

# Politique optimale de tarification des déchets municipaux en présence d'un secteur informel de recyclage

## Résumé

Ce papier propose un modèle général de politique de tarification incitative lorsque la gestion des déchets municipaux est assurée par deux secteurs. Un secteur formel (public ou privé), gère l'ensemble des activités de collecte, de recyclage et d'élimination alors que l'autre secteur, informel, ne s'adonne qu'aux activités de collecte et de recyclage. Nous montrons qu'une politique de type Deposit and Refund System (DRS) peut permettre d'atteindre l'optimum de premier rang, toutes choses étant égales par ailleurs. Le régulateur peut atteindre cet optimum en prélevant une taxe sur les biens de consommation égale au coût marginal social de l'élimination (Deposit), puis subventionner l'activité de recyclage dans les deux secteurs (Refunds). Le secteur formel à hauteur du Deposit et le secteur informel à hauteur du Deposit diminué des coûts sociaux du recyclage informel.

Mots clés : Déchets municipaux, tarification incitative, recyclage informel, Deposit and Refund System.

JEL code : D62, H23, H31, H32, L13

## Introduction

Comment les pays en développement peuvent-ils financer de façon durable la gestion des déchets municipaux ? Cette question est devenue en espace de quelques années la question centrale de la problématique de gestion durable de ces déchets. En effet, la Banque Mondiale (2012) estime qu'à l'horizon 2020-2025 et pour le niveau actuel de service, les coûts nécessaires pour poursuivre la gestion des déchets municipaux vont être multipliés par 3-4 dans les pays à faible et à revenus intermédiaires contre 1,4 dans les pays à revenus élevés. Un financement par la tarification incitative, à l'instar de ce qui se fait dans les pays de l'OCDE depuis très de trois décennies, peut être une solution. L'idée est de facturer la gestion des déchets municipaux à la marge, sous forme d'une tarification à l'acte, de la Responsabilité Élargie du Producteur (REP), du Deposit and Refund System (DRS), etc. Ceci permet d'une part, de dégager des ressources de façon pérenne et d'autre part, d'inciter les agents économiques à la prévention et au recyclage.

Malheureusement, la littérature théorique existante ne fournit pas un cadre d'analyse dans lequel des recommandations politiques peuvent être fournir aux pays en développement. Car, elle ne prend pas en compte le fait que la gestion des déchets municipaux est partagée

entre un secteur formel et un secteur informel dans ces pays. Pour exemple, voir Ino (2011), Fleckinger & Glachant (2010), Kinnaman (2010), Calcott & Walls (2005), Runkel (2003), Choe & Fraser (1999), Fullerton & Wu (1998), Palmer & Walls (1997) Fullerton & Kinnaman (1995)]. Cette littérature a essentiellement étudié les conditions d'optimalité, d'équivalence et de complémentarité de trois instruments de politique incitative (tarification à l'acte, REP et DRS). Cependant, deux hypothèses (implicites) sous-tendent leurs analyses : 1- tous les acteurs de la gestion des déchets sont formels, c'est à dire taxables et reconnus par l'autorité publique, 2- le recyclage est une activité sans coût social. De tous les auteurs, seul Ino (2011) a considéré la possibilité du déversement illégal des firmes du recyclage. Si ces deux hypothèses implicites sont vraisemblables dans les pays développés, ce n'est pas le cas dans les pays en développement (y compris en transition) où l'activité du secteur informel<sup>1</sup> est estimée en moyenne entre 17,5-38,4% du PIB (Schneider, Buehn, & Montenegro, 2010).

D'une manière générale, la significativité de l'impact de l'activité du secteur informel accentue la complexité des phénomènes de pollution et limite l'efficacité des politiques environnementales [Mazhar & Elgin (2013) ; Chattopadhyay, Banerjee, & Millock (2011) ; Baksi & Bose (2010) ; Chaudhuri & Mukhopadhyay (2006) ; Blackman (2000)]. En ce qui concerne la gestion des déchets municipaux, la réussite d'une politique de tarification incitative a été empiriquement tributaire de la significativité du Recyclage Informel (RI). Même à faible échelle, les pouvoirs publics sont tenus de mener des activités de contrôle très coûteuses pour garantir l'efficacité de leurs politiques. Malgré ces activités, le RI a par exemple coûté respectivement 2 et 4,5 millions \$ au programme de recyclage des villes de Los Angeles et de New York dans les années 90 [Mitchell (1995) ; Anonymous (1995)]<sup>2</sup>. Plus récemment, les programmes de modernisation de gestion des déchets municipaux au Caire (Égypte) et à New Delhi (Inde) ont été mis à mal par le RI [Ezeah, Fazakerley, & Roberts (2013) ; Wilson & al. 2009)].

Nous proposons dans ce papier d'adapter le cadre d'analyse d'Ino (2011) au contexte des pays en développement où coexiste des acteurs « formels » et « informels » sur le marché des Matières Recyclables (MR). Le taux moyen de la collecte légale dans ces pays étant inférieure à 100% et les unités du recyclage informel étant de très petite taille et géographiquement mobiles, nous supposons qu'il est inefficace de mener des activités de contrôle du RI dont les activités sont socialement coûteuses. En plus des hypothèses standard de petite économie ouverte, de marchés concurrentiels, de neutralité au risque des agents et de la balance des matières, nous formalisons les interactions stratégiques et les

---

<sup>1</sup> Tous domaines d'activités confondus

<sup>2</sup> Cité par Medina (2001)

conditions d'équilibre des secteurs formel et informel. Ensuite, nous analysons leurs réactions lorsqu'on introduit une politique de tarification incitative et déduisons les conditions d'optimalité d'une telle politique. Les conclusions de notre analyse montrent d'une part, qu'une politique de tarification à l'acte est contre-productive. Le régulateur ne pouvant pas contrôler le RI, ce dernier sert de « havre de pollution » pour les ménages. D'autre part, nous montrons qu'une politique incitative DRS de premier rang est possible, toutes choses étant égales par ailleurs.

Le reste du papier est structuré en quatre parties. La première et la deuxième section présentent, respectivement, les principales caractéristiques du RI et les hypothèses du modèle. Les deux dernières parties analysent les conditions d'équilibre et d'optimum social d'une politique de tarification incitative sans et avec prise en compte du RI.

## **1. Secteur informel de gestion des déchets municipaux dans les pays en développement**

La gestion des déchets municipaux est l'une des activités de l'économie publique où le secteur informel est très actif dans les pays en développement. Son ampleur fait qu'une littérature descriptive de son fonctionnement a émergé à partir des années 2000. Le Recyclage Informel (RI), connu sous plusieurs noms<sup>3</sup>, désigne les activités de collecte, tri, réutilisation ou valorisation des matières par les ramasseurs privés (individus, groupes familiaux) non reconnus par les municipalités. Il est caractérisé par une utilisation intensive de la main-d'œuvre, une faible technologie et un travail peu rémunéré, non enregistré et non réglementé. Il est le résultat de plusieurs facteurs économiques et sociaux : pauvreté, exclusion sociale, exode rural, constitution des mégapoles, immigration, chômage de longue durée, main d'œuvre peu qualifiée, manque ou absence de collecte légale<sup>4</sup>... [Ezeah, Fazakerley, & Roberts (2013) ; Wilson, Velis, & Cheeseman (2006)].

Le RI a les mêmes avantages environnementaux que le recyclage formel (réduction de la consommation des matières vierges et d'énergie, minimisation de la quantité de déchets éliminée, etc.). En outre, il a des avantages économiques que sont principalement la fourniture d'emplois et une source de revenus aux plus pauvres (Figure 1). Environ 0,5-2% de la population urbaine vivent de cette activité [Wilson & al. (2012), Medina, (2008 ; 2000)]. Par ailleurs, le RI permet d'éviter des coûts externes estimés à 2,4 - 7,3 millions d'euros

---

<sup>3</sup> Zabaleen en Égypte, Cartoneros en Argentine et au Brésil, Chifonye en Haïti, Kacharawala à Delhi (Inde), Tokai au Bangladesh, Kabarisi à Karachi (Pakistan), Pепенadores ou Catroneros au Mexique, Basuriegos ou Traperos en Colombie, Boujouman au Sénégal, Kaya Bola au Ghana ; Pemulung en Indonésie, etc.

<sup>4</sup> Le taux de la collecte légale est par exemple estimé dans les pays du Middle East and North Africa (MENA) à 40-100% en zone urbaine et à 5-90% en zone rurales (Arif, 2010).

dans six métropoles<sup>5</sup> de pays en développement (Gunsilius, Chaturvedi, & Scheinberg, 2011).

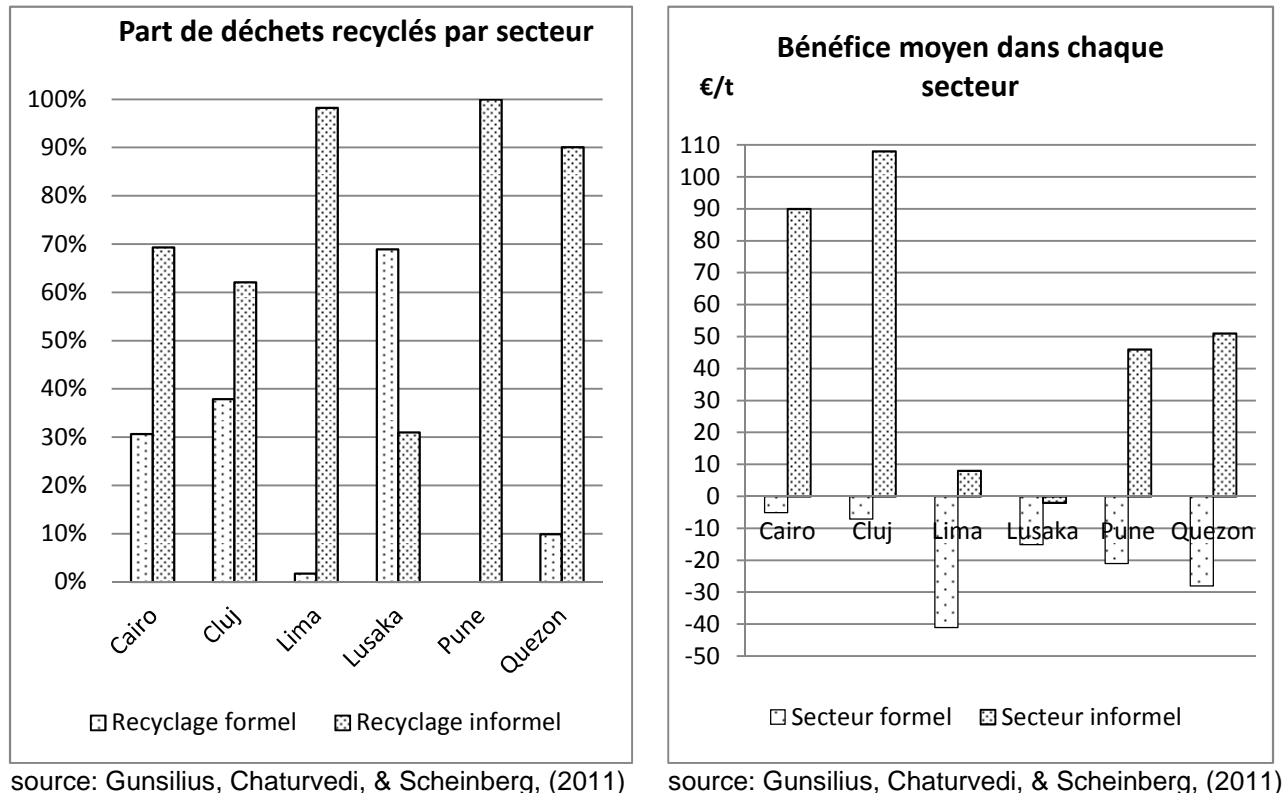


Figure 1 : Part et bénéfice moyen des secteurs formel et informel de recyclage

Toutefois, le caractère « informel » du recyclage favorise le déversement illégal, l'utilisation de technologies « polluantes » ayant d'importants risques pour la santé publique et l'environnement, l'exposition des travailleurs aux risques professionnels. À cet égard, le recyclage des déchets électroniques est bien critique. Les techniques<sup>6</sup> de démantèlement rudimentaires, quoiqu'efficaces, libèrent des substances nuisibles (plomb, cadmium, mercure, GES...) dans l'air, contaminent le sol et les eaux souterraines. Les travailleurs dans le RI sont les premiers exposés aux risques sanitaires. Les risques de blessures, de maladies parasitaires, infectieuses et pulmonaires sont 2 à 10 fois plus avérées chez ces travailleurs que pour le reste de la population [UN-HABITAT (2010a-2010b) ; Cointreau (2006)]. Aussi, sans couverture sociale, ils travaillent en moyenne entre 6 et 10h par jour. Le travail des enfants est par ailleurs une pratique courante dans le RI [Asima & al., (2012) ; Gunsilius (2012) Medina (2008) UN-HABITAT (2010b) ; Fahmia & Sutton (2006)]. Le RI est donc désirable à la fois pour ses avantages économiques et environnementaux et

<sup>5</sup> Caire (Égypte), Lima (Pérou), Lusaka (Zambie), Cluj-Napoca (Roumanie), Pune(Inde) et Quezón (Philippines)

<sup>6</sup> Il est d'usage de brûler à l'air libre, les déchets électroniques pour récupérer les métaux précieux (cuivre, acier, aluminium...) UNEP (2009).

indésirable pour ses coûts sociaux en terme d'émissions polluantes, de risques sanitaires et sociaux.

