . Ainsi pour chaque déchet avec un degré de recyclabilité  $\rho_i$  accepté au recyclage, les recycleurs réalisent un bénéfice égal à :

$$\pi_r = p_v - k(\rho_i) - p_r(\rho_i) \quad (8)$$

Calcott & Walls (2005) supposent que les recycleurs sont sur un marché concurrentiel et réalisent un profit nul à l'équilibre. On déduit de (8) le prix d'achat des matières recyclables qui s'écrit alors :

$$p_r(\rho_i) = p_v - k(\rho_i) \quad (9)$$

Cependant, un ménage peut accepter de payer un recycleur ( $p_r(\rho_i) < 0$ ) pour qu'il collecte le déchet tant que ce prix est inférieur au coût de la collecte traditionnelle ( $p_g + t_g$ ), soit si  $p_r(\rho_i) + (p_g + t_g) \geq 0$ . Par exemple, supposons que pour un déchet le coût de collecte et

d'élimination soit de 5 centimes tandis que les recycleurs font une perte de 2 centimes s'ils l'acceptent au recyclage. Dans ce cas, les recycleurs ne le ramassent pas. Cependant, un consommateur préfère payer 2 centimes aux recycleurs plutôt que 5 centimes au service d'élimination. Un déchet peut donc être accepté au recyclage contre un prix négatif. Le seuil d'acceptabilité d'un déchet au recyclage est donc :

$$p_v - k(\rho_i) + (p_g + t_g) \geq 0 \quad (10)$$

Rappelons que  $\bar{\rho}$  est défini comme le degré de recyclabilité minimal pour qu'un bien soit accepté au recyclage, c'est-à-dire tel que  $p_v - k(\bar{\rho}) + (p_g + t_g) = 0$ .

Il nous reste à caractériser les choix de production et de design des producteurs.

### 3. Les producteurs

Les producteurs utilisent deux inputs matériels parfaitement substituables, des matières vierges  $v$  et des matières recyclées  $r$ , achetées à un prix identique  $p_v$ . Calcott & Walls (2005) supposent qu'une unité de matière recyclée ou de matière vierge permet de fabriquer une unité de bien  $q$ . Donc, pour un producteur  $i$  le coût d'achat des matières premières est le prix  $p_v$  multiplié par les quantités produites  $q_i$ , soit  $p_v q_i$ . Les producteurs supportent aussi un ensemble de coûts de production – coût du travail, du capital – pouvant être différent d'un producteur à un autre. Pour un producteur  $i$ , la fonction de coût est :

$$C^i(q, \rho) \quad (11)$$

Cette fonction représente le coût monétaire de l'utilisation du capital et du travail pour accroître le degré de recyclabilité et/ou la production du bien. Accroître le niveau de production ou le degré de recyclabilité augmente les coûts de production ( $C_q^i > 0$  ;  $C_\rho^i > 0$ ). Toutefois, la hausse du coût varie suivant les producteurs mais sans remettre en cause le caractère concurrentiel du marché. En effet, Calcott & Walls (2005) supposent que chaque fonction de coût possible est partagée par une multitude de producteurs et que les différentiels de coûts ne sont pas suffisamment importants pour qu'un producteur bénéficie d'un pouvoir de marché<sup>11</sup>.

Pour un producteur  $i$ , sa fonction de profit est donc :

$$\pi_q = p_q(\rho_i)q_i - p_v q_i - C^i(q, \rho) \quad (12)$$

Les comportements de chaque agent étant présentés, nous allons maintenant caractériser l'équilibre économique puis l'optimum social.

## **B. L'équilibre économique et l'optimum social**

Nous commençons par caractériser l'équilibre économique.

### 1. L'équilibre économique

Afin de caractériser l'équilibre économique, Calcott & Walls (2005) substituent dans l'équation (12)  $p_q(\rho_i)$  par sa valeur exprimée à l'équation (6), soit :

$$U_q q_i = CE(\rho_i)q_i + p_v q_i + C^i(q, \rho) \quad (13)$$

<sup>11</sup> L'équation (7) garantit que les différentiels de coûts ne remettent pas en cause la parfaite substituabilité entre les biens.

A l'équilibre économique, la quantité  $q_i$  et le degré de recyclabilité  $\rho_i$  choisis par chaque producteur  $i$  maximisent l'expression (13). Ce choix est contraint par la demande des consommateurs qui est influencée par les coûts d'élimination. Un producteur accroît le degré de recyclabilité de son bien si la hausse du prix de vente est compensée par la réduction des coûts d'élimination. Ainsi, aucun producteur n'a intérêt à commercialiser un bien avec un degré de recyclabilité positif si cela ne se traduit pas par une réduction de  $CE(\rho_i)$ , c'est-à-dire si le degré de recyclabilité n'est pas suffisamment élevé pour que le déchet soit accepté au recyclage. Donc, un producteur choisit un degré de recyclabilité soit nul soit supérieur ou égal au seuil d'acceptabilité d'un déchet au recyclage  $\bar{\rho}$ .  $CE(\rho_i)$  se réécrit alors :

$$CE(\rho_i) = \begin{cases} (p_g + t_g)si \rho_i = 0 \\ -p_r(\rho_i) si \rho_i \geq \bar{\rho} \end{cases} \quad (14)$$

Calcott & Walls (2005) regroupent les coûts d'élimination  $CE(\rho_i)$  et les coûts de production  $C^i(q, \rho)$  sous une même expression notée  $CEM(\rho_i)$  qui s'écrit alors :

$$CEM(\rho_i) = \begin{cases} (p_g + t_g) + p_v si \rho_i = 0 \\ -p_r(\rho_i) + p_v si \rho_i \geq \bar{\rho} \end{cases} \quad (15)$$

En substituant les prix par leur valeur respective,  $CEM(\rho_i)$  se réécrit donc :

$$CEM(\rho_i) = \begin{cases} (\gamma_g + t_g) + \gamma_v si \rho_i = 0 \\ k(\rho_i)si \rho_i \geq \bar{\rho} \end{cases} \quad (16)$$

En intégrant  $CEM(\rho_i)$  dans (13) cette dernière se réécrit :

$$U_q q_i = CEM(\rho_i)q_i + C^i(q, \rho) \quad (17)$$

Ainsi, l'équilibre économique est caractérisé par (17) sous la contrainte du seuil d'acceptabilité des déchets au recyclage (10) qui en remplaçant les prix par leur valeur se réécrit à son tour :

$$\gamma_v - k(\rho_i) + (\gamma_g + t_g) \geq 0 \quad (18)$$

Afin de vérifier que la politique optimale correspond à une tarification au CMS, sur les producteurs ou les consommateurs, il nous reste à caractériser l'optimum social pour le comparer à l'équilibre économique.

## 2. L'optimum social

Le régulateur a pour objectif de maximiser l'utilité du consommateur représentatif (1) sous les contraintes de ressources et matérielle.

L'économie est dotée d'une quantité de ressources (travail et capital) finie notée  $R$  que le régulateur alloue entre la production du bien  $m$ , les producteurs, les recycleurs, les services d'élimination et d'extraction. En notant respectivement par  $\Omega_1$  et  $\Omega_2$  les biens non acceptés et acceptés au recyclage, la contrainte de ressources s'écrit alors :

$$R = \gamma_v \int v_i di + \gamma_g \int_{\Omega_1} q_i di + k(\rho_i) \int_{\Omega_2} q_i di + \int C^i(q, \rho) di + m \quad (19)$$

La contrainte matérielle est quant à elle exprimée par la balance matérielle  $v_i + r_i = q_i$  signifiant que le poids de la production  $q_i$  est égal à la somme du poids des matières vierges  $v_i$  et recyclées  $r_i$  utilisées dans le processus de production ; aucun déchet n'est généré

durant le processus de production. De plus, les matières recyclées proviennent uniquement des déchets acceptés au recyclage on a donc, en termes de poids, l'égalité suivante :

$$\int r_i di = \int_{\Omega_2} q_i di \quad (20)$$

D'après la balance matérielle, cela signifie que les matières vierges ont le même poids que les déchets non acceptés au recyclage, c'est-à-dire que la quantité totale de déchets, soit :

$$\int v_i di = \int_{\Omega_1} q_i di = G \quad (21)$$

En intégrant la contrainte matérielle (21) dans la contrainte de ressource (19), on a alors :

$$R = (\gamma_v + \gamma_g) \int_{\Omega_1} q_i di + k(\rho_i) \int_{\Omega_2} q_i di + \int C(q_i, \rho_i) di + m \quad (22)$$

Sous cette contrainte, le régulateur maximise l'utilité du consommateur représentatif (1). Calcott & Walls (2005) supposent, qu'au voisinage de l'optimum social, la fonction d'utilité a une forme linéaire  $U(\int q_i di, G) + m = U_q \int q_i di + U_G G + m$  et que le régulateur détermine les valeurs de  $q_i$  et  $\rho_i$  telles qu'à l'optimum  $\frac{\partial U(q^*, G)}{\partial q} = U_q$ , c'est-à-dire que les biens restent de parfaits substituts pour les consommateurs. Ici,  $U_G$  représente le dommage marginal provenant de la quantité totale de déchets au sein de l'économie.

