

# Infrastructure numérique et environnement :

## L'impossible domestication de l'effet rebond

*Papier présenté lors du Colloque international "Services, innovation et développement durable",  
Poitiers (France), 26-28 mars 2008.*

*Version revue et corrigée à paraître en 2009 dans la revue Terminal.*

Fabrice Flipo  
Maître de Conférences  
Institut TELECOM, TELECOM & Management Sud Paris  
ETOS / CEMANTIC  
91011 Evry ([fabrice.flipo@it-sudparis.eu](mailto:fabrice.flipo@it-sudparis.eu))

Cédric Gossart  
Maître de Conférences  
Institut TELECOM, TELECOM & Management Sud Paris  
ETOS / CEMANTIC  
91011 Evry ([cedric.gossart@it-sudparis.eu](mailto:cedric.gossart@it-sudparis.eu))

### Introduction

Les technologies de l'information se généralisent dans un grand nombre de domaines de la vie collective et domestique. Entre 1993 et 2000, le nombre de PC par habitant terrestre a augmenté de 181%. En avril 2002, le milliardième PC a été livré<sup>1</sup>. Le nombre de PC dans le monde devrait être porté à 1,3 milliard d'ici 2010, contre près de 900 millions aujourd'hui<sup>2</sup>. Des pays comme l'Indonésie s'équipent au rythme de +40% par an. Le Mexique devrait atteindre 46% de la population possédant un ordinateur avant la fin de la décennie. Un total de 471 millions de téléphones portables ont été vendus dans le monde en 2003, environ 630 millions en 2004 et plus de 800 millions en 2005<sup>3</sup>. Le nombre d'abonnements à la téléphonie mobile a dépassé les 2,6 milliards en 2006<sup>4</sup>, la moitié des Terriens pourrait être client chez un opérateur mobile avant 2010. Les puces envahissent notre quotidien : automobiles, PDA, lecteurs MP3, etc. Les technologies de l'information et de la communication (TIC) véhiculent une image de légèreté et d'absence de friction. Les coûts de transaction et les frais de transport sont ramenés quasiment à zéro. Leur effet sur l'écologie planétaire semble être nul. Mieux, elles permettent d'observer la planète et ses évolutions de loin, sans avoir l'air d'y toucher. Est-ce réellement le cas ?

### Un poids écologique croissant

Comme toutes les infrastructures, les autoroutes de l'information demandent à être entretenues et donc régulièrement alimentées en matériaux et en énergie. La hauteur de la consommation d'énergie est le lieu de controverses. J.A. Laitner, de l'Environmental Protection Agency (EPA, Etats-Unis) estime que la consommation aux Etats-Unis en 2003 s'élevait à 3% de la consommation

<sup>1</sup> R. Kuehr & E. Williams, *Computers and the environment – Understanding and managing their impacts*, Kluwer Academic Publishers, United Nations University, 2003.

<sup>2</sup> [http://www.journaldunet.com/cc/02\\_equipement/equip\\_pc\\_mde.shtml](http://www.journaldunet.com/cc/02_equipement/equip_pc_mde.shtml)

<sup>3</sup> <http://www.networkworld.com/news/2006/022806-mobile-phone-sales.html?pageurl=>

<sup>4</sup> [http://www.journaldunet.com/cc/05\\_mobile/mobile\\_abonnes\\_mde.shtml](http://www.journaldunet.com/cc/05_mobile/mobile_abonnes_mde.shtml)