Le tableau actuel de la gestion des déchets dans la majorité des pays en développement présente une configuration semblable à celle de la France de Poubelle (1884) où un secteur formel coexiste avec un secteur informel de recyclage. Le secteur du RI peut fonctionner en toute autonomie (collecte, recyclage, vente sur le marché local ou international...) et de fait concurrencer le secteur formel de recyclage. Les deux secteurs peuvent aussi coopérer. Dans ce cas, le secteur formel joue le rôle d'intermédiaire entre le RI et marché local ou international des Matières Premières Secondaires (MPS). Le RI est alors qualifié de base d'un système pyramidal hybride où activités informelles et formelles sont dynamiquement liées [Oteng-Ababio, Arguello, & Gabbay (2013), Tirado-Soto & Zamberlan (2013) et Wilson, Velis, & Cheeseman (2006)].

Depuis les années 90, plusieurs organisations internationales<sup>7</sup> promeuvent la gestion intégrée et durable des déchets (ISWM<sup>8</sup>) pour une amélioration de la situation dans les pays en développement. L'ISWM veut l'intégration de toutes les parties prenantes dans la définition d'une stratégie de gestion des déchets municipaux. Le RI étant un acteur principal dans ce domaine, comment son intégration peut se traduire dans une politique de tarification incitative ? Et quelles seront les conséquences d'une telle politique sur sa taille et sa relation avec le secteur formel de gestion des déchets municipaux ? Les analyses dans les sections suivantes apporteront des éléments de réponses à ces questions.

## 2. Modèle : hypothèses

### 2.1. Consommateurs

Soit une petite économie ouverte de  $m$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) ménages neutres au risque. Ils consomment deux biens homogènes ( $x$  et  $y$ ) et offrent des Matières Recyclables (MR) aux firmes. Le programme du consommateur est défini en (1) où  $x_i^d, y_i^d > 0$  sont les demandes du ménage  $i$ ;  $U_i: \mathbb{R}_+ \mapsto \mathbb{R}$ .  $y$  est le bien numéraire et sa consommation ne génère pas de déchets. Par contre, la consommation d'une unité de  $x$  génère une unité de déchets. Pour ces déchets, le ménage  $i$  fournit la quantité  $r_i^s$  aux firmes du recyclage au prix  $P_r \in \mathbb{R}^9$  et à

---

<sup>7</sup> Collaborative Working Group on Solid Waste Management in Low- and Middle-Income Countries, Banque Mondiale, UN-Habit, Sweep-net

<sup>8</sup> Integrated Sustainable Waste Management.

<sup>9</sup>  $P_r$  est le prix des Matières Recyclables (MR) payé par les firmes du recyclage (positif) ou payé par les ménages (négatif). Les ménages peuvent payer les firmes du recyclage pour éviter la taxe sur l'élimination ou la pénalité sur l'élimination illégale.

un coût<sup>10</sup>  $Cr: \mathbb{R}_+ \mapsto \mathbb{R}_+$ ; élimine la quantité  $z_i$  légalement au prix  $\tau \in \mathbb{R}_+$  ou déverser illégalement  $z_i^h$  contre une amende<sup>11</sup>  $\tau_h \in \mathbb{R}_+$  avec  $x_i^d = r_i^s + z_i + z_i^h$ <sup>12</sup>.

$$\begin{cases} \max_{x_i^d, y_i, r_i^s, z_i, z_i^h} U_i(x_i^d; y_i^d) \\ s/c : P_x x_i^d + y_i^d + \tau z_i + \tau_h z_i^h + Cr_i(r_i^s) \leq I_i + P_r r_i^s \\ x_i^d = r_i^s + z_i + z_i^h \end{cases} \quad 1$$

Où  $I_i$  est le revenu du ménage,  $P_x$  et  $P_r$  les prix du marché respectivement du bien  $x$  en terme de  $y$  et des MR. Les conditions de 1<sup>er</sup> ordre (CPO) du ménage représentatif sont définies par:

$$\begin{aligned} U_{i_x}'(x_i^d; y_i^d) &= \mu_i P_x - \lambda_i; & U_{i_y}'(x_i^d; y_i^d) &= \mu_i; & \mu_i Cr_i'(r_i^s) &= \mu_i P_r - \lambda_i \\ -\mu_i \tau &= -\mu_i \tau_h = \lambda_i \end{aligned}$$

Où  $\mu_i$  est l'utilité marginal du revenu et  $\lambda_i$  coût marginal d'élimination des déchets. Etant neutre au risque, le ménage  $i$  choisira le mode d'élimination qui minimise son coût. Dès lors, il est incité à l'élimination illégale si l'espérance de son amende est inférieure à la taxe sur l'élimination légale  $\tau_h < \tau$ . On a alors  $z_i = 0$  et  $z_i^h > 0$ . Dans le cas contraire,  $\tau_h \geq \tau$ , le ménage  $i$  optera pour l'élimination légale. On a dans ce cas  $z_i > 0$  et  $z_i^h = 0$ . Puisque l'élimination illégale n'est pas désirable, nous considérons par la suite le cas où  $\tau_h \geq \tau$ . Les fonctions de demande des biens et d'offre de MR des ménages peuvent être définies avec les fonctions inverses.

$$U_i'(x_i^d; y_i^d) = P_x + \tau \qquad Cr_i'(r_i^s) = P_r + \tau \qquad 2$$

$$x_i^d(P_x + \tau) = U_i'^{-1}(P_x + \tau) \qquad r_i^s(P_r + \tau) = Cr_i'^{-1}(P_r + \tau) \qquad 3$$

$$X^d(P_x; \tau) = \sum_{i=1}^m U_i'^{-1}(P_x + \tau) \qquad R^s(P_r; \tau) = \sum_{i=1}^m Cr_i'^{-1}(P_r + \tau) \qquad 4$$

On suppose  $X^d(P_x; \tau)$ , et  $R^s(P_r; \tau)$  appartiennent à la même classe  $C^n$ . Notons que la demande de biens ( $X^d$ ) et l'offre de MR ( $R^s$ ) des ménages dépendent des prix ( $P_x$  et  $P_r$ ) et du coût marginal d'élimination légale. Lorsqu'on facture le service d'élimination à la marge, les ménages réagissent non seulement à la quantité de biens consommés mais aussi à la quantité de MR fournies aux firmes du recyclage.

<sup>10</sup> Le coût du recyclage pour les ménages représente les efforts du tri (temps, stockage, transport...)

<sup>11</sup>  $\tau_h$  est l'espérance de la pénalité de l'élimination illégale pour les ménages

<sup>12</sup> La balance des matières est une hypothèse usuelle dans les modèles de politiques optimales (voir Kinnaman (2010), d'Aalbers & Vollebergh (2008), Palmer & Walls, 1997)

## 2.2. Marchés

Il existe deux marchés sur lesquels les  $m$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) ménages et  $n$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) firmes sont « *price takers* ». Nous supposons aussi qu'il existe un secteur informel qui opère uniquement dans le domaine de gestion des déchets municipaux. Ces deux hypothèses nous permettent d'ignorer les politiques visant à améliorer l'efficacité de l'allocation des ressources et de nous concentrer sur les problèmes environnementaux liés à la gestion des déchets<sup>13</sup>.

Sur le marché des biens, la firme  $j$  offre  $x_j^s$  à  $P_x$  pour un coût  $Cx_j(x_j^s): \mathbb{R}_+ \mapsto \mathbb{R}_+$ . Sur le marché des Matières Recyclables (MR), les firmes sont demandeurs et les ménages offreurs. Les  $n^f$  firmes du secteur formel (FSF) et  $n^i$  firmes du secteur informel (FSI) se partagent les opérations de transformation des MR en Matières Premières Secondaires (MPS). La demande de MR de la firme  $j$  dans le secteur formel est notée  $r_j^f$  et celle de la firme  $j$  dans le secteur informel est notée  $r_j^i$ . On suppose que toutes les firmes transforment la totalité de leur demande de MR et en retirent un bénéfice noté  $B_j^f(r_j^f); B_j^i(r_j^i): \mathbb{R}_+ \mapsto \mathbb{R}$  respectivement dans le secteur formel et informel, avec  $B_j^{f'}(0) > 0$ ,  $B_j^{i'}(0) > 0$  et  $\lim_{r_j^i \rightarrow \infty} B_j^{i'}(r_j^i) = -\infty$ ;  $\lim_{r_j^f \rightarrow \infty} B_j^{f'}(r_j^f) = -\infty$ . Les fonctions de bénéfices,  $B_j^s$   $s = \{f, i\}$ , sont homogènes de degré 1 et strictement concave<sup>14</sup>. La demande de MR de l'ensemble des firmes (formelles et informelles) est notée  $r_j^d$  dont  $\alpha$  est la part de la firme formel :  $r_j^d = r_j^f + r_j^i = \alpha r_j^d + (1 - \alpha)r_j^d$ ,  $\alpha \in [0, 1]$ , (Tableau 1). Les relations entre les différents marchés sont schématisées par la **figure 2**.

Les caractéristiques du secteur informel (section 1) nous permettent de distinguer les FSF des FSI par leur productivité. Les FSI ont une faible productivité<sup>15</sup>, et donc des coûts marginaux plus importants. Toutefois, les FSF peuvent supporter d'importants coûts de transaction<sup>16</sup> et les FSI ont l'avantage d'échapper à toutes contraintes règlementaires (travail des enfants, non respect des conditions de sécurité des travailleurs et assurance contre les risques professionnels...), environnementales (utilisation de techniques polluantes) et

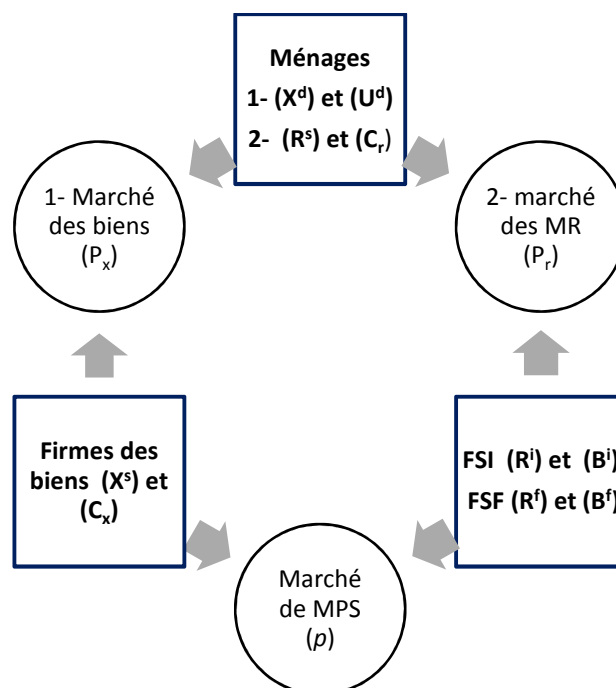
<sup>13</sup> Fleckinger & Glachant (2010) et Runkel (2003) montrent que la tarification incitative ne corrige pas les imperfections du marché.

<sup>14</sup> Les  $B_j$  sont exogènes et définies par  $B_j^s(r) = p - C^s(r)$ ,  $s = \{f, i\}$ .  $p$  est un prix exogène et  $C^s(r)$  le coût de transformation (ou coût de transaction) des MR en MPS dans le secteur formel et informel.  $p$  peut être interprété comme le prix de vente des MPS sur le marché ou comme le prix de son substitut parfait (matière première vierge) s'il est utilisé par la firme dans la production du bien de consommation.

<sup>15</sup> Cette hypothèse est communément utilisée dans la littérature, voir par exemple Cerda & Saravia (2013); Chattopadhyay, Banerjee, & Millock (2011); Baksi & Bose (2010)

<sup>16</sup> (Shinkuma, 2003).

fiscales<sup>17</sup>. Ce qui leur donne la possibilité de transformer en MPS la partie des MR dont le coût de transformation est prohibitif pour les FSF. Par ailleurs, les FSI peuvent bénéficier de certains avantages « endogènes » (zones géographiques éloignées ou inaccessibles pour les FSF). Par exemple, le taux moyen de la collecte légale dans les pays à revenu faible ou intermédiaire est compris entre 41% et 85%<sup>18</sup>. Les FSI bénéficient, de fait, d'une situation de « monopole géographique » sur les zones non couvertes par une collecte légale. Finalement, la relation entre les bénéfices marginaux des firmes des deux secteurs est indéterminée.  $B_j^{f'}$  peut être supérieur (inférieur) à  $B_j^{i'}$  en fonction des coûts de transaction dans le secteur formel et des avantages « endogènes » et des coûts sociaux évités dans le secteur informel.



Note : MR (Matières Recyclables), MPS (Matières Premières Secondaires), FSF (Firmes du Secteur Formel), FSI (Firmes du secteur Informel).

Figure 2 : Structure des marchés avec 2 secteurs sur le marché des MR

Deux conditions sont nécessaires, mais pas suffisantes, à l'existence des FSI. Elles ont directement accès au marché des MPS où elles peuvent écouler leur production au prix  $p$ ; ou elles coopèrent avec les FSF à qui elles revendent leur collecte de MR ou leur production de MPS<sup>19</sup>.