La fonction d'optimisation du régulateur est donc :

$$U_q \int q_i di + R - (\gamma_v + \gamma_g - U_G) \int_{\Omega_1} q_i di - k(\rho_i) \int_{\Omega_2} q_i di - \int C(q_i, \rho_i) di \quad (23)$$

Calcott & Walls (2005) regroupent l'ensemble des coûts de production et d'élimination sous une même expression appelée le coût social de production et d'élimination  $CS(\rho_i)$ , soit :

$$CS(\rho_i) = \begin{cases} \gamma_v + \gamma_g - U_G & \text{si } \rho_i < \bar{\rho} \\ k(\rho_i) & \text{si } \rho_i \geq \bar{\rho} \end{cases} \quad (24)$$

Ainsi, la fonction d'optimisation du régulateur se réécrit alors :

$$\int \left( (U_q - CS(\rho_i)) q_i - C(q_i, \rho_i) \right) di \quad (25)$$

Calcott & Walls (2005) soulignent l'impossibilité de dériver l'expression de l'optimum social (25) par  $q_i$  et  $\rho_i$  de manière à obtenir des conditions de premier ordre comparables à celles de l'équilibre économique. A la place, ils comparent la fonction objectif du régulateur (25) avec l'équation caractérisant l'équilibre économique (17). Ils constatent que l'unique différence entre les deux provient des coûts d'élimination des déchets<sup>12</sup> : à l'équilibre économique aucun agent ne supporte le coût des externalités environnementales ( $U_G$ ).

<sup>12</sup> Cette comparaison ne permet pas d'apporter la preuve mathématique que la condition d'acceptabilité des déchets au recyclage est identique à l'optimum social et à l'équilibre économique. Calcott & Walls (2005) supposent que si (17) et (25) coïncident chaque agent adopte un comportement optimal et la condition d'acceptabilité (18) est donc optimale.

## C. Les politiques optimales

Nous allons analyser successivement l'efficacité d'une tarification au CMS par le biais d'une RI puis d'une REP.

### 1. La redevance incitative

Afin d'assurer que (17) correspond à (25) il est nécessaire que le taux de la RI soit égal au CMS. Dans ce cas, le régulateur doit appliquer une taxe pigouvienne ( $t_g = -U_G$ ) pour que le taux de la RI soit égal au CMS :

$$(p_g + t_g) = \gamma_g - U_G \quad (26)$$

Cette tarification réduit la consommation jusqu'à son niveau optimal et influence la condition d'acceptabilité des déchets au recyclage (18). En effet, les consommateurs intègrent le coût du dommage environnemental dans leur arbitrage et acceptent donc de payer plus cher les recycleurs pour qu'ils acceptent un déchet au recyclage. Une tarification au CMS par le biais d'une RI décentraliser toujours l'optimum social malgré la différenciation des biens.

Nous allons maintenant analyser l'efficacité de la REP.

### 2. La responsabilité élargie des producteurs

Dans le cas d'une REP, les coûts d'élimination des déchets (3) sont directement intégrés dans la fonction de profit des producteurs (12) qui se réécrit alors :

$$\pi_q = p_q(\rho_i)q_i - p_v q_i - C(q_i, \rho_i) - CE(\rho_i) \quad (27)$$

Les coûts d'élimination n'apparaissent donc plus dans la contrainte budgétaire des consommateurs (4) et la condition d'équilibre des consommateurs (6) devient alors :

$$p_q(\rho_i) = U_q \quad (28)$$

L'équation caractérisant l'équilibre économique (13) n'est pas modifiée, de même que la condition d'acceptabilité des déchets au recyclage (10). En effet, dans le cas de la RI les producteurs supportaient indirectement les coûts d'élimination par le biais de la fonction de demande inverse des consommateurs alors qu'ils les supportent directement avec la REP. Les producteurs réalisent donc le même arbitrage que les consommateurs, c'est-à-dire qu'ils préfèrent payer les recycleurs pour qu'ils acceptent le déchet au recyclage tant que ce prix est inférieur à celui facturé par le service d'élimination. Une REP dont le taux est égal au CMS ( $p_g + t_g = \gamma_g - U_G$ ) permet aussi de décentraliser l'optimum social.

**Proposition 1 :** Une tarification au CMS sous la forme d'une RI ou d'une REP reste optimale même en présence de biens différenciés, du moins tant que cette différenciation ne génère aucun pouvoir de marché pour les producteurs.

En nous appuyant sur le modèle de Calcott & Walls (2005), nous avons pu confirmer l'efficacité de la tarification au CMS et la parfaite substituabilité entre la RI et la REP en présence de biens différenciés. Toutefois, Calcott & Walls (2005) supposent que la différenciation des biens n'entraîne aucun pouvoir de marché pour les producteurs puisque les biens restent de parfaits substituts pour les consommateurs. Or, la différenciation est souvent synonyme de pouvoir de marché. Ainsi, la seconde partie de cette revue de la littérature sera consacrée à vérifier l'optimalité de la tarification au CMS et la parfaite substituabilité entre RI et REP quand les consommateurs ont des préférences différentes pour les biens, et que les producteurs les exploitent pour se différencier afin de réduire la concurrence en prix.

Runkel (2003) est le premier à tester l'efficacité d'une REP lorsque les consommateurs ont des préférences hétérogènes. Les biens sont identiques mais les consommateurs y accordent plus ou moins d'importance. Les producteurs segmentent donc le marché, ils produisent d'abord une quantité égale à la demande des consommateurs désirant le plus le bien, c'est-à-dire ceux avec le consentement à payer le plus élevé, puis ensuite ils servent les consommateurs avec un consentement à payer légèrement plus faible et ainsi de suite. Le producteur servant le premier consommateur obtient un bénéfice marginal nécessairement supérieur au bénéfice obtenu par le producteur servant le second consommateur, le bénéfice marginal est donc décroissant avec la quantité. Runkel (2003) propose un modèle en dynamique où chaque producteur choisit la quantité qu'il produit et la durabilité de son bien. La durabilité se définit comme la durée d'utilisation du bien avant sa mise au rebut.

Les consommateurs ne sont pas intéressés par le bien en lui-même mais par les services qu'il rend, c'est-à-dire que l'utilité du consommateur s'accroît avec la durée du service. Par exemple, un consommateur ne retire aucune utilité d'acheter un radiateur mais il retire une utilité de se chauffer, et cette utilité sera plus élevée si le service dure 10 ans plutôt que 9. Ainsi, la négociation entre les producteurs et les consommateurs ne portent pas sur l'achat du bien en lui-même mais sur la durée du service. Reprenons l'exemple du radiateur. Le consommateur passe un contrat avec le producteur sur la durée pendant laquelle il souhaite se chauffer, 10 ans pour un prix de 100 euros par exemple. L'utilité du consommateur ne dépend que de la durée du service, c'est-à-dire qu'il est indifférent entre utiliser 1 radiateur ou  $n$  radiateurs pour se chauffer durant 10 ans. Le coût du service ne varie pas avec la quantité de biens utilisée mais uniquement avec la durée du service. En revanche, le producteur choisira la solution minimisant ses coûts.

Le producteur supporte des coûts pour accroître sa production et la durabilité de son bien, ainsi que les coûts d'élimination des déchets puisqu'on est dans le cadre d'une REP. Les coûts d'élimination sont constants dans le temps, ainsi accroître la durabilité du bien ne réduit pas les coûts d'élimination mais les reportent seulement dans le temps. La REP, en faisant supporter les coûts d'élimination des déchets aux producteurs, modifie les choix de ces derniers en termes de production et de durabilité de deux façons :

- Les consommateurs ont une préférence pour le présent, c'est-à-dire qu'il préfère toujours produire des déchets le plus tard possible. Les consommateurs ont donc un consentement à payer pour accroître la durabilité du bien.
- A stock constant – le stock se définit comme la quantité de consommateurs bénéficiant du service – une hausse de la durabilité entraîne une réduction de la quantité de déchets. Par exemple, si un producteur propose un contrat de 6 ans pour un bien dont la durabilité est de 2 ans, il devra éliminer 3 biens. En revanche, pour la même durée de contrat, si la durabilité passe de 2 à 3 ans le producteur produit un bien en moins, il y a donc une réduction de la quantité de déchets.