totale d'électricité, tandis que Cremer évalue la consommation allemande à 7%<sup>5</sup>. Des ordres de grandeur équivalents sont obtenus pour la Suisse avec un poids électrique des TIC de 10% sur la consommation totale<sup>6</sup>. L'augmentation de consommation électrique dans les ménages depuis 1990 s'élève à 75%<sup>7</sup>, une part est liée à l'expansion des TIC. La structure de la consommation est mal connue. Les résultats peuvent être surprenants. Il s'avère par exemple que la consommation des télécommunications mobiles est générée à 90% par l'infrastructure et 10% par le terminal. Les serveurs tournent 24 heures par jour, dans des salles climatisées dédiées<sup>8</sup>. Cette consommation est largement indépendante du nombre d'utilisateurs<sup>9</sup>. La consommation d'énergie n'est pas à la baisse. Les puissances et largeur de bande croissantes consomment de plus en plus d'énergie. Le téléphone 3G consomme davantage que le GSM pour échanger 1 Gb<sup>10</sup>. Les efforts de certains constructeurs comme Sun Microsystems permettent de gagner en intensité énergétique : la puissance croît fortement tandis que la consommation est quasiment stabilisée. La vertu écologique des constructeurs n'explique pas tout : les niveaux de puissance et la miniaturisation posent des problèmes d'évacuation de la chaleur qui rendent nécessaires d'énormes efforts sur la consommation.

Mis sur le marché, les produits usagés finissent tôt ou tard par en sortir. Les déchets issus des TI entrent dans la catégorie des Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques, ou « DEEE ». Cette catégorie varie selon les pays mais rassemble à peu près partout les déchets issus des technologies de l'information et ceux issus de l'électroménager (frigos, fer à repasser etc.), les produits audio et vidéo (télévisions, hi-fi etc.) et les petits appareils électriques divers (perceuses etc.), pour ce qui est des ménages, et l'ensemble des parties électriques des équipements des professionnels. En 2007, le volume d'équipements TIC mis sur le marché était de 228 000 tonnes en Allemagne, de 220 000 tonnes au Royaume Uni, de 168 000 tonnes en France, de 120 000 tonnes en Italie, soit les deux tiers du volume de l'Europe des 27 (1 153 000 tonnes)<sup>11</sup>. Quant aux quantités de DEEE déclarés, elles se montaient au début du siècle à 29 kg/hab./an pour le RU, à 24 kg/hab./an pour la France ou la Suède, et à 23 kg/hab./an pour le Danemark ou la Finlande<sup>12</sup>. Il faut savoir que chaque année, entre 20 et 50 millions de tonnes de DEEE sont produits dans le monde, et chaque citoyen de l'Union Européenne s'est débarrassé de 25 kg de ces déchets. L'Asie a éliminé 12 millions de tonnes de DEEE en 2000. La croissance en volume est de 3 à 5% par an, un taux quasiment triple du taux des déchets classiques. Les experts estiment que rien qu'aux Etats-unis, plus de 500 millions d'ordinateurs sont devenus obsolètes entre 1997 et 2007. En 2001 en Californie, plus de 6000 ordinateurs devenaient obsolètes par jour<sup>13</sup>. 130 millions de téléphones

---

<sup>5</sup> C. Cremer & W. Eichhammer, *Energy Consumption of Information and Communication Technology (ICT) in Germany up to 2010*, Karlsruhe, Zurich, Fraunhofer ISI, CEPE, 2003.

<sup>6</sup> B. Aebischer, *Informationstechnologie: Energiesparer oder Energiefresser?*, EMPA-Akademie Wissenschaftsapéro, 2003.

<sup>7</sup> [http://www.industrie.gouv.fr/energie/statisti/rt\\_energies\\_usage.htm](http://www.industrie.gouv.fr/energie/statisti/rt_energies_usage.htm)

<sup>8</sup> F. Berkhout & J. Hertin, *Impacts of Information and Communication Technologies on Environmental Sustainability: speculations and evidence – Report to the OECD*, 2001.

<sup>9</sup> C. Schafer & C. Weber, *Mobilfunk und energiebedarf, Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 50 (4): 237-241, cité par K. Fichter, *E-commerce*, vol. 6, 2, Journal of Industrial Ecology, 2003, pp. 25-41.