<sup>17</sup> Asima & al., (2012) ; Medina (2008) ; UN-HABITAT (2010b) ; Fahmia & Sutton (2006) ; UNEP (2009)

<sup>18</sup> (Hoornweg & Bhada-Tata, 2012)

<sup>19</sup> Les FSI ont aussi une troisième option qui est de vendre sur un marché parallèle informel. Mais nous étudions ici que les deux premières conditions.



Somme toute, le programme de la firme représentative est défini par :

$$\max_{x_j^s, y_j^s} [(P_x - t)x_j^s + y_j^s - Cx_j(x_j^s) - Cy_j(y_j^s)] \quad 5$$

$$\max_{r_j^f} [B_j^f(r_j^f) - (P_r - s)r_j^f] \quad 6$$

$$\max_{r_j^i} [B_j^i(r_j^i) - P_r r_j^i] \quad 7$$

### 2.3. Secteur public

Le secteur public est représenté par un régulateur responsable de la gestion des déchets. Nous supposons qu'il existe deux modes de gestion des déchets : le recyclage (réutilisation, transformation en MPS) et l'élimination (décharge contrôlée, enfouissement, incinération...). L'élimination est un bien public fourni par le régulateur ou par des firmes formelles pour son compte. Il n'existe donc pas de « marché » pour l'élimination et elle est dommageable pour l'environnement. Son coût social marginal est noté  $d$  (coût privé de l'élimination et de dégradation de l'environnement). Les firmes informelles (FSI) peuvent aussi s'adonner à l'élimination dont le coût social marginal est noté  $d^{ei}$ . Puisque ces dernières ont accès à une technologie « polluante » et socialement coûteuse, nous considérons  $d < d^{ei}$ . Les déchets éliminés illégalement par les ménages,  $z_i^h$ , génèrent aussi un coût social marginal noté  $d_h$ , avec  $d < d_h \approx d^{ei}$ .

Le secteur informel de recyclage émerge parce qu'il existe un marché de MPS où les SFI reçoivent un prix en contrepartie de leurs coûts (privés) et en tirent un bénéfice ( $B_j^i$ ). Alors que pour l'élimination, elles ne recevront aucune compensation du régulateur qui ne les reconnaît pas. L'élimination est alors assurée exclusivement par le secteur formel,  $\beta = 1$  (Tableau 1). On suppose que le dommage environnemental du recyclage formel est négligeable. Par contre, du fait que les FSI ont accès à des « techniques polluantes » et socialement coûteuses pour minimiser leur coût privé, le recyclage informel est dommageable<sup>20</sup>,  $d^{ri} > 0$ . Cependant, le recyclage informel est préférable à l'élimination<sup>21</sup> du point de vue du bien être social,  $d^{ri} < d$ .

Le régulateur peut mener une politique pour internaliser les dommages environnementaux de l'élimination et du Recyclage Informel (RI) avec un Deposit Refund System « DRS » ou la tarification à l'acte. Le DRS lui permet de prélever une taxe ( $t$ ), sur la consommation de

<sup>20</sup> Pollutions et dommages sociaux liés aux conditions de travail dans l'informel.

<sup>21</sup> Gunsilius, Chaturvedi, & Scheinberg (2011) estiment à plusieurs millions d'euros le bénéfice du recyclage informel dans les grandes métropôles des pays en développement et émergents.

biens et de subventionner ( $s$ ) les activités de recyclage. La tarification à l'acte lui permet de taxer proportionnellement ( $\tau$ ) la quantité de déchets mise à l'élimination.

Tableau 1 : Composition sectorielle des firmes de la gestion déchets municipaux

Modes de gestion des déchets municipaux	Elimination		Recyclage	
	Part du secteur	Domage (coût privé et social)	Part du secteur	Domage (coût social)
Formel (FSF)	$\beta$	$d$	$\alpha$	-
Informel (FSI)	$1 - \beta$	$d^{ei}$	$1 - \alpha$	$d^{ri}$

Puisque les marchés sont concurrentiels, il est possible pour le régulateur de connaître les quantités  $(x_j^s, y_j^s \dots x_n^s, y_n^s)$  et  $(r_j^f \dots r_n^f)$ . Par contre, les informations par rapport aux quantités  $(r_i^s \dots r_m^s)$  et  $(r_j^i \dots r_n^i)$  sont privées. Les ménages peuvent par exemple faire du déversement illégal et déclarer qu'ils ont recyclé. Les activités des FSI sont par définition inobservables pour le régulateur.

Dans ces conditions, les activités de contrôle sont nécessaires pour permettre au régulateur de connaître les quantités de déchets déversées illégalement par les ménages et de MR transformées par les FSI,  $z_i^h$  et  $r_j^i$ . En cas de contrôle, dont la probabilité dépend positivement des dépenses de contrôle, le ménage paie une amende moyenne<sup>22</sup> notée  $\tau_h$ . Théoriquement, le régulateur peut contrôler des FSI et leur faire payer une amende maximum égale à leur bénéfice<sup>23</sup>,  $\tau_i = B_j^i(r_j^i)$ . Cependant, leur nombre, micro taille, dispersion et mobilité géographique rendent les coûts de contrôle prohibitifs. De plus, la suppression du secteur informel diminue le bien être social. Le régulateur perd d'une part, le bénéfice économique du RI ; et d'autre part, se doit d'assister socialement les anciens travailleurs du RI au risque de déclencher une crise sociale en supprimant l'unique moyen de subsistance pour des milliers de personnes<sup>24</sup>. Nous faisons donc l'hypothèse que le régulateur renonce au contrôle des FSI.

La fonction de coût de contrôle des ménages, croissante et strictement convexe est notée  $\Gamma_h(\tau_h): \mathbb{R}_+ \mapsto \mathbb{R}_+$ . Le programme du régulateur est composé du surplus du consommateur, du surplus des firmes et du surplus social :

<sup>22</sup> Comme dans Choe & Fraser (1999)

<sup>23</sup> Comme dans Biswas, Farzanegan, & Thum (2012) afin de supprimer la firme informelle.

<sup>24</sup> Pour mémoire, les printemps arabes sont partis du contrôle d'un vendeur ambulant, c'est-à-dire de l'informel.

$$\begin{aligned}
W \equiv & \sum_{i=1}^m [U_i(x_i^d; y_i^d) - P_x x_i^d - y_i^d] + \sum_{i=1}^m [P_r r_i^s - C r_i(r_i^s)] - \sum_{i=1}^m [\tau z_i + \tau_h z_i^h] \\
& + \sum_{j=1}^n [x_j^s (P_x - t) + y_j^s - C x_j(x_j^s) - C y_j(y_j^s)] + \sum_{j=1}^n [B_j^f(r_j^f) - (P_r - s)r_j^f] \\
& + \sum_{i=1}^m [\tau z_i + \tau_h z_i^h] + \sum_{j=1}^n [t x_j^s - s r_j^f] - d \sum_{i=1}^m z_i - d_h \sum_{i=1}^m z_i^h
\end{aligned} \tag{8}$$

Après avoir posé les conditions d'équilibre des marchés,  $X \equiv \sum_{i=1}^m x_i^d = \sum_{j=1}^n x_j^s$ ,  $Y \equiv \sum_{i=1}^m y_i^d = \sum_{j=1}^n y_j^s$  et  $\alpha R \equiv \alpha \sum_{i=1}^m r_i^s = \alpha \sum_{j=1}^n r_j^d = \sum_{j=1}^n r_j^f$ ; on peut réécrire le programme du régulateur sous la forme suivante

$$\begin{aligned}
W \equiv & \sum_{i=1}^m [U_i(x_i^d; y_i^d) - C r_i(r_i^s) - d z_i - d_h z_i^h] + \sum_{j=1}^n [\alpha B_j^f(r_j^d) - C x_j(x_j^s) - C y_j(y_j^s)] - \\
& \Gamma_h(\tau_h)
\end{aligned} \tag{9}$$

En réalité, le programme (9) est de 2<sup>nd</sup> rang, car il ignore complètement le secteur informel de recyclage. Si les instruments de la politique de tarification incitative sont bien calibrés et le contrôle des ménages efficace, seuls les ménages supporteront les coûts sociaux de l'élimination.

### 3. Structure des marchés et optimum social sans prise en compte du Recyclage Informel (RI)

Comment les marchés vont-ils réagir à la politique de tarification incitative? Dans cette section, nous comparons l'équilibre des marchés à l'optimal social quel que soit l'instrument de la politique de tarification (pour tout  $\tau \neq 0$  ou  $t = s \neq 0$ ). Nous considérons que le régulateur ignore l'existence du RI et souhaite calibrer  $t$  et  $s$  (Deposit and Refund System) ou  $\tau$  (tarification à l'acte) pour internaliser les coûts sociaux sans mener des activités de contrôle des ménages. Pour la tarification à l'acte, le régulateur sait qu'en respectant la condition  $\tau = \tau_h$ , la neutralité au risque des ménages les conduira à éliminer légalement leurs déchets. On a donc  $z_i^h = 0$ . Les Conditions de Premier Ordre (CPO) du ménage représentatif sont définies par (2). L'équilibre des firmes dépend des interactions entre secteurs formel et informel. Nous analysons trois structures de marchés dont une en concurrence imparfaite.

#### 3.1. Secteurs formel et informel en concurrence « parfaite »

La concurrence « parfaite » est une situation où toutes les firmes, sans exception, ont accès aux marchés concurrentiels (marchés de biens, de MR et de MPS). Chaque firme maximise alors son programme. Sur le marché de MR, l'absence de contrôle et l'accès au

marché des MPS permettent aux FSI d'être opérationnelles. La demande réelle de MR,  $r_j^d$ , est alors égale à la somme des demandes de la FSF et de FSI représentative,  $r_j^d = r_j^i + r_j^d = \alpha r_j^d + (1 - \alpha)r_j^d$ . Les CPO des firmes sont les suivantes :

$$Cx'_j(x_j^s) = (P_x - t) \quad Cy'_j(y_j^s) = 1 \quad 10$$

$$B'_j{}^f(r_j^d) = B_j{}^{fM} = (P_r - s) \quad B'_j{}^i(r_j^d; s) = B_j{}^{iM} = P_r \quad 11$$

Les  $B_j{}^{fM}$  et  $B_j{}^{iM}$  sont les bénéfices moyens des firmes respectivement dans le secteur formel et informel. Les firmes de chaque secteur maximisent leur bénéfice en égalisant bénéfice marginal au bénéfice moyen (condition intra-secteur). Par hypothèse, les firmes ont même taille quel que soit leur secteur d'où  $\alpha = (1 - \alpha)$ . Sans politique de tarification incitative,  $\tau = s = t = 0$ , nous avons à l'équilibre :

$$U_i'(x_i^d; y_i^d) = Cx'_j(x_j^s) = P_x \quad 12$$

$$B'_j{}^f(r_j^d) = B_j{}^{fM} = B'_j{}^i(r_j^d) = B_j{}^{iM} = C'_r(r_i^s) = P_r \quad 13$$

A l'équilibre, la demande de la FSF est égale à celle de la FSI (**Figure 3**). Cependant, pour toute politique de tarification incitative,  $\tau \neq 0$  et  $s = t \neq 0$ , l'équilibre des marchés change (**Figure 4 & Figure 5**). Avec une politique de tarification à l'acte, les marchés sont en équilibre si :

$$U_i'(x_i^d; y_i^d) = Cx'_j(x_j^s) = (P_x + \tau) \quad 14$$

$$B'_j{}^f(r_j^d; s) = B_j{}^{fM} = B'_j{}^i(r_j^d) = B_j{}^{iM} = C'_r(r_i^s) = (P_r + \tau) \quad 15$$

Avec une politique incitative DRS, les conditions d'équilibre des marchés sont définies par :

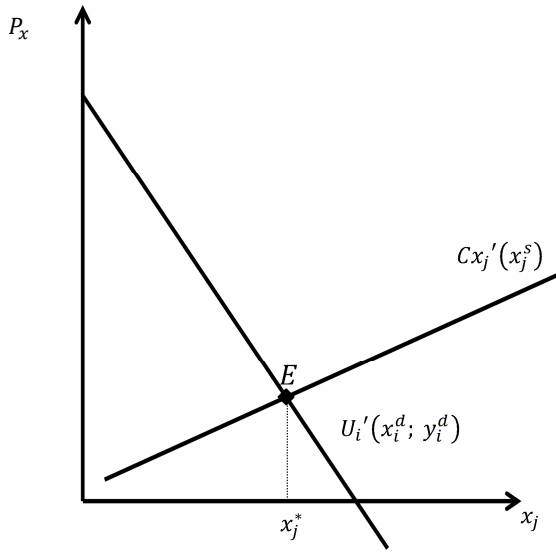
$$U_i'(x_i^d; y_i^d) = Cx'_j(x_j^s) = (P_x - t) \quad 16$$

$$B'_j{}^f(r_j^d; s) = B_j{}^{fM} = C'_r(r_i^s) = (P_r - s) \quad 17$$

$$B'_j{}^i(r_j^d) = B_j{}^{iM} = C'_r(r_i^s) = (P_r) \quad 18$$

**Lemma 1** :  $\frac{\partial P_x^*}{\partial t} > 0$  ;  $\frac{\partial P_x^*}{\partial \tau} < 0$  ;  $\frac{\partial P_r^*}{\partial s} > 0$  ;  $\frac{\partial P_r^*}{\partial \tau} < 0$  ;  $\frac{\partial R^*}{\partial s} = \frac{\partial R^*}{\partial \tau} > 0$  ;  $\frac{\partial X^*}{\partial t} = \frac{\partial X^*}{\partial \tau} < 0$  (Annexe 1)