Runkel (2003) démontre qu'à l'équilibre économique non régulé – sans REP – le stock est trop faible, c'est-à-dire qu'il n'y a pas suffisamment de consommateurs pouvant accéder au service. Ce constat s'explique par l'existence d'un pouvoir de marché des producteurs, ces derniers réduisent le stock pour limiter la concurrence en prix. De plus, les producteurs proposent des biens avec une durabilité trop faible. Ceci s'explique par la gratuité des coûts d'élimination, comme aucun agent ne supporte ces coûts les producteurs n'ont aucune incitation assez forte pour accroître la durabilité de leur bien.

D'après l'analyse de Runkel (2003), l'introduction d'une REP incite les producteurs à accroître la durabilité mais à réduire encore plus le stock pour maintenir leur profit. La REP a donc deux effets contradictoires sur le surplus social : un effet positif, puisqu'elle réduit la

quantité de déchets et donc le dommage environnemental, et un effet négatif car elle réduit encore plus le stock et donc le surplus social des consommateurs. Runkel (2003) démontre donc que la tarification au CMS par le biais d'une REP n'est pas nécessairement synonyme de hausse du surplus social comme en concurrence pure et parfaite.

Pour approfondir cette analyse, nous avons choisi de présenter dans la section suivante le modèle de Fleckinger & Glachant (2010). Contrairement au modèle de Runkel (2003), Fleckinger & Glachant (2010) supposent d'une part que le consentement à payer des consommateurs n'est pas nécessairement favorable à l'environnement, et d'autre part que les différences de consentement à payer des consommateurs proviennent d'une différenciation des biens. De plus, ce modèle est plus en lien avec notre première partie puisqu'il nous permet de vérifier l'optimalité de la tarification au CMS et la parfaite substituabilité entre une REP et une RI tout en conservant un cadre statique.

Dans le modèle de Fleckinger & Glachant (2010), la différenciation des biens repose sur la notion de différenciation verticale au sens de Mussa & Rosen (1978). La notion de différenciation verticale suppose que les biens sont de qualités différentes et donc vendus à des prix différents. En effet, les producteurs exploitent l'hétérogénéité des préférences des consommateurs pour la qualité afin de se différencier et de bénéficier d'un pouvoir de marché. Les préférences des consommateurs reposent sur deux hypothèses :

- Les consommateurs classent les biens, suivant leur qualité, de la même manière. Prenons l'exemple de deux voitures, une voiture A avec climatisation et une voiture B sans climatisation. Tous les consommateurs sont d'accord pour dire que la voiture A est de meilleure qualité que la voiture B puisqu'elle dispose de la climatisation. Donc si les deux voitures sont vendues au même prix tous les consommateurs achètent la voiture A.
- Les consommateurs se différencient quant à l'utilité qu'ils accordent à la qualité, c'est à dire qu'ils ne sont pas tous prêts à payer la même somme d'argent pour avoir le bien de meilleure qualité. Si nous reprenons notre exemple, cela signifie que certains consommateurs sont prêts à payer 500 euros de plus pour avoir la voiture A plutôt que la voiture B, alors que d'autres ne sont prêts à payer que 200 euros de plus.

A partir de ces deux hypothèses, on constate que certains consommateurs achèteront la voiture A et d'autres la voiture B. Par exemple, si l'écart de prix entre la voiture A et B qui reflète le coût de la climatisation puisque c'est le seul élément qui les différencie, est de 300 euros alors les consommateurs avec un consentement à payer de 500 euros achètent la voiture A tandis que ceux avec un consentement à payer de 200 euros achètent la voiture B.

En tenant compte d'un marché final différencié verticalement, Fleckinger & Glachant (2010) étudient l'efficacité d'une REP individuelle et d'une REP collective sur la structure de marché et les quantités offertes par les producteurs<sup>13</sup>. Afin de se concentrer sur les conséquences d'une internalisation des coûts de gestion des déchets sur la structure de marché et les quantités offertes, Fleckinger & Glachant (2010) reflètent les écarts de différenciation au travers des coûts de gestion des déchets. Pour cela, ils supposent que la différenciation des biens a un impact sur les coûts de gestion des déchets. Cet impact peut être de deux natures : le bien de meilleure qualité entraîne des coûts de gestion des déchets soit plus faibles soit plus élevés que le bien de moins bonne qualité.

---

<sup>13</sup> Fleckinger et Glachant font une différence entre une REP individuelle et une REP collective car leur modèle n'intègre que deux producteurs. Ces derniers peuvent donc adopter un comportement collusif sous REP collective.

Cependant, contrairement aux modèles traditionnels de différenciation verticale où ce sont les producteurs qui déterminent la qualité, Fleckinger & Glachant (2010) supposent que les niveaux de qualité s'imposent aux producteurs. Les producteurs n'ont pas un choix infini pour la qualité mais binaire. Ainsi, deux qualités préexistent sur le marché et les producteurs choisissent de produire soit l'une soit l'autre. En revanche, l'écart entre les deux qualités préexistantes sur le marché n'est pas défini mais il est révélé au travers de l'écart entre les coûts de gestion des déchets. Donc, si cet écart est faible les qualités sont proches alors que s'il est élevé les qualités sont très différentes. En fonction de l'ensemble des écarts possibles, Fleckinger & Glachant (2010) étudient l'efficacité d'une REP individuelle et collective sur la structure du marché – marché concurrentiel ou différencié verticalement – ainsi que sur les quantités offertes. Nous complétons l'analyse de Fleckinger & Glachant (2010) en étudiant l'efficacité d'une RI. Toutefois, nous présentons le modèle de Fleckinger & Glachant (2010) sous sa forme initiale, c'est-à-dire en supposant que ce sont les producteurs qui supportent les coûts d'élimination des déchets.

## II. Le modèle de Fleckinger et Glachant (2010)

Ce modèle se présente sous la forme d'un duopole avec une différenciation verticale des biens. Les recycleurs et le service d'élimination des déchets ne sont pas modélisés, ils sont supposés à l'équilibre et facturant leur service aux producteurs au CMS. Nous commencerons par présenter les différentes hypothèses du modèle, puis nous caractériserons les conditions de premier ordre de l'optimum social puis de l'équilibre économique sous REP individuelle et collective.

### A. Les hypothèses du modèle

Nous commençons en présentant le programme de maximisation des producteurs.

#### *1. Les producteurs*

Les producteurs sont indicés par  $i$  avec  $i = 1, 2$  et fabriquent un bien de qualité  $\beta_i$  en quantité  $D_i$  vendu à un prix  $p_i$ . Contrairement aux modèles traditionnels de différenciation verticale, Fleckinger & Glachant (2010) supposent que les producteurs n'ont pas un choix infini mais binaire pour la qualité. En effet, dans les modèles traditionnels de différenciation verticale le producteur détermine la qualité en maximisant son profit. Or, dans le modèle de Fleckinger & Glachant (2010) les producteurs maximisent leur profit en prenant la qualité comme une donnée. Prenons un exemple. Supposons que les emballages de boisson peuvent être composés de plastique et de verre. Dans les modèles traditionnels de différenciation verticale, le producteur détermine le mix plastique-verre qui maximise son profit. Dans le modèle de Fleckinger & Glachant (2010) le producteur n'a pas autant de libertés, il a seulement le choix entre deux qualités ; un emballage soit entièrement en plastique soit entièrement en verre par exemple.

Nous notons par  $\beta_L$  et  $\beta_H$  les deux qualités disponibles sur le marché avec  $\beta_H > \beta_L$ , la meilleure qualité pour les consommateurs est donc  $\beta_H$ . Les producteurs peuvent choisir de se différencier ou de produire la même qualité. Ce choix dépend des préférences des consommateurs, que nous aborderons dans la partie suivante, mais aussi des différences de coûts entre les deux qualités. Ces différences de coût portent sur les coûts de production et d'élimination des déchets.

## Les coûts de production

Les coûts de production sont croissants avec la qualité : produire le bien de meilleure qualité est plus coûteux que de produire le bien de moins bonne qualité. Sans perte de généralité, Fleckinger & Glachant (2010) supposent que l'écart de coût entre les deux qualités est  $c$ . Ainsi, si le bien de moins bonne qualité est produit à un coût nul,  $c(\beta_L) = 0$  alors le bien de meilleure qualité coûte  $c$ , soit  $c(\beta_H) = c$ .