<sup>10</sup> M. Faist Emmenegger, R. Frischknecht, M. Stutz, M. Guggisberg, R. Witschi & T. Otto, *LCA of the mobile communication system UMTS*, in SETAC, *11th LCA Case Studies Symposium - Abstracts*, 2003, p.105-107

<sup>11</sup> United Nations University, 2008 Review of Directive 2002/96 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), Final Report, 05 August 2007, p. 47.

<sup>12</sup> R. Kuehr & E. Williams, *op. cit.*, 2003

<sup>13</sup> California Integrated Waste Management Board, *Selected E-waste Diversion in California: a baseline Study*, 2001. [www.ciwmb.ca.gov/Publications/HHW/61001008.doc](http://www.ciwmb.ca.gov/Publications/HHW/61001008.doc)

mobiles arriveront en fin de vie d'ici fin 2005 dans le monde, produisant 65 000 tonnes de DEEE. 610 millions d'entre eux arriveront en fin de vie d'ici 2010 au Japon<sup>14</sup>.

L'obsolescence des produits a été considérablement accélérée, que cela vienne des logiciels, chaque fois plus consommateurs en ressources machine, ou du hardware, dont l'évolution constante et régulière (« loi de Moore » qui prévoit le doublement de la puissance tous les 18 mois) permet aux éditeurs de logiciels de pouvoir compter sur les capacités nécessaires le jour de la sortie de leur produit. La durée de vie des ordinateurs a chuté, passant de 6 ans en 1997 à deux ans en 2005<sup>15</sup>. Les téléphones portables ont une durée de vie de moins de deux ans dans les pays industrialisés<sup>16</sup>.

Le traitement des déchets dépend de leur composition. Que contiennent les produits électriques et électroniques ? Par exemple, un PC contient à la fois des métaux précieux dans les cartes mères (12% d'or, d'argent, de platine, de palladium), des matières recyclables (32% de métaux ferreux, 23% de plastique, 15% de verre), et des métaux dangereux (18% de plomb, cadmium, mercure, etc.). Ceci explique que les DEEE soient catégorisés déchets dangereux tombant donc sous le coup de la convention de Bâle. En moyenne, 500 millions de PC contiennent 2 872 000 tonnes de plastiques, 718 000 tonnes de plomb, 1 363 tonnes de cadmium, 863 t de chrome, 287 t de mercure<sup>17</sup>. Un téléphone portable contient en moyenne entre 500 et 1000 composants. Ces composants sont faits d'une très large gamme de matériaux et de substances<sup>18</sup>. Les produits toxiques sont nombreux et variés. Citons entre autres le mercure, le plomb, le cadmium, le chrome, les PBB (diphényles polybromés) et les PBDEs (éthers diphényles polybromés). Une partie de ces produits sont des « polluants organiques persistants », toxiques pour le vivant et bioaccumulants dans l'environnement. Environ 20% du poids de chaque écran d'ordinateur provient du plomb qui le constitue<sup>19</sup>. La Commission de Coopération Environnementale de l'Amérique du Nord, qui dépend de l'ALENA (Accord de Libre-Echange Nord-Américain), évoque ainsi une « menace mondiale »<sup>20</sup>.

Une fois produits, les TIC se retrouvent partout : dans les maisons, dans les vêtements, dans les placards, les usines, les voitures, les bateaux, les sous-marins etc. Que deviennent ces produits ? Comment sont-ils récupérés ? Finissent-ils dans la nature ? D'après US EPA, en 2005 sur les 2,6 millions de tonnes d'équipements électroniques mis sur le marché seuls 13% ont été recyclés<sup>21</sup>. Les nord-américains stockent en moyenne deux à trois ordinateurs obsolètes dans leur garage ou dans leur placard. On estime que les trois quarts des machines vendues aux Etats-Unis sont stockées, attendant d'être réutilisées, recyclées ou jetées. 2,9 millions de télévisions (74 000 tonnes) et 3,2 millions d'écrans d'ordinateur (48 000 tonnes) seraient ainsi stockés par les ménages californiens. De nombreuses organisations qui récupèrent les matériels usagers sous forme de don pour divers