Marché des biens de consommation



Marché des Matières Recyclables (MR)

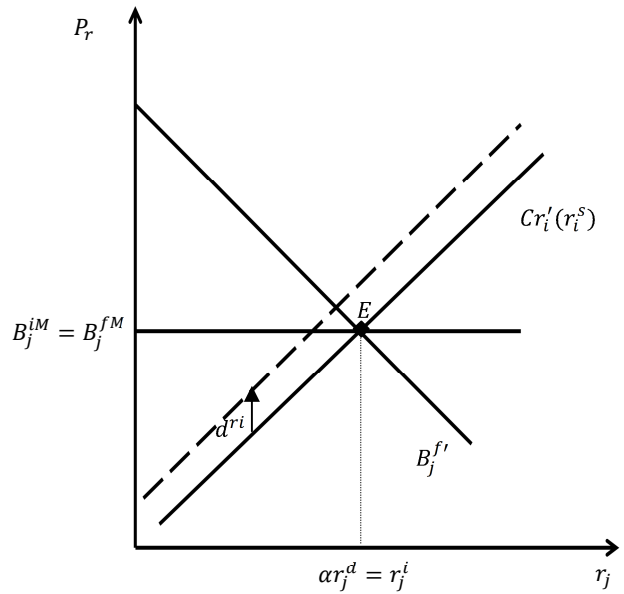
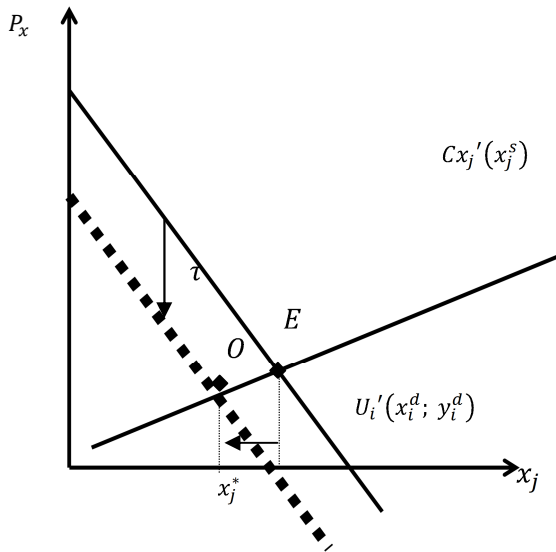


Figure 3 : Équilibre des marchés avant la politique de tarification incitative

Marché des biens de consommation



Marché des Matières Recyclables (MR)

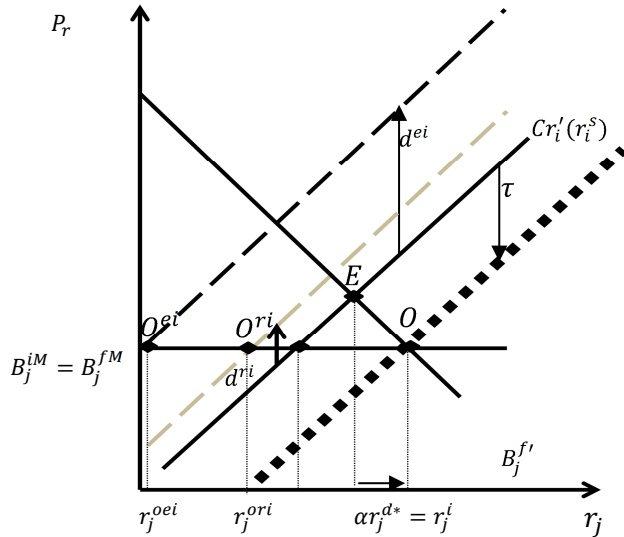
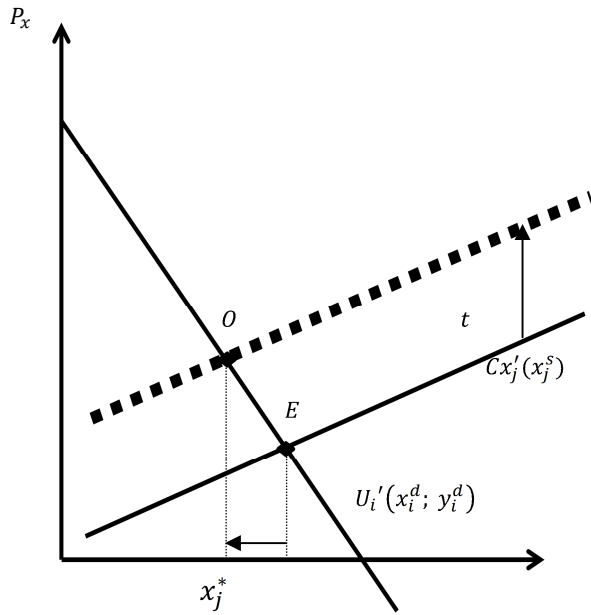


Figure 4 : Équilibre des marchés après la tarification à l'acte

Contrairement à une politique de la tarification à l'acte (Figure 4), l'équilibre de la FSF diffère de celui de la FSI parce que le régulateur arrive à discriminer la FSF de la FSI avec la subvention (Figure 5). Avec la tarification à l'acte, toutes les firmes profitent de la baisse relative du coût de recyclage pour les ménages suite à la mise en place de la tarification à l'acte.

Marché des biens de consommation



Marché des Matières Recyclables (MR)

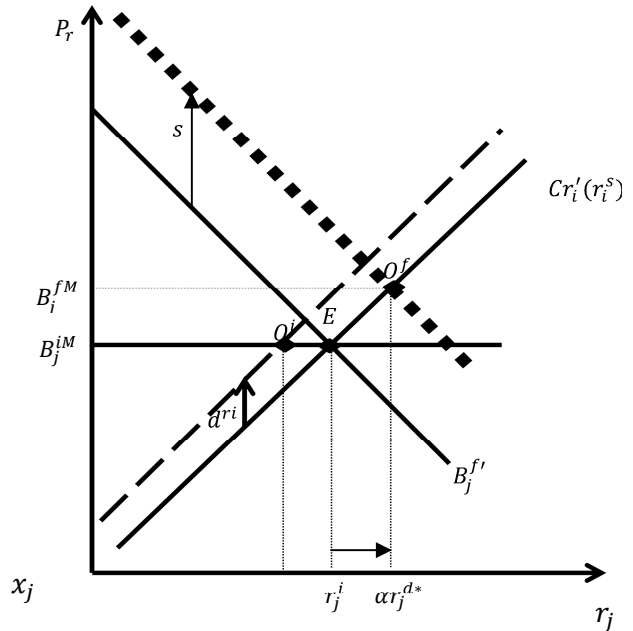


Figure 5 : Équilibre des marchés après le Deposit Refund System (DRS)

Par ailleurs, nous tirons deux conclusions des conditions d'équilibre du marché des MR. La première est la condition de recyclabilité. Le marché des MR existe si et seulement si :

$$\begin{cases} B_j^{f'}(r_j^d; s) = B_j^{fM} \geq C'_r(r_i^s) \\ B_j^{i'}(r_j^d) = B_j^{iM} \geq C'_r(r_i^s) \end{cases} \quad 19$$

Cette condition est intuitive. Pour qu'il soit profitable pour la FSI et la FSF représentative de transformer une MR en MPS, il faut que le bénéfice moyen qu'elles en tirent soit au moins suffisant pour couvrir le coût marginal des ménages. En d'autres termes, les matières recyclées sont celles dont le prix  $[(P_r), (P_r + \tau)$  ou  $(P_r - s)$  si politique incitative] est inférieur ou égal au bénéfice moyen du secteur formel ou informel. Cette définition rejoint celle de Calcott & Walls (2000-2005) basée sur une approche coût. Lorsque les bénéfices moyens des deux secteurs sont inférieurs à  $P_r$ ,  $(P_r + \tau)$  ou  $(P_r - s)$ , ni la FSI et ni la FSF n'ont intérêt à produire des MPS et leur demande de MR est nulle ( $r_j^d = 0$ ).

La deuxième conclusion est celle de la supériorité du DRS sur la tarification à l'acte. Utilisés séparément, le DRS et la tarification à l'acte incitent respectivement les firmes et les ménages. Les conditions dans (2) indiquent que la tarification à l'acte,  $\tau$ , affecte le comportement des ménages simultanément au niveau de la demande des biens et de l'offre des MR. Pendant qu'elle diminue la consommation à son niveau optimal, elle encourage l'augmentation de l'offre de MR des ménages (**figure 4**). On retrouve les mêmes effets dans

(10) et (11) avec le DRS ( $t$  et  $s$ ) qui affecte le comportement des firmes formelles. La taxe réduit la production à son niveau optimal alors que la subvention augmente la demande de MR des firmes. L'incitation des ménages, lorsqu'ils sont taxés à l'acte ( $\tau$ ), est transférée au niveau des firmes avec le DRS ( $t$  et  $s$ ). Si le régulateur, en faisant le choix d'ignorer le secteur informel de recyclage, opte indirectement pour une politique de second rang, c'est le DRS qui lui permet de minimiser la déviance de l'équilibre du marché de MR de l'optimum social. En effet, le DRS et la tarification à l'acte permettent au régulateur de faire coïncider l'équilibre du marché et l'optimum social pour la FSF sur le marché de MR. Cependant l'équilibre du marché et l'optimum social pour la FSI divergent. Sur la **figure 4** & la **figure 5**, on peut noter que l'écart entre les équilibres ( $E$ ) et les optimums sociaux ( $O$ ) est plus faible avec le DRS.

On montre aussi que la tarification à l'acte est contre productive en présence d'un secteur informel de recyclage. Maintenons toujours l'hypothèse selon laquelle les ménages ne peuvent pas faire de l'élimination illégale,  $\tau \leq \tau_h$ . Il est donc possible pour le régulateur d'utiliser  $\tau$  comme instrument pour inciter les ménages à augmenter leur offre de MR. Sur la **figure 4**, l'équilibre se déplace du point «  $E$  » au point «  $O$  » pour la FSF et la FSI. La demande totale de MR va augmenter. Toutefois, la tarification à l'acte inciterait les ménages à fournir aux FSI, en plus des MR, les déchets à éliminer,  $z_i$ . En effet, les ménages vont arbitrer entre la taxe et le prix que les FSI vont exiger d'eux pour éliminer leurs déchets. Ils seront disposés à payer un  $P_r \leq \tau$  aux FSI pour éviter de payer la taxe sur l'élimination. La condition de non arbitrage pour les ménages est  $P_r = \tau$ <sup>25</sup>. Rappelons que les FSI ne s'intéressent pas aux activités d'élimination parce qu'elles n'en retirent pas un prix. Du moment où les ménages sont disposés à payer un prix, les FSI vont accepter de faire de l'élimination « informel » si ce prix est au moins égal à leur coût marginal (privé). Si le coût de l'élimination pour les FSI est négligeable<sup>26</sup>, alors pour tout  $P_r \neq 0$ , les FSI vont collecter les déchets à éliminer en même temps que les MR. Ainsi, les ménages trouveront plus intéressant de payer les FSI pour éliminer leurs déchets non recyclables que de les éliminer légalement et payer la taxe sur l'élimination. Dans ces conditions, le coût marginal social du secteur informel que le régulateur ne pourra pas internaliser est  $d^{ei} + d^{ri}$ . L'optimum social avec un secteur de recyclage informel se déplacera du point «  $O^{ri}$  » au point «  $O^{ei}$  » sur la **figure 4**. L'objectif de la tarification à l'acte qui est d'encourager le recyclage en réduisant son coût relatif pour les ménages, dépend de la capacité du régulateur à maîtriser tous les acteurs (ménages et firmes). Lorsqu'un acteur échappe au contrôle du régulateur, il sert de

<sup>25</sup>  $P_r$  prend une valeur négative pour signifier que les ménages paient les FSI.

<sup>26</sup> La collecte des MR et des déchets à éliminer se font au même moment. On peut considérer que la collecte des déchets à éliminer par les FSI n'occasionne pas des coûts supplémentaires.

« havre de pollutions » aux autres. Si l'activité du secteur informel est significative, la taxe sur l'élimination incite indirectement les ménages à l'élimination illégale par le canal des FSI.

Proposition 3.1 : Lorsqu'un secteur informel coexiste avec un secteur formel sur le marché des Matières Recyclables, la politique de tarification est de second rang. Toutefois, l'efficacité d'une politique de Deposit and Refund System est supérieure à celle d'une politique de tarification à l'acte.