## Les coûts d'élimination des déchets

Comme les coûts de production, les coûts d'élimination des déchets varient en fonction de la qualité. Le coût de gestion des déchets du bien L est noté  $w(\beta_L) = w_L$  tandis que celui pour le bien H est noté  $w(\beta_H) = w_H$ . L'écart entre les coûts d'élimination reflète l'écart de différenciation. Donc, si l'écart entre  $w_L$  et  $w_H$  est grand les deux qualités disponibles sur le marché sont très différentes, et inversement si l'écart entre  $w_L$  et  $w_H$  est faible. Fleckinger & Glachant (2010) supposent que les coûts de gestion des déchets peuvent refléter deux mentalités des consommateurs :

- Si  $w_H < w_L$ , les coûts de gestion des déchets du bien H sont plus faibles que ceux du bien L. Les consommateurs sont donc prêts à payer plus cher pour un bien plus respectueux de l'environnement puisqu'il entraîne des coûts de gestion des déchets plus faibles. Ce comportement de consommation traduit une conscience environnementale des consommateurs. Cette hypothèse est similaire à celle de Runkel (2003) où les consommateurs préfèrent des biens plus durables et donc générant moins de déchets.
- Si  $w_H > w_L$ , le bien H a des coûts de gestion des déchets plus élevés que le bien L. Le comportement d'achat des consommateurs ne répond plus à une logique environnementale. Cette hypothèse correspond par exemple aux biens pour lesquels la différenciation est axée sur l'emballage. Les consommateurs sont souvent sensibles à l'esthétisme de l'emballage, or un emballage plus esthétique est souvent plus coûteux à éliminer qu'un emballage classique.

Ainsi, la fonction de profit d'un producteur  $i$  vendant un bien de qualité  $\beta_i$  à un prix  $p_i$  est alors :

$$\pi_i = (p_i - c(\beta_i) - w(\beta_i))D_i \quad (29)$$

Les producteurs maximisent leur fonction de profit. Pour cela, ils doivent connaître la demande provenant des consommateurs.

## 2. Les consommateurs

Chaque consommateur choisit entre n'acheter aucun bien ou acheter une unité du bien L ou du bien H. Ce choix dépend de l'écart de qualité, identique pour tous les consommateurs, et de l'importance qu'ils accordent à cet écart de qualité, différent pour chacun d'entre eux.

L'écart de qualité entre le bien L et le bien H est évalué par l'ensemble des consommateurs à  $\delta$ , soit  $\beta_H - \beta_L = \delta$ . Sans perte de généralité, Fleckinger & Glachant (2010) supposent que  $\beta_L = 1$ , donc  $\beta_H = 1 + \delta$ . Ainsi, plus  $\delta$  est grand plus les consommateurs perçoivent de fortes différences de qualité entre les deux biens. En revanche, bien que les consommateurs soient d'accord sur la mesure de l'écart de qualité  $\delta$  ils se différencient quant à l'utilité qu'il retire de cet écart de qualité.

Chaque consommateur est indexé par  $\theta$  suivant l'utilité qu'il retire de la qualité. Fleckinger & Glachant (2010) supposent  $\theta$  compris entre 0 et 1, c'est-à-dire qu'un consommateur avec un  $\theta$

proche de 1 retire une forte utilité du bien de meilleure qualité. En termes monétaires, un  $\theta$  proche de 1 signifie que le consommateur a un consentement à payer élevé pour la qualité, c'est-à-dire qu'il sera prêt à payer un prix élevé pour avoir le bien de meilleure qualité. Fleckinger & Glachant (2010) supposent qu'un consommateur a la même probabilité d'être très ou peu sensible à la qualité,  $\theta$  est donc distribué suivant une loi uniforme sur  $[0, 1]$ . Ainsi, l'ensemble des consommateurs représente une masse égale à 1, c'est-à-dire que si le marché était servi par une seule entreprise et que cette dernière captait toute la demande, la demande serait égale à 1. Dans ce modèle, la demande des consommateurs dépend des options dont ils disposent, c'est-à-dire si les producteurs se différencient ou pas.

### Les fonctions de demande quand les deux qualités coexistent

En fonction de leur préférence pour la qualité  $\theta$ , il est donc possible d'ordonner les consommateurs sur une ligne allant de 0 à 1 et de les répartir en trois catégories : ceux n'achetant aucun bien, ceux achetant une unité du bien L et ceux achetant une unité du bien H. La répartition des consommateurs entre les différentes options peut être représentée par le graphique suivant :

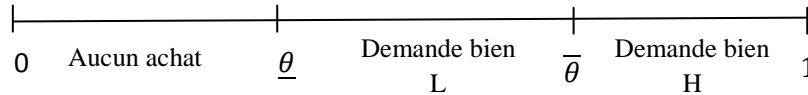


Figure 1 : Répartition des consommateurs en fonction de leur préférence pour la qualité

Ici,  $\underline{\theta}$  représente le consommateur indifférent entre acheter le bien L ou ne rien acheter, alors que  $\bar{\theta}$  représente le consommateur indifférent entre acheter le bien L ou le bien H. Les fonctions de demande sont donc :

$$D_L = \bar{\theta} - \underline{\theta} \quad (30)$$

$$D_H = 1 - \bar{\theta} \quad (31)$$

Le consommateur de type  $\underline{\theta}$  obtient la même utilité en achetant le bien de moins qualité ou en achetant aucun bien. Ainsi, sachant que l'utilité d'un consommateur de type  $\theta$  achetant un bien de qualité  $\beta_i$  à un prix  $p_i$  est,

$$U(\theta, \beta_i, p_i) = \theta \beta_i - p_i \quad (32)$$

le consommateur de type  $\underline{\theta}$  est donc caractérisé par l'égalité suivante :

$$\underline{\theta} \beta_L - p_L = 0 \quad (33)$$

En posant  $\beta_L = 1$ , on a alors :

$$\underline{\theta} = p_L \quad (34)$$

De la même manière, le consommateur de type  $\bar{\theta}$  est caractérisé par l'égalité suivante :

$$\bar{\theta} \beta_L - p_L = \bar{\theta} \beta_H - p_H \quad (35)$$

Sachant que  $\beta_L = 1$  et  $\beta_H = 1 + \delta$ , on a alors :

$$\bar{\theta} = \frac{p_H - p_L}{\delta} \quad (36)$$

En reprenant les fonctions de demande (30) et (31) et en substituant  $\bar{\theta}$  et  $\underline{\theta}$  par leur valeur (34) et (36), les fonctions de demande se réécrivent donc :

$$D_L = \frac{p_H - p_L}{\delta} - p_L \quad (37)$$

$$D_H = 1 - \frac{p_H - p_L}{\delta} \quad (38)$$

Les fonctions de demande (30) et (31) sont valables tant que les deux qualités sont mises sur le marché. Cependant, les deux producteurs peuvent aussi choisir de ne plus se différencier, c'est-à-dire de produire uniquement la qualité  $\beta_L$  ou la qualité  $\beta_H$ .

### Les fonctions de demande quand une seule qualité est disponible

Nous commençons par supposer que seule la qualité  $\beta_L$  est disponible pour les consommateurs. Ces derniers n'ont plus que deux options : ne rien acheter ou acheter une unité du bien L. Dans ce cas, la demande pour le bien H devient nulle, soit  $D_H = 1 - \bar{\theta} = 0$  donc  $\bar{\theta} = 1$ . La valeur de  $\underline{\theta}$  (34) ne se modifie pas et la demande pour le bien L (30) s'écrit donc :

$$D_L = 1 - p_L \quad (39)$$

Nous supposons maintenant que seule la qualité  $\beta_H$  est disponible pour les consommateurs. Ces derniers n'ont là encore que deux options, ne rien acheter ou acheter le bien H. La demande pour le bien L est nulle, soit  $D_L = \bar{\theta} - \underline{\theta} = 0$  et donc  $\bar{\theta} = \underline{\theta}$ . En revanche,  $\bar{\theta}$  représente maintenant le consommateur indifférent entre acheter le bien H ou ne rien acheter et non plus le consommateur indifférent entre acheter le bien L ou le bien H. Il se déduit donc de l'égalité suivante :

$$\bar{\theta}\beta_H - p_H = 0 \quad (40)$$

En sachant que  $\beta_H = 1 + \delta$ , on peut alors écrire que :

$$\bar{\theta} = \frac{p_H}{1 + \delta} \quad (41)$$

En substituant  $\bar{\theta}$  par sa valeur (41) dans la fonction de demande du bien H (31), on obtient alors :

$$D_H = 1 - \frac{p_H}{1 + \delta} \quad (42)$$

Maintenant que les comportements de maximisation des différents agents ont été présentés, nous allons déterminer l'optimum social.