### 3.2. Secteurs formel et informel en concurrence « coopérative »

Nous affaiblissons ici l'hypothèse de concurrence « parfaite » en limitant l'accès aux marchés concurrentiels qu'aux firmes formelles. La condition nécessaire à l'existence des FSI est la coopération. Dans la littérature descriptive de gestion des déchets municipaux dans les pays en développement et en transition (section 1), on note une organisation pyramidale entre les secteurs formel (au sommet) et informel (à la base). Cette organisation s'apparente à une relation formelle-informelle de type structuraliste<sup>27</sup> où le secteur informel existe à travers du le secteur formel qui leur passe des contrats de sous-traitance. Par exemple, les FSF peuvent sous-traiter la collecte des MR pour éviter certaines contraintes réglementaires, et réduire leurs coûts. Dans ces conditions, les FSF et les FSI ont un comportement collusif. Au lieu de maximiser leur bénéfice respectif, elles maximisent la somme de leur bénéfice. Les CPO du marché des biens de consommation ne changent pas. Celles du marché des MR sont définies par :

$$B'_j = (P_r - \alpha s) \quad 20$$

$$B_j^{fM} = B_j^{iM} - s \quad 21$$

Avec  $B'_j = \alpha B'_j{}^f(r_j^d) + (1 - \alpha)B'_j{}^i(r_j^d)$ ,  $B_j^{fM}$  et  $B_j^{iM}$  les bénéfices moyens dans chaque secteur. Puisque la FSI n'a pas accès au marché des MPS, c'est la FSF qui décide de la part de MR qu'elle transforme et la part qu'elle externalise. Au fait, la coopération lui permet de se déplacer sur les courbes de bénéfices marginaux. Si le bénéfice marginal dans le secteur formel est supérieur à celui du secteur informel, tous les MR sont transformées par la FSF et l'activité de la FSI est réduite à zéro ( $\alpha = 1$ ). Et inversement si le bénéfice marginal dans le secteur formel est inférieur au bénéfice marginal dans le secteur informel ( $\alpha = 0$ ).

<sup>27</sup> Ce type de relation est courant dans les formalisations théoriques : Biswas, Farzanegan, & Thum (2012) ; Arvin-Rad, Basu, & Willumsen (2010) ; Chattopadhyay, Banerjee, & Millock (2011) ; Baksi & Bose (2010)



$$\begin{cases} B_j^f(r_j^d) = B_j^i(r_j^d) = B_j^{iM} & \text{si } B_j^f(r_j^d) < B_j^i(r_j^d) \\ B_j^f(r_j^d) = B_j^f(r_j^d) = B_j^{fM} & \text{si } B_j^f(r_j^d) > B_j^i(r_j^d) \end{cases} \quad 22$$

La condition de non arbitrage de la FSF est la condition d'équilibre inter secteur. Elle est respectée lorsque les bénéfices marginaux des deux secteurs s'égalisent.

$$B_j^f(r_j^d) = B_j^i(r_j^d) \quad 23$$

Les conditions d'équilibre intra et inter sectoriel dans (15) donne :

$$B_j^{iM} = (P_r - \alpha s) \quad 24$$

L'équilibre dépend du bénéfice moyen dans le secteur informel ( $B_j^{iM}$ ). Puisque les deux secteurs coopèrent, la FSF a accès à l'information sur les  $B_j^{iM}$  et définit sa stratégie en conséquence. Sans politique incitative ( $t = s = \tau = 0$ ), l'équilibre est défini par rapport au bénéfice moyen du secteur informel. On a alors :

$$C_r^f(r_i^s) = B_j^f(r_j^d) = B_j^i(r_j^d) = B_j^{iM} = P_r \quad \text{si } B_j^f(r_j^d) < B_j^i(r_j^d) \quad 25$$

$$C_r^f(r_i^s) = B_j^f(r_j^d) = B_j^f(r_j^d) = B_j^{fM} = P_r \quad \text{si } B_j^f(r_j^d) > B_j^i(r_j^d) \quad 26$$

Les équations (25) et (26) correspondent aux demande de MR respectivement dans le secteur formel et informel. Dans la configuration (25), l'élimination des déchets municipaux est assurée par le secteur formel ( $\beta = 1$ ) et le recyclage par le secteur informel<sup>28</sup> ( $\alpha = 0$  et  $r_j^d = r_j^i$ ). Dans la configuration (26), le secteur formel assure les activités d'élimination et de recyclage et le secteur informel disparaît à l'équilibre ( $\beta = 1$  ;  $\alpha = 1$  et  $r_j^d = r_j^f$ ).

La mise en œuvre d'une politique de tarification incitative change le comportement de la FSF. La tarification à l'acte aura des effets comparables à la situation de concurrence « parfaite » (**figure 4**). Avec une politique de subvention du recyclage, la FSF va utiliser son opportunité d'arbitrage pour maximiser son profit. En effet, elle a le choix de produire elle même les MPS sans coût social et bénéficier de la subvention, ou sous traiter sa production auprès de la FSI avec un coût social (en prime) et bénéficier aussi de la subvention. Ainsi, avec une politique de subvention de l'activité du recyclage, la rationalité de la FSF veut qu'elle transforme une fraction des MR et sous-traite le reste auprès des FSI. Sa demande de MR est égale à son bénéfice marginal,  $B_j^{iM} - s$ , sur l'intervalle  $C_r^f(r_i^s) \leq B_j^{iM} - s < B_j^{iM}$ .

<sup>28</sup> Du moins, la majorité de l'activité du recyclage.

Sinon elles sous-traitent la totalité de son activité de recyclage si  $B_j^{iM} - s < C_r'(r_i^s) \leq B_j^{iM}$ . Dans tous les cas, la FSF n'a pas intérêt à transformer seule ( $\alpha = 1$ ) les MR en MPS lorsqu'il y a subvention, car  $B_j^{iM} - s < B_j^{iM}$ . En sous-traitant partiellement ( $\alpha \neq 1$ ) ou en externalisant son activité de recyclage ( $\alpha = 0$ ), elle augmente son profit. Cependant, le profit en sous-traitance partielle est supérieur au profit en externalisation  $[(P_r - B_j^{fM})r_j^f + sr_j^d > sr_j^d]$ . Ceci est possible parce que le régulateur n'a pas d'informations sur  $r_j^i$ . Il paie la subvention à la FSF sur la base de la demande totale de MR,  $r_j^d$ . Les FSF gagneront dès lors un bonus marginal « informel » de  $(1 - \alpha)s$ . Elles privilégieront les interactions coopératives de sous-traitance partielle et d'externalisation lorsqu'il y a subvention du recyclage.

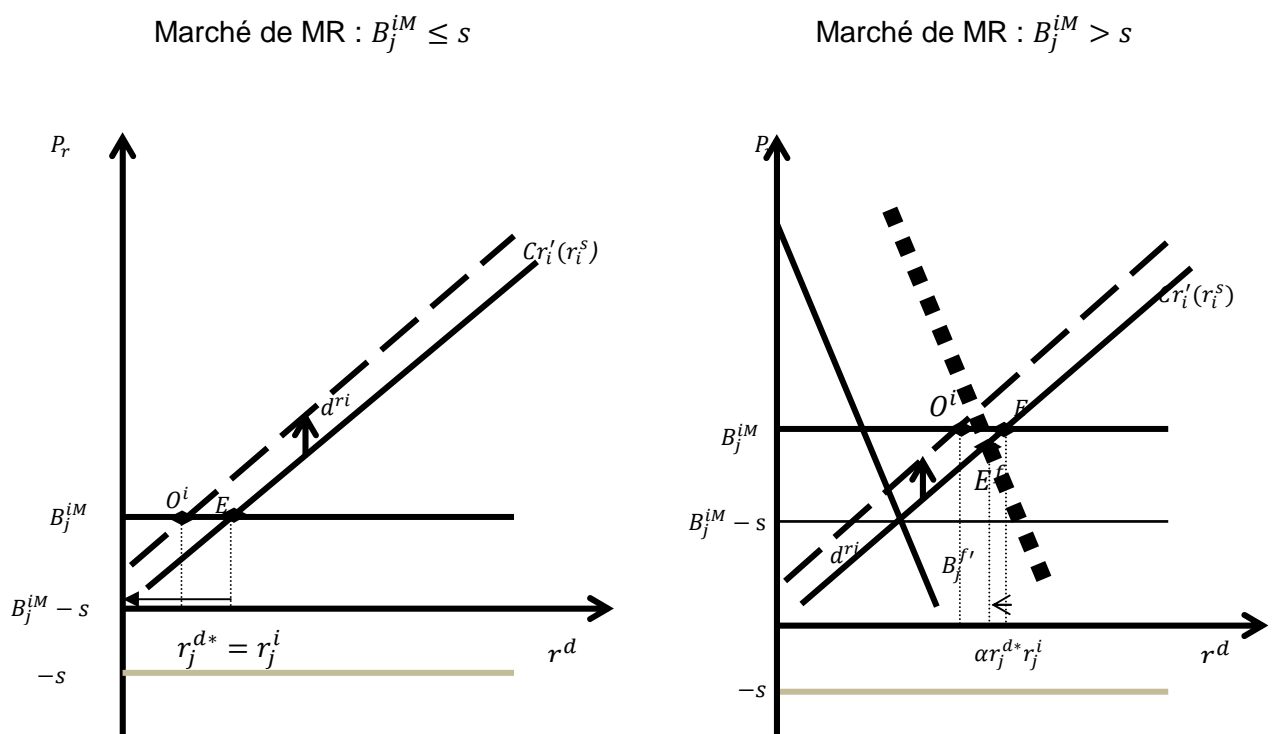


Figure 6 : Équilibre du marché des MR en concurrence « coopérative » avec une politique DRS

Par rapport à la concurrence « parfaite » où le DRS permettait d'augmenter la demande de MR et de faire correspondre équilibre et optimum social pour le secteur formel de recyclage, le DRS est contre-productif en concurrence « coopérative ». Sur la **figure 6**, le rôle incitatif de la subvention est annulé par le changement de la pente de la courbe du bénéfice marginal du secteur formel. La pente passe  $B_j^{iM}$  à  $B_j^{iM} - s$

De façon analytique, la part des MR transformée par le secteur formel ( $\alpha$ ) après subvention est définie par :

$$B_j^f(r_j^d) = B_j^{fM} = B_j^{iM} - s = \alpha B_j^{iM} \quad 27$$

$$\alpha^E = \frac{B_j^{iM} - s}{B_j^{iM}} \quad 28$$

Par définition  $B_j^{iM} > 0$ . Par conséquent, pour tout  $s \neq 0$  ; le secteur formel coopère avec le secteur informel ( $0 \leq \alpha^E < 1$ ).

Proposition 3.2 : Lorsqu'un secteur informel de recyclage existe et entretient une interaction de concurrence « parfaite » ou « coopérative » avec un secteur formel de recyclage, la tarification à l'acte et Deposit and Refund System, comme instrument de politique de tarification incitative, sont contre-productifs.

### 3.3. Secteurs formel et informel en concurrence « leadership »

Nous analysons ici une sorte de concurrence imparfaite où toutes les firmes ont accès aux marchés. Le marché MPS est concurrentiel, donc toutes les firmes sont confrontées au même prix international  $p$ . C'est au niveau du marché des MR que les FSI et FSF forment deux branches. On retrouve dans ce cas les caractéristiques d'un marché oligopsonne avec deux demandeurs (formel et informel), plusieurs offreurs (ménages) et un produit homogène (MR). Les firmes au sein de chaque secteur ont la même taille. Mais contrairement à la situation de concurrence « parfaite » et « coopérative », la taille d'une FSI et d'une FSF est asymétrique. Cette hypothèse d'asymétrie est plus vraisemblable dans la mesure où les firmes du recyclage informel sont des unités de taille individuelle ou familiale et intensives en travail<sup>29</sup>. Par conséquent, le prix du marché des MR n'est plus un prix concurrentiel mais un prix contrôlé par le secteur « leader ». Il est fonction de la demande totale des deux secteurs :  $P_r(r_j^d)$  avec  $r_j^d = \alpha r_j^d + r_j^i$  et  $P_r'(r_j^d) < 0$ <sup>30</sup>. Le marché des MR fonctionne donc comme un duopole à la *Stacklberg* où le secteur « leader » s'approvisionne en premier.

Si par exemple le secteur formel est « leader », il lui revient de fixer la valeur de  $\alpha$ . Le secteur « follower » maximisera son programme défini ci après :

$$\max_{r_j^d} [(1 - \alpha)B_j^i(r_j^d) - P_r(r_j^d)(1 - \alpha)r_j^d] \quad 29$$

Avec  $r_j^i = (1 - \alpha)r_j^d$  et  $(1 - \alpha)$  une constante. La quantité de MR collectée par le secteur informel « follower » qui maximise son bénéfice est :

<sup>29</sup> Ezeah, Fazakerley, & Roberts (2013) ; Oguntoyinbo (2012) ; Plan Bleu (2012) ; UN-HABITAT (2010a-2010b) ; Medina (2008) ; Cointreau (2006) ; Wilson, Velis, & Cheeseman (2006) ; Medina (2000).

<sup>30</sup> On suppose  $P_r''(r_j^d) > 0$

$$B'_j{}^i(r_j^d) = P'_r(r_j^d)r_j^d + P_r(r_j^d)$$

30

Puisque  $P'_r(r_j^d) < 0$ , le bénéfice marginal du secteur informel « follower » diminue lorsque la demande totale de MR augmente. Le problème du secteur formel « leader » est de fixer  $\alpha$  qui maximise son bénéfice. on a

$$\max_{\alpha, r_j^d} [\alpha B_j^f(r_j^d) - (P_r(r_j^d) - s)\alpha r_j^d]$$

$$B'_j{}^f(r_j^d) = (P'_r(r_j^d)r_j^d + P_r(r_j^d) - s)$$

$$B_j{}^{fM} = (P_r(r_j^d) - s)$$

Le bénéfice du secteur formel « leader » est maximal lorsque son bénéfice marginal est égal à son bénéfice moyen. Cette condition est respectée si et seulement si la variation marginal du prix des MR suite à une augmentation de la demande totale est nulle [ $P'_r(r_j^d) = 0$ ]. En d'autres termes,  $P_r(r_j^d)$  est à son niveau minimum et tout le gisement de MR offert par les ménages est acheté par le secteur formel « leader » ( $\alpha = 1$ ). Ceci est possible pour le secteur formel tout simplement parcequ'il est assuré de vendre toute sa production de MPS au prix international  $p$ . La rationalité du secteur formel « leader » l'amène donc à évincer le secteur informel « follower » du marché. Le même mécanisme se produit si le secteur informel est en position de « leader ».

Le  $P_r$  du marché et le  $P_r(r_j^d)$  du duopole sont les mêmes à l'équilibre. Car les firmes sont des demandeurs et ont intérêt à minimiser le prix des MR. La différence par rapport à la situation de concurrence « parfaite » et « coopérative », est le rapport de force entre les deux secteurs. Si le secteur formel parvient « naturellement » à éliminer le secteur informel du marché, n'importe quel instrument de tarification incitative est optimal. Une politique de subvention du recyclage ne fera que renforcer le « leadership » du secteur formel. Cette configuration correspond à la thèse du dualisme économique dans les pays en développement (Boeke, 1953). Selon cette thèse, les secteurs formel et informel sont deux systèmes indépendants et juxtaposés. Le secteur informel est définie comme la partie « marginale et de subsistance » qui complète les mécanismes modernes de fonctionnement de l'économie. Il est temporel et son intensité diminue dans le temps avec le développement et l'industrialisation [Schneider, Buehn, & Montenegro (2010) ; Saracoglu (2008) ; Ihriga & Moe, 2004]]. Au fur et à mesure que l'économie se développe, le secteur formel absorbe la main d'œuvre (en réserve) du secteur informel qui disparaît à l'équilibre.

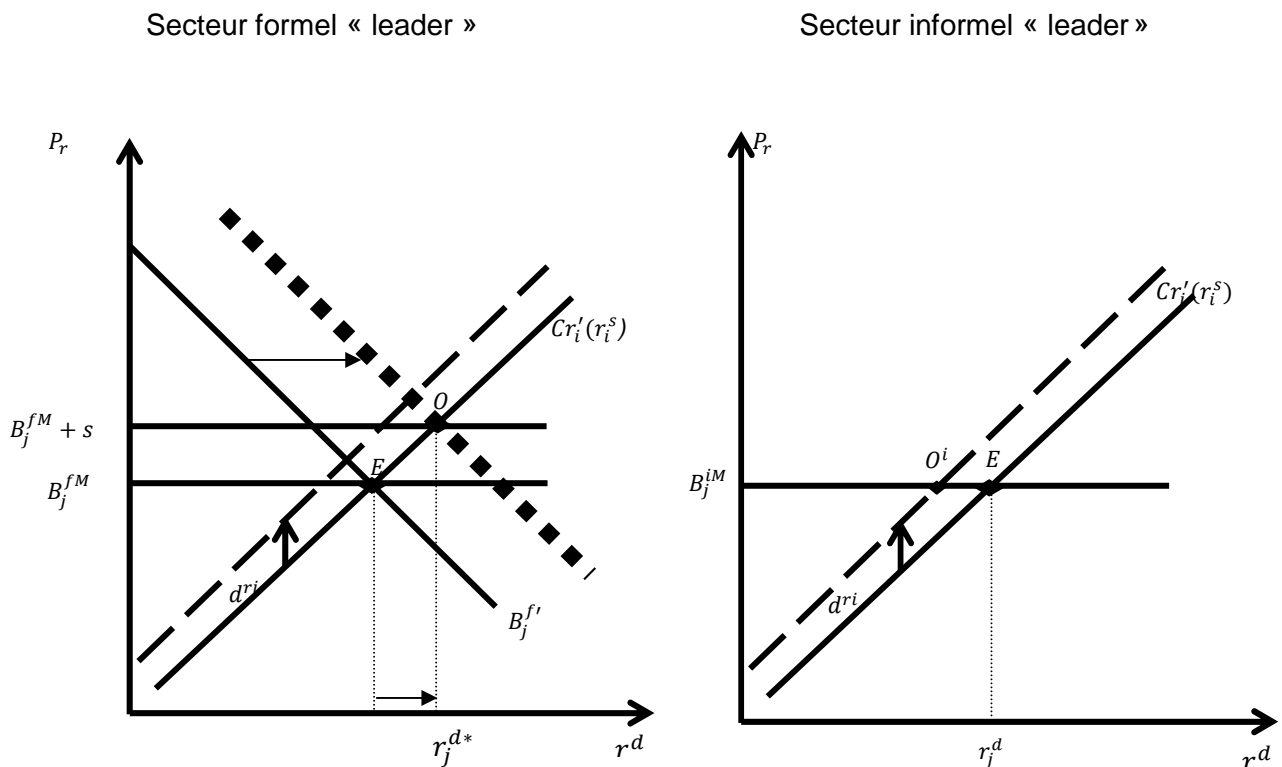


Figure 7 : Équilibre du marché des Matières Recyclables en concurrence « leadership » avec une politique DRS

Toutefois, dans le domaine de la gestion des déchets, le secteur informel peut ne pas être un phénomène marginal car il émerge de façon endogène (section 1). En outre, plusieurs éléments peuvent donner l'avantage au secteur informel dans ce jeu séquentiel et lui conférer la position de « leader ». Premièrement, « l'expérience du terrain ». Le fait que les FSI assuraient seules la gestion des déchets municipaux avant la mise en place de la collecte légale, leur donne un avantage dans le choix des moyens pour protéger leur marché. Deuxièmement, la possibilité pour les FSI d'utiliser des techniques « socialement coûteuses » et l'existence des coûts de transaction<sup>31</sup> pour les FSF permettent aux FSI d'être plus (économiquement) performantes. Elles peuvent donc fixer  $P_r$  à un niveau délibérément élevé pour défendre leur marché. Troisièmement, la micro taille des FSI peut leur conférer une flexibilité relative. Quatrièmement, les ménages peuvent avoir une préférence pour le secteur informel, toutes choses étant égales par ailleurs. En raison du fait que le recyclage informel est le seul moyen de subsistance pour plusieurs familles<sup>32</sup> et d'une relation traditionnelle, les ménages peuvent choisir de coopérer avec les FSI au détriment des FSF.

Si l'hypothèse du secteur informel « leader » est vérifiée, la politique incitative du régulateur est sans effet ou contre-productive. Une politique de tarification à l'acte a un effet contre-

<sup>31</sup> (Shinkuma, 2003).

<sup>32</sup> En moyenne 0,5-2% de la population urbaine vivent de cette activité [Wilson & al., (2012), Medina, (2008-2000)]

productif comparable à l'effet décrit sur la **figure 4**, ( $\forall \tau \neq 0$ ). Avec une politique DRS le marché des MR n'est pas impacté, ( $\forall t = s \neq 0$ ). Le régulateur ne peut ni subventionner l'activité du recyclage, ni faire supporter aux FSI le coût social de leur activité sans mener des activités de contrôle. Chaque FSI représentative va continuer à recycler la quantité de déchets qui va lui permettre de minimiser  $P_r(r_j^d)$  et de contrôler le marché des MR,  $P_r(r_j^d) = B_j^{i'}(r_j^d) = B_j^{iM}$ , [Figure 7].

Proposition 3 : Lorsque le secteur informel est en position de « leader » sur le marché des Matières Recyclables, la tarification à l'acte et le Deposit and Refund System sont contre-productifs.

#### 4. Optimalité d'une politique de tarification incitative «DRS informel »

Supposons à présent que le régulateur décide d'adopter l'approche « ISWM<sup>33</sup> » qui l'oblige à prendre en compte toutes les parties prenantes de gestion des déchets municipaux. Il ne peut donc plus ignorer l'existence du secteur informel de recyclage lors du calibrage de sa politique de tarification incitative. Des deux instruments étudiés (le Deposit and Refund System –DRS- et la tarification à l'acte), seul le DRS offre au régulateur cette flexibilité. En plus, une politique de tarification à l'acte l'obligerait à contrôler le secteur informel à un coût par hypothèse prohibitif<sup>34</sup>.

Pour prendre en compte les bénéfices économiques et environnementaux du recyclage informel<sup>35</sup>, le régulateur décide de subventionner les FSI d'un montant marginal noté  $\hat{s}$ . Le DRS « informel » sera alors composé de  $t$ ,  $s$  et  $\hat{s}$ . Le nouveau programme du régulateur est défini par :

$$\begin{aligned} \max_{x_i^d, x_j^s, y_i^d, y_j^s, r_j^d, r_i^s, z_i, \alpha} W = & \sum_{i=1}^m [U_i(x_i^d, y_i^d) - Cr_i(r_i^s) - dz_i] + \sum_{j=1}^n [\alpha B_j^f(r_j^d) + \\ & (1 - \alpha) B_j^i(r_j^d) - Cx_j(x_j^s) - Cy_j(y_j^s) - d^{ri}(1 - \alpha)r_j^d] \\ s/c \sum_{i=1}^m x_i^d = & \sum_{j=1}^n x_j^s, \sum_{i=1}^m y_i^d = \sum_{i=1}^n y_j^s, \sum_{j=1}^n r_j^d = \sum_{i=1}^m r_i^s, \sum_{i=1}^m z_i = \sum_{i=1}^m x_i^d - \\ & \sum_{i=1}^m r_i^s \end{aligned} \quad 31$$

Les CPO du régulateur donnent :

<sup>33</sup> Integrated Sustainable Waste Management.

<sup>34</sup> Par ailleurs il ne serait pas optimal de supprimer le secteur informel de recyclage s'il y a pro cyclicité entre ce dernier et le secteur formel.

<sup>35</sup> Voir par exemple [Ezeah, Fazakerley, & Roberts (2013), Raghupathy & Chaturvedi (2013), Gunsilius (2012), Wilson & al. (2009), Medina (2008)].

$$U'_i(x_i^d) = Cx'_j(x_j^s) + d \quad 32$$

$$Cr'_i(r_i^s) = \alpha B_j^{f'}(r_j^d) + (1 - \alpha)B_j^{i'}(r_j^d) + d - d^{ri}(1 - \alpha) \quad 33$$

$$B_j^{fM} = B_j^{iM} - d^{ri} \quad 34$$

Quelles sont alors les conditions d'optimalité du « DRS informel » ?

#### 4.1. Secteurs formel et informel en concurrence « parfaite »

La décision du régulateur de prendre en compte l'activité du secteur informel de recyclage n'affecte que le programme de la FSI :

$$\max_{r_j^i} [B_j^i(r_j^i) - (P_r - \hat{s})r_j^i] \quad 35$$

Comme précédemment, chaque firme maximise son programme. Les nouvelles CPO de la FSI sont :

$$B'_j{}^i(r_j^d) = B_j^{iM} = (P_r - \hat{s}) \quad 36$$

Comparaison des nouvelles CPO :

$$U'_i(x_i^d) = C'x_j(x_j^s) + d = P_x - t + d = P_x + \tau \quad 37$$

$$Cr'_i(r_i^s) = \alpha B_j^{f'}(r_j^d) + (1 - \alpha)B_j^{i'}(r_j^d) + d - d^{ri}(1 - \alpha) = P_r + \tau \quad 38$$

$$B'_j{}^f(r_j^d) = B_j^{fM} = B_j^{iM} - d^{ri} = P_r - s \quad 39$$

$$B'_j{}^i(r_j^d) = B_j^{iM} = P_r - \hat{s} \quad 40$$

$$\tau = 0 ; \quad t = s = d ; \quad \hat{s} = t - d^{ri}$$

Lorsque les secteurs formel et informel sont en concurrence « parfaite », il est optimal de prélever un deposit sur les biens de consommation égal au coût marginal social de l'élimination ( $t = d$ ). Puis subventionner les deux secteurs de recyclage à hauteur de la différence entre le coût marginal de l'élimination et le coût marginal social du secteur de recyclage concerné. Comme le coût social marginal du recyclage formel est nul, sa subvention est égale à la taxe. Quant à la subvention du secteur informel, elle est égale à la différence entre le deposit et son coût social marginal.

## 4.2. Secteurs formel et informel en concurrence « coopérative »

En concurrence « coopérative », les firmes maximisent le nouveau programme ci près :

$$\max_{\alpha, r_j^d} \left[ \alpha [B_j^f(r_j^d) - (P_r - s)r_j^d] + (1 - \alpha) [B_j^i(r_j^d) - (P_r - \hat{s})r_j^d] \right] \quad 41$$

On a à l'équilibre on a

$$\alpha B_j^{f'}(r_j^d) + \theta B_j^{i'}(r_j^d) = (P_r - \alpha s - \theta \hat{s}) \quad 42$$

$$B_j^{fM} = B_j^{iM} - (s - \hat{s}) \quad 43$$

Avec  $\theta = (1 - \alpha)$ . En comparant cette nouvelle CPO, la politique de tarification incitative est optimale pour tout

$$\tau = 0 ; \quad t = s = d ; \quad \hat{s} = t - d^{ri}$$

Pour tout  $\alpha < 1$ , le régulateur peut faire coïncider équilibre et optimum en subventionnant les deux secteurs. Le Tableau 2 résume les conditions d'optimalité du DRS en concurrence « coopérative ». En réalité, nous avons une politique de court de de long terme.