## B. L'optimum Social

L'optimum social correspond à la somme des utilités des consommateurs et des profits des producteurs, soit :

$$SS = \int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}} u(\theta, \beta_L, p_L) + \int_{\bar{\theta}}^1 u(\theta, \beta_H, p_H) + (p_L - w_L)q_L + (p_H - c - w_H)q_H \quad (43)$$

Après simplification, l'expression du surplus social se réécrit :

$$SS = \frac{1}{2}(\bar{\theta}^2 - \underline{\theta}^2) + \frac{1}{2}(1 + \delta)(1 - \bar{\theta}^2) - w_L(\bar{\theta} - \underline{\theta}) - (c + w_H)(1 - \bar{\theta}) \quad (44)$$

A partir de cette fonction de surplus social, il est possible de déterminer les quantités optimales lorsque les biens sont différenciés ou homogènes.

### 1. Les quantités optimales en présence de biens différenciés

Nous commençons par déterminer les valeurs de  $\theta$  qui rendent les consommateurs indifférents entre acheter le bien L ou ne rien acheter et entre acheter le bien L ou le bien H, notées respectivement  $\underline{\theta}$  et  $\bar{\theta}$ <sup>14</sup>. Pour cela, nous maximisons l'expression du surplus social (44) par  $\underline{\theta}$  puis par  $\bar{\theta}$  ce qui nous donne :

$$\underline{\theta} = w_L \quad (45)$$

$$\bar{\theta} = \frac{-w_L + c + w_H}{\delta} \quad (46)$$

En substituant dans les fonctions de demande (30) et (31)  $\underline{\theta}$  et  $\bar{\theta}$  par leur valeur à l'optimum social (45) et (46), ces dernières se réécrivent :

$$D_L = \frac{w_H - w_L + c - \delta w_L}{\delta} \quad (47)$$

$$D_H = \frac{w_L - w_H - c + \delta}{\delta} \quad (48)$$

La demande pour le bien L s'accroît avec le différentiel de coût de production  $c$  mais se réduit avec la mesure de l'écart de qualité des consommateurs  $\delta$ . La demande pour le bien H varie en sens inverse.

Fleckinger & Glachant (2010) supposent que le coût de production est suffisamment faible pour qu'il soit au moins optimal de produire le bien H pour le consommateur avec le plus fort consentement à payer pour la qualité ; donc  $c < \delta$  garantit que (48) n'est pas forcément nulle ou négative.

L'écart de coûts de gestion des déchets a aussi un impact sur les fonctions de demande. Cet impact dépend du comportement d'achat des consommateurs. Si les consommateurs ont une conscience environnementale ( $w_H < w_L$ ), alors la demande pour le bien H est d'autant plus faible que l'écart entre les coûts de gestion des déchets est élevé. Le même constat peut être fait pour la demande de biens L quand les consommateurs ne sont plus caractérisés par une conscience environnementale ( $w_H > w_L$ ).

Fleckinger & Glachant (2010) supposent, pour assurer que le consommateur avec le plus fort consentement à payer, quand ce consentement ne traduit pas une conscience environnementale, puisse au moins acquérir le bien de moins bonne qualité, que les coûts d'élimination ne sont pas prohibitifs ; donc,  $w_L, w_H < 1$  garantit que (47) puisse prendre des valeurs positives.

Cependant, lorsque l'écart de coût de gestion des déchets est important il est possible que la demande pour l'un des deux biens devienne nulle. Dans ce cas, les producteurs cessent de se différencier. Le choix de la qualité restante par les producteurs dépend du comportement d'achat des consommateurs.

<sup>14</sup> Un détail de la méthode de calcul est fourni à l'annexe C.

## 2. Les quantités optimales en présence de biens homogènes

Si les fonctions de demande ne traduisent pas un comportement environnemental ( $w_H > w_L$ ), alors tout accroissement de l'écart entre les coûts de gestion des déchets entraîne une baisse de la demande pour le bien H et une hausse de la demande pour le bien L. Quand cet écart dépasse le seuil suivant,

$$w_L - w_H \leq -(\delta - c) \quad (49)$$

alors la demande pour le bien H (48) devient nulle. Dans ce cas, en reprenant (31) on en déduit  $\bar{\theta} = 1$ . En substituant dans l'expression du surplus social (44)  $\bar{\theta}$  par 1, puis maximisant cette expression par  $\underline{\theta}$  on obtient alors :

$$\underline{\theta} = w_L \quad (50)$$

En substituant, dans la fonction de demande (30),  $\underline{\theta}$  par sa valeur (50), cette dernière se réécrit alors :

$$D_L = 1 - w_L \quad (51)$$

En revanche, si les demandes des consommateurs traduisent une conscience environnementale ( $w_H < w_L$ ), alors tout accroissement de l'écart entre les coûts de gestion des déchets se traduit par une hausse de la demande pour le bien H et une baisse de la demande pour le bien L. Quand cet écart est inférieur ou égal au seuil suivant,

$$w_L - w_H > c - \delta w_L \quad (52)$$

la demande pour le bien L (47) est nulle. En reprenant (30), on en déduit  $\bar{\theta} = \underline{\theta}$ . En tenant compte de l'égalité  $\bar{\theta} = \underline{\theta}$  dans la fonction de surplus social (44), puis en la maximisation par  $\bar{\theta}$ , on obtient alors :

$$\bar{\theta} = \frac{c + w_h}{1 + \delta} \quad (53)$$

En substituant, dans la fonction de demande du bien H (31),  $\bar{\theta}$  par sa valeur (53), cette dernière se réécrit alors :

$$D_H = 1 - \frac{c + w_h}{1 + \delta} \quad (54)$$

Les conditions de premier ordre de l'optimum social définissent les seuils à partir desquels il n'est plus optimal que les producteurs se différencient, ainsi que les quantités offertes pour chacune des situations possibles. Nous résumons l'ensemble de ces résultats sous la forme d'un tableau :

	$w_L - w_H \leq -(\delta - c)$	$-(\delta - c) < w_L - w_H \leq c - \delta w_L$	$c - \delta w_L < w_L - w_H$
$D_L$	$1 - w_L$	$\frac{w_H - w_L + c - \delta w_L}{\delta}$	0
$D_H$	0	$\frac{w_L - w_H - c + \delta}{\delta}$	$1 - \frac{c + w_h}{1 + \delta}$

Tableau 1: Les conditions d'optimalité

Dans la section suivante, nous déterminons les conditions de premier ordre de l'équilibre économique sous REP individuelle et collective.

### C. L'équilibre économique

Dans un premier temps, nous caractérisons les conditions de premier ordre de l'équilibre économique lorsque les producteurs financent l'élimination des déchets par le biais d'une REP individuelle. Dans un second temps, nous les caractérisons lorsque les producteurs financent l'élimination des déchets par une REP collective.

#### 1. L'équilibre économique sous REP individuelle

Nous commençons par déterminer les quantités vendues par chacun des producteurs quand ces derniers se différencient. L'équilibre économique est alors caractérisé par un équilibre de Nash-Bertrand en prix. Ensuite, nous déterminons les seuils à partir desquels les producteurs renoncent à se différencier. Pour finir, nous calculons les quantités offertes quand les biens sont homogènes, l'équilibre économique correspond alors à un duopole à la Bertrand.

#### L'équilibre de Nash Bertrand en prix

Un équilibre de Nash-Bertrand en prix correspond à un équilibre parfait en sous-jeux, c'est-à-dire à un équilibre de Nash pour chaque étape du jeu. Dans notre cas, la première étape correspond au choix de la qualité et la seconde étape au choix du prix. Pour résoudre cet équilibre nous raisonnons à rebours, c'est-à-dire que nous déterminons l'équilibre en prix puis l'équilibre des qualités. Or, le choix de la qualité est déjà déterminé. En effet, les producteurs n'ont le choix qu'entre deux qualités disponibles, et puisqu'ils se différencient nous savons qu'un produira la qualité  $\beta_L$  et l'autre la qualité  $\beta_H$ . Il ne nous reste plus qu'à résoudre l'équilibre de Nash des prix en prenant les qualités comme données.

Dans le cas d'une REP individuelle, nous savons que la fonction de profit de l'entreprise produisant la qualité L est,

$$\pi_L = (p_L - w_L)D_L \quad (55)$$

tandis que la fonction de profit de l'entreprise produisant la qualité H est,

$$\pi_H = (p_H - c - w_H)D_H \quad (56)$$

avec  $D_L$  et  $D_H$  données respectivement par les équations (37) et (38).