A court terme, le régulateur subventionne les secteurs formel et informel respectivement de  $s$  et  $\hat{s}$ . L'idée ici est d'utiliser le bonus « informel » précédemment payé au FSF,  $[(1 - \alpha)s]$ , pour avoir d'informations sur la FSI et corriger les coûts sociaux de son activité. L'objectif de  $\hat{s}$  est de faire sortir le secteur informel de son « invisibilité ». La différence entre  $s$  et  $\hat{s}$  est une incitation supplémentaire pour le secteur informel d'utiliser une technologie non « polluante » et de réduire  $d^{ri}$ . En l'occurrence, le secteur informel étant intensif en travail, la productivité marginale du travail est inférieure à la productivité marginale du capital. Il sera par conséquent, favorable à une substitution du travail au capital. Le régulateur peut donc utiliser  $\hat{s}$  comme une subvention du capital pour compenser la baisse de productivité quand le secteur informel opte pour une technologie de moins en moins « polluante ». Si par exemple, le régulateur dote les FSI d'un moyen de déplacement, cela permettra de déduire considérablement le temps de collecte et de réduire le recourt à la main d'œuvre « enfant ». La subvention peut aussi prendre la forme d'un financement des équipements de tri sélectif au niveau des ménages afin de réduire le temps de tri pour les FSI. Au fur et à mesure que le coût marginal social du RI tend vers zéro, la différence entre les deux subventions tend aussi vers zéro. Le secteur informel reconnu par le régulateur et incité à utiliser une technologie non « polluante » se reconvertit progressive dans le secteur formel. A l'équilibre de long terme le recyclage ne sera assuré que par un seul secteur formel et il n'y aura qu'une seule subvention.



Tableau 2: conditions d'équilibre et optimale du DRS « informel » en concurrence  
« coopérative »

	$\alpha = 0$	$\alpha \in ]0; 1[$	$\alpha = 1$
Equilibre du marché	$B_j^{iM} = s - \hat{s}$	$\frac{B_j^{iM} - (s - \hat{s})}{B_j^{iM}}$	$s = \hat{s}$
Optimum social	$B_j^{iM} = d^{ri}$	$\frac{B_j^{iM} - d^{ri}}{B_j^{iM}}$	$d^{ri} = 0$
Conditions d'optimalité	$s = d = d^{ri} + \hat{s}$	$s = d = \hat{s} + d^{ri}$	$s = \hat{s} = d$

### 4.3. Secteurs formel et informel en concurrence « leadership »

En fonction du secteur qui contrôle le marché des MR, le régulateur peut adapter sa politique. Si le secteur formel est « leader », le régulateur utilise indifféremment la tarification à l'acte ou le DRS. Les conditions d'optimalité sont :

$$\tau = d \quad \text{ou} \quad t = s = d$$

Mais si le secteur informel est « leader », il est optimal est de le subventionner

$$\tau = 0; \quad t = d; \quad \hat{s} = t - d^{ri}$$

En concurrence « leadership », le régulateur peut aussi faire coïncider équilibre économique et optimum social en subventionnant le secteur informel « leader ». Le Tableau 3 résume nos résultats selon la structure de marché. Tableau 3 : Politique optimale et structure de marché

Tableau 3 : Politique optimale et structure de marché

Markets structures	$\alpha = 0$	$\alpha \in ]0; \frac{1}{2}[$	$\alpha = \frac{1}{2}$	$\alpha \in ]\frac{1}{2}; 1[$	$\alpha = 1$
"perfect" competition	-	-	$t = s = d = d^{ri} + \hat{s}$	-	-
	-	-	$\tau = 0$	-	-
"cooperative" competition	$t = s = d = d^{ri} + \hat{s}$				$t = s = d$
	$\tau = 0$				$\tau = d$
"leadership" competition	$t = d = d^{ri} + \hat{s}$	-	-	-	$t = s = d$
	$\tau = 0$	-	-	-	$\tau = d$

Somme toute, l'intuition pour les trois structures de marché que nous avons étudié dans ce papier, est la même : utiliser  $\hat{s}$  comme coût d'information sur le secteur informel et déjouer les stratégies de coalition et prévenir les guerres commerciales. Une fois le recyclage informel est sous contrôle, d'autres stratégies d'amélioration de la gestion des déchets dans les pays en développement et en transition peuvent être élaborées.

Proposition 4.1 : Le Deposit and refund System « informel » est optimal quelle que soit la structure du marché.

Avant de conclure, nous analysons nos résultats dans un cadre d'équilibre général pour tester leur cohérence. Le première cadre est celui de la nature de la relation formelle-informelle. Les modèles qui ont étudié ce sujet montrent que la relation formelle-informelle dépend de l'intensité relative du secteur informel en facteur travail. Si le secteur informel est intensif en travail, la relation formelle-informelle est procyclique. En d'autres termes, un choc exogène (positif ou négatif) qui engendre une expansion du secteur formel (respectivement sur le secteur formel (informel) conduit à l'expansion du secteur informel (formel). Si au contraire le secteur informel est intensif en capital (ou du moins comprend un sous secteur intensif en capital), la relation formelle-informelle est contracyclique [Arvin-Rad, Basu, & Willumsen (2010) ; Chaudhuri & Banerjee (2007) ; Marjit (2003)].

Dans notre modèle nous avons fait hypothèse que le secteur informel est intensif en travail, donc une relation procyclique. Certaines caractéristiques du secteur informel telles que le travail des enfants, la durée de travail quotidienne, le travail en famille ou en communauté soutiennent cette hypothèse. La subvention qui est ici un choc exogène positif, cible les deux secteurs en même temps. Le recyclage dans les deux secteurs vont alors augmenter suite à la subvention. Mais puisqu'il y a procyclicité et que les deux secteurs sont choqués au même moment, il y aura en plus un mécanisme de « feed-back » simultané qui va se mettre en place. L'augmentation de l'activité de chaque secteur va faire augmenter l'activité de l'autre secteur et réciproquement. Etant donné que le choc du secteur formel est supérieur à celui du secteur informel ( $s > \hat{s}$ ), l'activité du secteur formel aura tendance à augmenter plus rapidement que celui du secteur informel. Le secteur formel dans son expansion va absorber progressivement le secteur informel. Ce mécanisme d'absorption du secteur informel par le secteur formel est soutenu par le différentiel entre les subventions ( $s - \hat{s}$ ) qui constitue une incitation supplémentaire du secteur informel à se reverser dans le secteur formel. En plus, de favoriser l'augmentation de l'activité du recyclage, la subvention du secteur informel va minimiser son coût marginal social ; ce qui va faire converger la composition sectoriel du marché des MR vers un acteur unique formel. L'activité du recyclage sera optimal et sans coût social à long terme. Par ailleurs, la procyclicité de la relation entre les secteurs formel et

informel rend indésirable toute politique répressive visant à réduire ou supprimer le secteur informel.

Le deuxième cadre est celui de la taxation direct qui nous renseigne sur l'efficacité de la taxation à la Ramsey d'une politique de subvention du secteur informel. Ce cadre d'analyse nous a été fourni par Cerda & Saravia (2013). Ils ont analysé le mix de taxes optimales dans un modèle d'équilibre général composé d'un secteur formel intensif en capital et taxable, d'un secteur informel intensif en travail et non taxable, et d'agents hétérogènes produisant un bien homogène. Le système de taxation est composé de trois taxes : une taxe sur le capital, une taxe sur le travail et une taxe sur le profit. Les auteurs montrent que le mix de taxation optimale est composé d'une taxation négative (subvention) du revenu du capital, d'une taxation négative<sup>36</sup> du revenu du travail et d'une taxe positive sur le profit. L'intuition est que la subvention du capital et du travail incite les agents à produire dans le secteur formel. Cela conduit à l'élargissement de l'assiette de la taxe sur le profit. L'analyse de nos résultats dans ce cadre théorique plus général est donc cohérente. En subventionnant le secteur informel de recyclage cela les fait sortir de l'informalité et de fait, les rend taxables.

## Conclusion

Depuis plus de trois décennies, les pays développés ont recours aux instruments de la tarification incitative (tarification à l'acte, Responsabilité Élargie du Producteur, Deposit and Refund System, taxe sur les unités d'élimination...) pour faire face à la problématique de gestion durable des déchets municipaux. Cependant, les modèles de base de ces instruments de tarification incitative proposés jusqu'ici ne tiennent pas compte du Recyclage Informel (RI), une caractéristique commune aux pays en développement (y compris en transition). Certains pays de la région méditerranéenne (les pays MENA)<sup>37</sup> ne font pas exception à cette réalité. Pour combler cette lacune de la littérature, nous avons alors développé un modèle qui part de l'hypothèse de la significativité de l'activité du RI afin de déterminer les conditions d'équilibre des marchés et d'optimalité d'une politique de tarification incitative de type Deposit and Refund System (DRS). Concrètement, nous avons introduit une formalisation du RI dans le modèle d'Iino (2011) pour atteindre notre objectif.

Nos résultats montrent que malgré la présence du RI et quelle que soit sa relation avec le secteur formel de recyclage, une politique DRS ciblant le secteur informel « DRS informel » est optimale de 1<sup>er</sup> rang ; toutes choses étant égales par ailleurs. Le « DRS informel » est composé d'une taxe unique sur la consommation finale (Deposit) et de deux subventions

---

<sup>36</sup> Sous certaines conditions sur l'offre de travail.

<sup>37</sup> Middle East and North Africa

(Refunds). La taxe est égale au coût marginal social de l'élimination légale afin de ramener la consommation finale à son niveau optimal. Elle est prélevée au niveau national sur la production et sur les importations. Quant aux subventions, elles visent à encourager le recyclage dans les deux secteurs et à minimiser le coût social du RI. Dans les municipalités, régions où le recyclage est assuré par un seul secteur, l'Etat par le biais des municipalités, utilise le Refund formel ou le Refund informel selon le secteur en question. S'il existe des municipalités ou régions dans lesquelles les deux secteurs coopèrent, l'Etat utilisera les deux Refunds pour encourager l'activité du recyclage.

Il faut noter que la validité de nos résultats dépend du degré d'intensité en facteur travail du RI et du degré de substitutivité entre les facteurs travail et capital. Dans le secteur du recyclage des déchets, ces deux hypothèses sont plausibles. Malgré quelques hypothèses restrictives qui d'ailleurs, constituent les limites de notre modèle, nos résultats sont cohérents avec les modèles d'équilibre général sur la relation formel-informel et sur la taxation optimale en présence du secteur informel [voir Cerda & Saravia (2013), Arvin-Rad, Basu, & Willumsen (2010) ; Chaudhuri & Banerjee (2007) ; Marjit (2003)]. Notre modèle a l'avantage de prendre en compte la possibilité de déversements illégaux des ménages, le coût social du recyclage, la coexistence d'un secteur formel et informel et les différents types de relations qui peuvent exister entre les secteurs formel et informel (structuraliste et Dualiste).

La principale leçon de cet exercice de formalisation est que l'opportunité qu'offrent les instruments de tarification incitative ne peut être exploitée dans les pays en développement, sans qu'au préalable la question du RI ne soit maîtrisée. Avec un RI significatif, toute politique de tarification à l'acte est inefficace à cause des possibilités de déversements illégaux des ménages et des travailleurs dans le RI. Aussi, l'efficacité des politiques de Partenariat Public Privé (PPP) est tributaire de la taille du RI. L'intuition est que la privatisation du service public de gestion des déchets et de son financement, à l'image de celui de la gestion de l'eau et de l'électricité, permettra d'internaliser les coûts sociaux. Les autorités publiques au niveau national pourront définir des normes d'élimination pour minimiser les coûts sociaux. Au niveau local, elles peuvent prélever des taxes « d'accueil » des sites d'élimination. Ce faisant, les entrepreneurs privés contraints de respecter les normes nationales et de payer les taxes « d'accueil » incorporent dans leurs coûts privés, les coûts sociaux de l'élimination. Ils pourront alors facturer l'abonnement des ménages à leur service d'élimination au coût marginal social. Mais là encore, l'importance relative du RI est déterminante. Un secteur RI très important peut concurrencer les entrepreneurs privés formels et remettre en cause toute la politique PPP. L'exemple des « chiffonniers du Caire » qui ont pesé de tout leur poids sur la réforme nationale de gestion des déchets municipaux

basée sur le principe du PPP en Egypte au cours des années 2000, confirment la validité empirique de nos résultats.

Ceci étant, deux solutions s'offrent aux pouvoirs publics pour la maîtrise du RI: la suppression ou la coopération. De toute évidence, supprimer le RI n'est ni économiquement, ni socialement désirable du fait de la procyclicité probable entre recyclage formel et informel, des coûts de contrôle prohibitifs, des avantages environnementaux du RI et surtout son rôle social dans les pays en développement où les filets sociaux sont quasi inexistantes. Les pays MENA sont particulièrement sensibles au rôle social de l'informel. On se souvient que les « printemps-arabes » ont été déclenchés par le contrôle d'un vendeur informel.

La coopération avec le RI paraît donc comme l'issue pour appliquer le principe du « pollueur payeur » dans le domaine de la gestion des déchets municipaux dans les pays où le RI émerge de façon endogène et significative. Nous proposons dans ce papier une forme de coopération qui consiste à intégrer le RI dans la politique de tarification incitative. Cette politique doit être endogène et avoir pour objectif, à court et à moyen termes, d'inciter le RI à se formaliser et à adopter des technologies non socialement coûteuses. Notons que des chocs exogènes positifs sur le RI conduiront à des effets contre-productifs. En effet, ces chocs ne feront qu'augmenter la taille du RI et renforcer sa capacité à concurrencer le secteur formel de recyclage.