A l'équilibre économique les fonctions de demande sont alors<sup>15</sup> :

$$D_L = \frac{(1 + \delta)(c - \delta w_L - (w_L - w_H) + \delta(1 - w_L))}{\delta(3 + 4\delta)} \quad (57)$$

$$D_H = \frac{(1 + \delta)(2\delta - c + w_L - w_H) - \delta(c + w_H)}{\delta(3 + 4\delta)} \quad (58)$$

Comme à l'optimum social, la demande pour le bien L s'accroît avec le différentiel de coût  $c$  et se réduit avec la mesure de la différence de la qualité par les consommateurs  $\delta$ , tandis que la demande pour le bien H évolue en sens inverse.

De même, les producteurs en fonction de l'écart de coût de gestion des déchets entre les deux qualités disponibles peuvent choisir de ne plus se différencier.

<sup>15</sup> Un détail du calcul est fourni à l'annexe B.

## L'équilibre économique sous la forme d'un duopole de Bertrand

Quand les consommateurs ont une conscience environnementale ( $w_L > w_H$ ), leur demande pour le bien L (57) devient nulle quand l'écart entre les coûts de gestion des déchets est supérieur au seuil suivant :

$$w_L - w_H > c - \delta w_L + \delta(1 - w_L) \quad (59)$$

Dans ce cas, l'équilibre économique correspond à un duopole de Bertrand avec des biens homogènes. La fonction de demande pour le bien H est donnée par (42) qui, après résolution de l'équilibre économique<sup>16</sup>, est donc égale à :

$$D_H = 1 - \frac{c + w_H}{1 + \delta} \quad (60)$$

En revanche, si les consommateurs n'ont pas de conscience environnementale ( $w_L < w_H$ ), c'est la demande pour le bien H (58) qui devient nulle quand l'écart en termes de coût de gestion des déchets est inférieur ou égal au seuil suivant :

$$w_L - w_H \leq -(\delta - c) - \delta \left(1 - \frac{c + w_H}{1 + \delta}\right) \quad (61)$$

L'équilibre est de nouveau caractérisé par un duopole de Bertrand avec des biens homogènes. La fonction de demande pour le bien L (39), une fois l'équilibre économique résolu, s'écrit donc :

$$D_L = 1 - w_L \quad (62)$$

Nous résumons l'ensemble des résultats de l'équilibre économique sous REP individuelle par le tableau suivant :

	$w_L - w_H \leq \omega$	$\omega < w_L - w_H \leq \mu$	$\mu < w_L - w_H$
$D_L$	$1 - w_L$	$\frac{(1 + \delta)(c - \delta w_L - (w_L - w_H) + \delta(1 - w_L))}{\delta(3 + 4\delta)}$	0
$D_H$	0	$\frac{(1 + \delta)(2\delta - c + w_L - w_H) - \delta(c + w_H)}{\delta(3 + 4\delta)}$	$1 - \frac{c + w_H}{1 + \delta}$

Tableau 2 : Condition de premier ordre de l'équilibre économique avec une REP individuelle

avec,  $\mu = c - \delta w_L + \delta(1 - w_L)$  et  $\omega = -(\delta - c) - \delta \left(1 - \frac{c + w_H}{1 + \delta}\right)$ . Pour faciliter la comparaison entre les conditions de premier ordre de l'équilibre économique et de l'optimum social, nous reprenons le tableau de Fleckinger & Glachant (2010) :

Situation	1	2	3	4	5
$w_L - w_H$	$\cdot < \omega$	$\omega \leq \cdot < -(\delta - c)$	$-(\delta - c) \leq \cdot < c - \delta w_L$	$c - \delta w_L \leq \cdot < \mu$	$\mu \leq \cdot$
Optimum social	L	L	H+L	H	H
REP individuelle	L	H+L	H+L	H+L	H

Tableau 3 : Comparaison entre les conditions d'optimalité et de premier ordre de l'équilibre économique avec une REP individuelle

<sup>16</sup> La résolution de l'équilibre économique n'est ici pas présentée puisque nous sommes sous la forme simple d'un duopole avec des biens homogènes, les producteurs égalisent donc leur prix au coût marginal de production et d'élimination des déchets.

La REP individuelle est efficace pour décentraliser l'optimum social uniquement lorsque les biens sont fortement différenciés (situations 1 et 5). En revanche, quand la différenciation est moins importante, la REP individuelle est soit trop coercitive (situation 3) soit pas suffisamment (situations 2 et 4).

Dans le cas de la situation 3, où les biens sont peu différenciés voire quasi homogènes, la REP individuelle assure le design optimal des biens mais les quantités offertes sont inférieures aux quantités optimales<sup>17</sup>. La REP est donc un instrument trop coercitif. Ce résultat est similaire à celui de Runkel (2003) : sans REP les quantités offertes sont déjà sous optimales, et la REP accroît cet effet.

Les situations 2 et 4 caractérisent un résultat traditionnel de la littérature sur la différenciation verticale : les producteurs se différencient de manière excessive pour réduire la concurrence en prix. En effet, les producteurs continuent de se différencier alors que ce n'est plus une situation optimale. La REP n'est donc pas un instrument suffisamment coercitif pour inciter les producteurs à renoncer au pouvoir de marché que leur confère la différenciation.

**Proposition 2** : Une tarification au CMS sous la forme d'une REP individuelle est un instrument optimal uniquement quand l'écart de différenciation entre les biens est important. Dans les autres cas, une tarification au CMS s'avère soit trop coercitive soit pas suffisamment.

La REP individuelle ne parvient pas toujours à faire correspondre l'équilibre économique à l'optimum social, il peut donc être préférable de laisser les producteurs s'organiser pour financer la collecte des déchets par le biais d'une REP collective.

## 2. L'équilibre économique sous REP collective

Dans le cas d'une REP collective, les producteurs versent à un éco-organisme une contribution. La somme des contributions doit couvrir le coût social de l'élimination des déchets, cependant le montant d'une contribution ne reflète pas forcément le CMS.

Fleckinger & Glachant (2010) laissent une liberté totale aux producteurs pour fixer le montant de la contribution, la seule contrainte étant que la somme des contributions couvre le coût social d'élimination de l'ensemble des déchets. Prenons un exemple. Supposons un coût d'élimination du déchet égal à 1 euro pour le bien L et à 2 euros pour le bien H. Sous REP individuelle les producteurs supportent réellement ces coûts. En revanche, sous REP collective, le seul objectif étant la couverture des coûts, il est possible que la contribution pour le bien L soit seulement de 0.5 euros et celle pour le bien H de 2.5 euros. La couverture des coûts est toujours assurée mais le producteur du bien H verse une contribution supérieure à son CMS tandis que l'autre verse une contribution inférieure. Il est aussi possible que la contribution soit déconnectée des quantités vendues.

Cette liberté conduit les producteurs à adopter un comportement de collusion<sup>18</sup>, c'est-à-dire que les producteurs, plutôt que de maximiser individuellement leur profit, vont maximiser leur profit joint. L'équilibre économique correspond à un monopole discriminant quand les deux qualités sont commercialisées et à un monopole classique quand une seule qualité est commercialisée.

---

<sup>17</sup> Une preuve est disponible dans les annexes de la contribution de Fleckinger & Glachant (2010).

<sup>18</sup> Fleckinger & Glachant (2010) soulignent que dans la pratique une collusion totale est rarement possible due fait de l'existence de contraintes administratives ou techniques.

## L'équilibre économique comme un monopole discriminant

Nous commençons par la situation où les deux qualités sont commercialisées, la fonction de profit joint est :

$$\pi = \pi_L + \pi_H = (p_L - w_L)D_L + (p_H - c - w_H)D_H \quad (63)$$

Comme précédemment, les fonctions de demande sont données par (30) et (31) et l'équilibre économique correspond à un équilibre parfait en sous jeux mis à part que les producteurs collaborent. Nous raisonnons toujours à rebours avec le choix de la qualité comme donnée. Après avoir résolu l'équilibre de Nash des prix<sup>19</sup>, les fonctions de demande s'écrivent :

$$D_L = \frac{(c - (w_L - w_H) - \delta w_L)}{2\delta} \quad (64)$$

$$D_H = \frac{(\delta - c + w_L - w_H)}{2\delta} \quad (65)$$

La fonction de demande pour le bien L est toujours influencée positivement par le différentiel de coût et négativement par la mesure de l'écart de qualité des consommateurs. C'est l'inverse pour la demande de bien H. Ces demandes peuvent devenir nulles suivant les coûts de gestion des déchets ménagers ramenant l'équilibre économique à un monopole classique.

## L'équilibre économique sous la forme d'un monopole

Si les consommateurs ont une conscience environnementale ( $w_L > w_H$ ), plus l'écart en termes de coût de gestion des déchets est grand, plus la demande pour le bien H s'accroît au détriment de la demande pour le bien L. La demande pour le bien L (64) devient nulle lorsque l'écart entre les coûts de gestion des déchets est supérieur à :

$$w_L - w_H > c - \delta w_L \quad (66)$$

Dans ce cas, les producteurs cessent de se différencier et l'équilibre économique correspond à une situation de monopole. La fonction de profit est donc :

$$\pi_H = (p_H - c - w_H)D_H \quad (67)$$

La demande pour le bien H est donné par (42). Après résolution du programme de maximisation du monopole<sup>20</sup>, la demande pour le bien H s'écrit :

$$D_H = \frac{1 + \delta - c - w_H}{2(1 + \delta)} \quad (68)$$

Si les consommateurs n'ont pas de conscience environnementale ( $w_L < w_H$ ), alors toute hausse de l'écart en termes de coût de gestion des déchets entraîne une hausse de la demande pour le bien L et une réduction de la demande de bien H. La demande pour le bien H (65) devient nulle quand l'écart en termes de coût de gestion des déchets est inférieur ou égal au seuil suivant :

$$w_L - w_H \leq -(\delta - c) \quad (69)$$

Une nouvelle fois, l'équilibre économique correspond à une situation de monopole, où la fonction de profit est :

$$\pi_L = (p_L - w_L)D_L \quad (70)$$

<sup>19</sup> Un détail du calcul est fourni à l'annexe C.

<sup>20</sup> Nous sommes dans le cas d'un monopole traditionnel donc le producteur égalise sa recette marginale à son coût marginal.

La fonction de demande pour le bien L est donnée par (39). Après résolution du programme de maximisation du producteur, la demande pour le bien L s'écrit alors :

$$D_L = \frac{1 - w_L}{2} \quad (71)$$

Nous résumons, sous forme de tableau, l'ensemble des résultats caractérisant l'équilibre économique sous REP collective :

	$w_L - w_H \leq -(\delta - c)$	$-(\delta - c) < w_L - w_H \leq c - \delta w_L$	$c - \delta w_L < w_L - w_H$
$D_L$	$\frac{1 - w_L}{2}$	$\frac{w_H - w_L + c - \delta w_L}{2\delta}$	0
$D_H$	0	$\frac{w_L - w_H - c + \delta}{2\delta}$	$\frac{1 + \delta - c - w_H}{2(1 + \delta)}$

Tableau 4 : Les conditions de premier ordre de l'équilibre économique sous REP collective

La REP collective n'incite pas les producteurs à se différencier de façon excessive puisque les seuils (66) et (69) correspondent à ceux de l'optimum social (49) et (52). En revanche, que les producteurs se différencient ou non les quantités offertes (64), (65), (68) et (71) sont moitié moindres que les quantités optimales (47), (48), (54) et (51). Ces résultats s'expliquent par le comportement de collusion des producteurs. En effet, ces derniers n'ont pas besoin de se différencier de façon extrême pour réduire la concurrence en prix, cette concurrence étant déjà limitée par le comportement de collusion puisque les producteurs limitent la concurrence en choisissant les quantités permettant de maximiser leur profit joint, ce qui conduit à des quantités offertes trop faibles.

**Proposition 3 :** Une REP collective supprime tout excès de différenciation mais ne permet pas de décentraliser l'optimum social, elle restreint trop les quantités offertes.

Comparativement à la REP individuelle la REP collective a un effet positif, elle limite la différenciation à ce qui est socialement optimal et un effet négatif, elle restreint encore plus les quantités offertes. L'effet négatif l'emporte sur l'effet positif, c'est-à-dire que la restriction des quantités offertes entraîne une diminution du surplus social qui n'est pas compensée par le choix optimal des qualités. Ainsi, une REP individuelle est toujours préférable à une REP collective<sup>21</sup>.

Nous ne présentons pas le cas de la RI, les résultats étant identiques à ceux sous REP individuelle<sup>22</sup>.

**Proposition 4 :** La tarification au CMS sous la forme d'une REP individuelle ou d'une RI présente la même efficacité et sont plus efficaces qu'une tarification au CMS sous la forme d'une REP collective. Cependant, l'efficacité de la tarification au CMS est plus nuancée qu'en l'absence de pouvoir de marché des producteurs puisqu'elle peut entraîner une réduction du surplus social.

En présence d'un pouvoir de marché des producteurs, une tarification au CMS sous quelques formes que ce soit (REP individuelle ou collective, RI) ne parvient pas à décentraliser l'optimum social. En effet, ce mode de tarification est efficace pour une seule défaillance de marché, la présence d'externalité, mais ne parvient pas à lutter contre d'autres défaillances de marché, comme ici l'existence d'un pouvoir de marché des producteurs.

<sup>21</sup> Une preuve est disponible dans les annexes de la contribution de Fleckinger & Glachant (2010).

<sup>22</sup> Les résultats étant similaires à ceux de la REP individuelle nous ne présentons pas en détail les calculs de la redevance incitative. Toutefois, ces calculs sont disponibles sur demande.

## Conclusion

Cette revue de la littérature a permis de démontrer qu'en présence de biens différenciés la tarification au CMS n'est pas forcément une politique optimale, par contre la REP individuelle et la RI restent de parfaits substituts. En effet, si la différenciation ne génère aucun pouvoir de marché alors la tarification au CMS reste une politique optimale. En revanche si cette dernière génère un pouvoir de marché pour les producteurs, alors la tarification au CMS ne constitue une politique optimale qu'à condition que l'écart de différenciation entre les biens soit important. Quand cet écart se réduit, la tarification au CMS est soit trop coercitive soit pas suffisamment. Dans le premier cas, les niveaux de qualité sont optimaux mais les quantités offertes par chacun des producteurs sont trop faibles. Dans le second cas, les quantités offertes sont toujours insuffisantes car les producteurs se différencient de manière excessive.

Lorsque les producteurs sont en petit nombre ils peuvent adopter un comportement collusif et la REP collective aboutit à des résultats différents de la REP individuelle ou de la RI. La REP collective assure un choix optimal en matière d'éco-conception de la part des producteurs mais restreint les quantités de façon plus importante que la REP individuelle ou la RI. Cependant, comme l'ont démontré Fleckinger & Glachant (2010) une REP individuelle ou une RI restent préférables à une REP collective.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AALBERS F.T., VOLLEBERG H.R.J. (2008) "An economic analyses of mixing wastes", *Environmental Resource Economic*, p. 311-330.
- CALCOTT P., WALLS M. (2005), "Waste, recycling, and "Design for Environment" : Roles for markets and policy instruments", *Resource and Energy Economics*, April, p. 287-305.
- CALCOTT P., WALLS M. (2000), "Can downstream Waste Disposal Encourage Upstream "Design for Environment", *The American Economic Review*, May, p. 233-237.
- CHO C., IAIN F. (2001), "On the Flexibility of Optimal Policies for Green Design." *Environmental and Resource Economics*, April, p. 367-371.
- CHO C., IAIN F. (1999), "An Economic Analysis of Household Waste Management." *Journal of Environmental Economics and Management*, April, p. 234-246.
- DIJKGRAAF E., GRADUS R.H.J.M. (2004), "Cost savings in unit-based pricing." *Resource and Energy Economics*, p. 353-371.
- FLECKINGER P., GLACHANT M. (2010), "The Organization of Extended Producer Responsibility in Waste Policy with Product Differentiation." *Journal of Environmental Economics and Management*, p. 57-66.
- FULLERTON D., KINNAMAN T.C (1995), "Garbage, Recycling, and Illicit Burning or Dumping." *Journal of Environmental Economics and Management*, p. 78-91.
- FULLERTON D., KINNAMAN T.C (1996), "Household Responses to Pricing Garbage by the Bag." *The American Economic Review*, September, p. 971-984.
- FULLERTON D., WEMBO W. (1998), "Policies for Green Design." *Journal of Environmental Economics and Management*, p. 131-148.
- HONG S. (1999), "The effects of unit pricing system upon household solid wastemanagement: The Korean experience." *Journal of Environmental Management*, p. 1-10.
- JENKINS R.R., SALVADOR M., PALMER K., PODOLSKY M.J (2003), "The Determinants of Household Recycling : A Material Specific Analysis of Recycling Program Features and Unit Pricing." *Journal of Environmental Economics and Management*, p. 294-318.
- KINNAMAN T.C, FULLERTON D. (1997), "Garbage and Recycling in Communities with Curbside Recycling and Unit-Based Pricing." *NBER Working Paper Series*, April.
- KINNAMAN T.C (2006), "Policy Watch : Examining the Justification for Residential Recycling." *American Economic Association*, October, p. 219-232.
- LINDERHOF V., KOOREMAN P., MAARTENS A., DOEDE W. (2001) "Weight-based pricing in the collection of household waste: the Oostzaan case." *Resource and Energy Economics*, p. 359-371.
- MIRANDA M.L, EVERETT J.W, BLUME D., BARBEAU A.R (1994), "Market-Based Incentives and Residential Municipal Solid Waste", *Journal of Policy Analysis and Management*, p. 681-698.