Enfin, la mise en œuvre d'une telle politique de tarification incitative implique une minimisation des coûts de translation, la connaissance de la taille du RI, ses mécanismes de fonctionnement et d'interaction avec le secteur formel de recyclage dans chaque municipalité. Il est aussi indispensable d'évaluer le coût social marginal de l'élimination et du RI afin de déterminer le montant des subventions. Face à la situation actuelle de la gestion des déchets municipaux dans les pays en développement et aux projections alarmistes de la Banque Mondiale (2012) en termes de coûts de gestion et de production, une politique de tarification incitative, même de second rang, est nécessaire.

## Bibliographie

- Arif, S. (2010). *Défis et opportunités pour la gestion des déchets solides dans la région du Machrek et du Maghreb*. SWEEPNET.
- Arvin-Rad, H., Basu, A. K., & Willumsen, M. (2010). Economic reform, informal–formal sector linkages and intervention in the informal sector in developing countries: A paradox. *International Review of Economics and Finance* 19, 662-670.
- Asima, M., & al. (2012). Scavengers and their role in the recycling of waste in Southwestern Lahore. *Resources, Conservation and Recycling*, 152– 162.
- Baksi, S., & Bose, P. (2010). Environmental Regulation in the Presence of an Informal Sector. *University of Winnipeg, Canada, Working Paper Number: 2010-03*.
- Biswas, A. K., Farzanegan, M. R., & Thum, M. (2012). Pollution, shadow economy and corruption: Theory and evidence. *Ecological Economics* 75 , 114-125.
- Blackman, A. (2000). Informal Sector Pollution Control: What Policy Options Do We Have? *World Development Vol. 28*, 2067-2082.
- Calcott, P., & Walls, M. (2005). Waste, recycling, and “Design for Environment”: Roles for markets and policy instruments. *Resource and Energy Economics* 27, 287-305.
- Cerda, R. A., & Saravia, D. (2013). Optimal taxation with heterogeneous firms and informal sector. *Journal of Macroeconomics*, 35, 39-61.
- Chattopadhyay, S., Banerjee, S., & Millock, K. (2011). Pollution Control Instruments in the Presence of an Informal Sector. *Centre d’Economie de la Sorbonne, working papers 201.103*.
- Chaudhuri, S., & Mukhopadhyay, U. (2006). Pollution and Informal Sector: A Theoretical Analysis. *Journal of Economic Integration*, 363-378.
- Choe, C., & Fraser, I. (1999). An Economic Analysis of Household Waste Management. *Journal of Environmental Economics and Management* 38, 234-246.
- Cointreau, S. (2006). Occupational and Environmental Health Issues of Solid Waste Management : Special Emphasis on Middle- and Lower-Income Countries. *World Bank, Urban Papers UP2*.
- Diaz, R., & Otoma, S. (2014). Cost–benefit analysis of waste reduction in developing countries : a simulation. *J Mater Cycles Waste Manag*, 108-104; DOI 10.1007/s10163-013-0148-3.
- Ezeah, C., Fazakerley, J. A., & Roberts, C. L. (2013). Emerging trends in informal sector recycling in developing and transition countries. *Waste Management*, 33, 2509-2519.
- Fahmia, W. S., & Sutton, K. (2006). Cairo’s Zabaleen garbage recyclers: Multi-nationals’ takeover and state relocation plans. *Habitat International* 30, 809–837.

- Fleckinger, P., & Glachant, M. (2010). The organization of extended producer responsibility in waste policy with product differentiation. *Journal of Environmental Economics and Management*, 59, 57-66.
- Fullerton, D., & Kinnaman, T. C. (1995). Garbage, recycling and illicit burning or dumping. *Journal of Environmental Economics and Management* 29, 78-91.
- Fullerton, D., & Wu, W. (1998). Policies for green design. *Journal of environmental economics and management*, 36, 131-148.
- Gunsilius, E. (2012). Role of the informal sector in solid waste management and enabling conditions for its integration experiences from GTZ. *Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (GTZ)*.
- Gunsilius, E. (2012). Role of the informal sector in solid waste management and enabling conditions for its integration, experiences from GTZ. *Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (GTZ)*.
- Gunsilius, E., Chaturvedi, B., & Scheinberg, A. (2011). The Economics of the Informal Sector in Solid Waste Management. *CWG - GIZ*.
- Hoornweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). *What a Waste : A Global Review of Solid Waste Management*. Washington: World bank.
- Ino, H. (2011). Optimal environmental policy for waste disposal and recycling when firms are not compliant. *Journal of Environmental Economics and Management* 62, 290–308.
- Kinnaman, T. C. (2010). Optimal solid waste tax policy with centralized recycling . *National Tax Journal*, 237-252.
- Marjit, S. (2003). Economic reform and informal wage—a general equilibrium analysis. *Journal of Development Economics* 72, 371-378.
- Mazhar, U., & Elgin, C. (2013). Environmental Regulation, Pollution and the Informal Economy. *SBP Research Bulletin, Vol. 9, No. 1*.
- Medina, M. (2000). Scavenger cooperatives in Asia and Latin America. *Resources, Conservation and Recycling* 31, 51-69.
- Medina, M. (2001). Scavenging in America: back to the future? *Resources, Conservation and Recycling*, 229–240.
- Medina, M. (2008). The informal recycling sector in developing countries. *Gridlines, notes n°44* .
- Oteng-Ababio, M., Arguello, J. E., & Gabbay, O. (2013). Solid waste management in African cities: Sorting the facts from the fads in Accra, Ghana. *Habitat International* 39, 96-104.
- Palmer, K., & Walls, M. (1997). Optimal policies for solid waste disposal Taxes, subsidies, and standards. *Journal of Public Economics* 65, 193-205.

- Runkel, M. (2003). Product Durability and Extended Producer Responsibility in Solid Waste Management. *Environmental and Resource Economics* 24, 161-182.
- Schneider, F., Buehn, A., & Montenegro, C. E. (2010). Shadow Economies All over the World: New Estimates for 162 Countries from 1999 to 2007. *The World Bank, Policy Research Working Paper 5356*.
- Shinkuma, T. (2003). On the Second-Best Policy of Household's Waste Recycling. *Environmental and Resource Economics* 24, 77–95.
- Sweep-net. (2013). Informal sector involvement, Monthly theme august. *Sweep-net.com*.
- Tirado-Soto, M. M., & Zamberlan, F. L. (2013). Networks of recyclable material waste-picker's cooperatives: An alternative for the solid waste management in the city of Rio de Janeiro. *Waste Management*, 1004-1012.
- UN-HABITAT. (2010a). *Collection of Municipal Solid Waste in Developing Countries*. Nairobi, Kenya: United Nations Human Settlements Programme.
- UN-HABITAT. (2010b). *Solid waste management in the world's cities*. London - Washington, DC: United Nations Human Settlements Programme.
- United Nations Environment Programme. (2009). *Marine Litter: A Global Challenge*. UNEP.
- Wilson, D. C., & al. (2009). Building recycling rates through the informal sector. *Waste Management*, 29, 629–635.
- Wilson, D. C., Velis, C., & Cheeseman, C. (2006). Role of informal sector recycling in waste developing countries. *Habitat International* 30, 797-808.
- Wilson, D., & al. (2012). Comparative analysis of solid waste management in 20 cities. *Waste Management & Research*, 237-254.



## Annexe 1 : Equilibre et statistique comparative

A l'équilibre les offres et demandes agrégées sont égales. On a donc

$$X^d[P_x^*(t; \tau); \tau] = X^s[P_x^*(t; \tau); t] \equiv X^*(t; \tau)$$

$$R^s[P_r^*(s; \tau); \tau] = R^d[P_r^*(s; \tau); s] \equiv R^*(s; \tau)$$

Avec  $X^*(t; \tau)$  et  $R^*(s; \tau)$  les quantités d'équilibre respectivement des biens et des matières recyclables (MR). On en déduit les prix d'équilibre en utilisant les fonctions inverses des quantités d'équilibre.

$$P_x^*(t; \tau) = P_x[X^*(t; \tau); \tau]$$

$$P_r^*(s; \tau) = P_r[R^*(s; \tau); \tau]$$

Rappelons que les offres et demandes d'équilibre sont la somme des quantités d'équilibre individuelles caractérisées par :

$$x_j^{s*}(t; \tau) \equiv x_j^s[P_x^*(t; \tau); t] \quad r_j^{d*}(s; \tau) \equiv r_j^{f*}(s; \tau) + r_j^{i*}(s; \tau) \equiv r_j^d[P_r^*(s; \tau); s]$$

$$x_j^{d*}(t; \tau) \equiv x_j^d[P_x^*(t; \tau); \tau], \quad r_i^{s*}(s; \tau) \equiv r_i^s[P_r^*(s; \tau); \tau].$$

Avec  $j = 1, 2, \dots, n$  et  $i = 1, 2, \dots, m$ . Nous pouvons donc déduire la variation des offres et demandes agrégées des variations des offres et demandes individuelles.

- Variation par rapport à  $(t)$  et  $(s)$

$$C x_j'^{-1}(P_x^* - t)(P_{xt}^* - 1) = U_i''^{-1}(P_x^* + \tau)(P_{xt}^*)$$

$$P_{xt}^* = \frac{C x_j'^{-1}(P_x^* - t)}{C x_j'^{-1}(P_x^* - t) - U_i''^{-1}(P_x^* + \tau)} > 0$$

$$C'' r_i^{-1}(P_r^* + \tau)(P_{rs}^*) = B_j^{f''-1}(P_r^* - s)(P_{xs}^* - 1) + B_j^{i''-1}(P_r^*)(P_{rs}^*)$$

$$(P_{rs}^*) = -\frac{B_j^{f''-1}(P_r^* - s)}{C'' r_i^{-1}(P_r^* + \tau) - B_j^{f''-1}(P_r^* - s) - B_j^{i''-1}(P_r^*)} > 0$$

- Variation par rapport à  $(\tau)$

$$C x_j'^{-1}(P_x^* - t)(P_{xt}^*) = U_i''^{-1}(P_x^* + \tau)(P_{xt}^* + 1)$$

$$P_{xt}^* = \frac{U_i''^{-1}(P_x^* + \tau)}{C x_j'^{-1}(P_x^* - t) - U_i''^{-1}(P_x^* + \tau)} < 0$$

$$C''r_i^{-1}(P_r^* + \tau)(P_{r\tau}^{*t} + 1) = B_j^{f''-1}(P_r^* - s)(P_{x\tau}^{*t}) + B_j^{i''-1}(P_r^*)(P_{r\tau}^{*t})$$

$$P_{r\tau}^{*t} = -\frac{C''r_i^{-1}(P_r^* + \tau)}{C''r_i^{-1}(P_r^* + \tau) - B_j^{f''-1}(P_r^* - s) - B_j^{i''-1}(P_r^*)} < 0$$

Supposons pour tous  $i$  et  $j$   $x_j^{s*}(t; \tau) > 0$ ,  $r_j^{d*}(s; \tau) = r_j^{f*}(s; \tau) + r_j^{i*}(s; \tau) > 0$ ,  $x_j^{d*}(t; \tau) > 0$  et  $r_j^{s*}(s; \tau) > 0$

$$\frac{\partial P_x^*}{\partial t} = \frac{\sum_{j=1}^n (1/Cx_j''(x_j^{s*}))}{\Delta_1} > 0$$

$$\frac{\partial P_x^*}{\partial \tau} = \frac{\sum_{i=1}^m (1/U_i''(x_i^{d*}))}{\Delta_1} < 0$$

$$\frac{\partial P_r^*}{\partial s} = \frac{-\sum_{j=1}^n (1/B_j''(r_j^{d*}))}{\Delta_2} > 0$$

$$\frac{\partial P_r^*}{\partial \tau} = \frac{-\sum_{i=1}^m (1/Cr_i''(r_i^{s*}))}{\Delta_2} < 0$$

$$\frac{\partial X^*}{\partial t} = \frac{\partial X^*}{\partial \tau} = \frac{\sum_{j=1}^n (1/Cx_j''(x_j^{s*})) \sum_{i=1}^m (1/U_i''(x_i^{d*}))}{\Delta_1} < 0$$

$$\frac{\partial R^*}{\partial s} = \frac{\partial R^*}{\partial \tau} = \frac{\sum_{i=1}^m (1/Cr_i''(r_i^{s*})) \sum_{j=1}^n (1/B_j''(r_j^{d*}))}{\Delta_2} > 0$$

Où  $\Delta_1 = \sum_{j=1}^n (1/Cx_j''(x_j^{s*})) - \sum_{i=1}^m (1/U_i''(x_i^{d*})) > 0$  et  $\Delta_2 = \sum_{i=1}^m (1/Cr_i''(r_i^{s*})) - \sum_{j=1}^n (1/B_j''(r_j^{d*})) - \sum_{j=1}^n (1/B_j^{f''}(r_j^{f*})) - \sum_{j=1}^n (1/B_j^{i''}(r_j^{i*})) > 0$

Les équations montrent la décomposition des impacts du Deposit and Refund System et de la tarification à l'acte sur les quantités de biens et de matières recyclables à l'équilibre.