- MUSSA M., ROSEN S. (1978), "Monopoly and Product Quality", *Journal of Economic Theory*, p. 301-317.
- PALMER K., WALLS M. (1996), "Optimal policies for solid waste disposal : Taxes, subsidies, and standards." *Journal of Public Economics*, November, p. 193 -205.
- PALMER K., SIGMAN H., WALLS M. (1996), "The Cost of Reducing Municipal Solid Waste." *Journal of Environmental Economics and Management*, September, p. 128-150.
- RUNKEL M. (2003), "Product Durability and Extended Producer Responsibility in Solid Waste Management." *Environmental and Resource Economics*, p. 161-182.
- VAN HOUTVEN G.L., MORRIS G.L. (1999), "Household Behavior under Alternative Pay-as-You-Throw Systems for Solid Waste Disposal", *Land Economics*, November, p. 515-537.
- WALLS M. (2003), "The Role of Economics in Extended Producer responsibility : Making Policy Choices and Setting Policy Goals." Washington: Resources for the Future, March.

## Annexe

### A. L'optimum social du modèle de Fleckinger & Glachant

L'expression du surplus social est donnée par :

$$SS = \int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}} u(\theta, \beta_L, p_L) + \int_{\underline{\theta}}^1 u(\theta, \beta_H, p_H) + (p_L - w_L)q_L + (p_H - c - w_H)q_H \quad A.1.$$

En substituant les fonctions d'utilité par leur expression, la fonction de surplus social se réécrit alors :

$$SS = \int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}} (\theta - p_L)d\theta + \int_{\underline{\theta}}^1 ((1 + \delta)\theta - p_H)d\theta + (p_L - w_L)q_L + (p_H - c - w_H)q_H \quad A.2.$$

Après intégration, (A.2) devient donc :

$$SS = \left( \frac{\bar{\theta}^2}{2} - \bar{\theta}p_L - \frac{\theta^2}{2} + \underline{\theta}p_L \right) + \frac{1+\delta}{2} - p_H - \left( \frac{1+\delta}{2} \right) \bar{\theta}^2 + \bar{\theta}p_H + (p_L - w_L)q_L + (p_H - c - w_H)q_H \quad A.3.$$

Après simplification, la fonction de surplus social a la forme suivante :

$$SS = \frac{1}{2}(\bar{\theta}^2 - \underline{\theta}^2) + \frac{1}{2}(1 + \delta)(1 - \bar{\theta}^2) - w_L(\bar{\theta} - \underline{\theta}) - (c + w_H)(1 - \bar{\theta}) \quad A.4.$$

En maximisant (A.4) par  $\underline{\theta}$  et  $\bar{\theta}$ , les valeurs des consommateurs indifférents sont les suivantes :

$$\frac{\partial SS}{\partial \underline{\theta}} = 0 \Leftrightarrow \underline{\theta} = w_L \quad A.5.$$

$$\frac{\partial SS}{\partial \bar{\theta}} = 0 \Leftrightarrow \bar{\theta} = \frac{-w_L + c + w_H}{\delta} \quad A.6.$$

### B. L'équilibre économique sous REP individuelle dans le modèle de Fleckinger & Glachant

La fonction de profit du producteur L est :

$$\pi_L = (p_L - w_L)D_L \quad B.1.$$

avec

$$D_L = \frac{p_H - p_L}{\delta} - p_L \quad B.2.$$

Nous maximisons (B.1) par  $p_L$ , nous obtenons alors :

$$\frac{\partial \pi_L}{\partial p_L} = 0 \Leftrightarrow p_L = \frac{1}{2(1 + \delta)}(p_H + w_L + \delta w_L) \quad B.3.$$

La fonction de profit du producteur H est :

$$\pi_H = (p_H - c - w_H)D_H \quad \text{B.4.}$$

avec

$$D_H = 1 - \frac{p_H - p_L}{\delta} \quad \text{B.5.}$$

Nous maximisons (B.4) par  $p_H$ , nous obtenons alors :

$$\frac{\partial \pi_H}{\partial p_H} = 0 \Leftrightarrow p_H = \frac{1}{2}(p_L + w_H + \delta + c) \quad \text{B.6.}$$

Pour déterminer les prix à l'équilibre de Nash, il suffit de résoudre (B.3) et (B.6) comme un système d'équation, d'où :

$$p_L = \frac{1}{(3 + 4\delta)}(w_H + \delta + c + 2w_L + 2\delta w_L) \quad \text{B.7.}$$

$$p_H = \frac{1}{(3 + 4\delta)}(w_L + \delta w_L + 2(w_H + \delta + c)(1 + \delta)) \quad \text{B.8.}$$

En substituant dans les fonctions de demande (B.2) et (B.5) les prix par leur valeur respective (B.7) et (B.8), les fonctions de demande se réécrivent donc :

$$D_L = \frac{1}{(3 + 4\delta)}(1 + \delta)(c - \delta w_L - (w_L - w_H) + \delta(1 - w_L)) \quad \text{B.9.}$$

$$D_H = \frac{1}{(3 + 4\delta)}(1 + \delta)(2\delta - c + w_L - w_H) - \delta(c + w_H) \quad \text{B.10.}$$

En substituant les prix (B.7) et (B.8) et les fonctions de demande (B.9) et (B.10) dans les fonctions de profit (B.1) et (B.4), les profits se réécrivent alors :

$$\pi_L = \frac{1}{\delta(3 + 4\delta)^2}(1 + \delta)(c - \delta w_L - (w_L - w_H) + \delta(1 - w_L))^2 \quad \text{B.11.}$$

$$\pi_H = \frac{1}{\delta(3 + 4\delta)^2}[(1 + \delta)(2\delta - c + w_L - w_H) - \delta(c + w_H)]^2 \quad \text{B.12.}$$

### C. L'équilibre économique sous REP collective dans le modèle de Fleckinger & Glachant

La fonction de profit joint est,

$$\pi = \pi_L + \pi_H = (p_L - w_L)D_L + (p_H - c - w_H)D_H \quad \text{C.1.}$$

avec

$$D_L = \frac{p_H - p_L}{\delta} - p_L \quad \text{C.2.}$$

$$D_H = 1 - \frac{p_H - p_L}{\delta} \quad \text{C.3.}$$

Nous maximisons (C.1) par  $p_L$  puis par  $p_H$  ce qui nous donne alors :

$$\frac{\partial \pi}{\partial p_L} = 0 \Leftrightarrow p_L = \frac{1}{2(1 + \delta)}(2p_H + w_L + \delta w_L - c - w_H) \quad \text{C.4.}$$

$$\frac{\partial \pi}{\partial p_H} = 0 \Leftrightarrow p_H = \frac{1}{2}(2p_L - w_L + \delta + c + w_H) \quad \text{C.5.}$$

En considérant (C.4) et (C.5) comme un système d'équation, les prix à l'équilibre de Nash sont :

$$p_L = \frac{1 + w_L}{2} \quad \text{C.6.}$$

$$p_H = \frac{1 + \delta + c + w_H}{2} \quad \text{C.7.}$$

En substituant les prix par leur valeur respective (C.6) et (C.7), les fonctions de demande (C.2) et (C.3) se réécrivent :

$$D_L = \frac{c - (w_L - w_H) - \delta w_L}{2\delta} \quad \text{C.8.}$$

$$D_H = \frac{\delta - c + (w_L - w_H)}{2\delta} \quad \text{C.9.}$$

En substituant les prix et les fonctions de demande par leur valeur respective (C.6), (C.7), (C.8) et (C.9), la fonction de profit joint (C.1) se réécrit :

$$\pi = \pi_L + \pi_H = \frac{1}{4\delta} (\delta - c - (w_L - w_H))^2 + \delta(1 - w_L)^2 \quad \text{C.10.}$$