---

<sup>14</sup> PNUE, *Les Déchets Electroniques, la face cachée de l'ascension des technologies de l'information et de la communication*, Pré-alertes sur les menaces environnementales émergentes, 2005. [http://www.grid.unep.ch/product/publication/download/ew\\_ewaste.fr.pdf](http://www.grid.unep.ch/product/publication/download/ew_ewaste.fr.pdf)

<sup>15</sup> US EPA, *Electronics : a new opportunity for waste prevention, reuse, and recycling*, 2001. [www.epa.gov/epaoswer/osw/elec\\_fs.pdf](http://www.epa.gov/epaoswer/osw/elec_fs.pdf).

<sup>16</sup> PNUE, *op.cit.*, 2005

<sup>17</sup> Microelectronics and Computer Technology Corporation, *Electronics Industry Environmental Roadmap*, Austin, TX: MCC, 1996. <http://usms.nist.gov/roadmaps/object.cfm?ObjectID=281>.

<sup>18</sup> Singhal, *op. cit.*, 2005.

<sup>19</sup> PNUE, *op.cit.*, 2005

<sup>20</sup> J. Ostroff, *Les déchets électroniques : une menace mondiale*, Hiver 2004-2005, <http://www.cec.org/trio/stories/index.cfm?ed=14&ID=157&varlan=francais>, *Trio*.

<sup>21</sup> US EPA, *Municipal Solid Waste in the USA*, 2005 Facts & Figures, October, p. 72, 2006.

usages<sup>22</sup>. L'activité de réutilisation est un secteur important de l'économie sociale et solidaire, comme nous le verrons plus loin dans le cas français.

Selon l'EPA, 4.6 millions de tonnes de DEEE ont été enfouis, avec de nombreux risques de fuites et de vaporisation du mercure dans le long terme. Le tonnage est très nettement inférieur au tonnage sorti du marché. Comment expliquer la différence ? C'est le commerce international qui en fournit la raison : 50 à 80% des déchets des Etats-Unis sont exportés vers des destinations telles que la Chine. Ces pays ne sont pas équipés de capacités de traitement permettant de récupérer les matériaux. Les conditions de recyclage peuvent être dramatiques : un échantillon d'eau de la rivière Lianjiang, proche d'un village de recyclage chinois a révélé des taux de plomb entre 190 et 2 400 fois plus élevés que les standards préconisés par l'Organisation Mondiale de la Santé et 16 fois plus élevés pour l'antimoine<sup>23</sup>. Cela concorde avec les enquêtes locales : selon Toxic Link, 70% des DEEE mis en décharge à New Delhi provenaient d'exportations de pays industrialisés<sup>24</sup>. Les échantillons de sédiments contenaient 212 fois plus de plomb que ce qui est considéré comme un déchet toxique en Hollande<sup>25</sup>. Enfin, il a été observé une concentration de dérivés chlorés deux fois plus élevée que la normale dans le lait des mères vivant près d'un site de recyclage de DEEE<sup>26</sup>. Le problème du recyclage n'est pas seulement celui des pays en développement, rappelons que Metaleurop, qui a laissé un canton entier contaminé au plomb, était une usine de recyclage de batteries. Les TIC, qui deviennent de plus en plus « nomades », contiennent un grand nombre de batteries.

Comme le montrent les deux tableaux suivants, les TIC consomment aussi des ressources pour leur fabrication. L'industrie électronique est parfois considérée par certaines sources comme l'une des plus polluantes du monde. Bien sûr le qualificatif est discutable. Il vient du fait que l'industrie des semi-conducteurs, les fameuses « nanotechnologies », utilise beaucoup d'eau très pure et de nombreux produits toxiques très difficiles à éliminer. De plus l'analyse du cycle de vie des produits révèle des chiffres surprenants. Produire un PC de 24 kg exige 240 kg de carburants fossiles, 22 kg de produits chimiques et 1 500 litres d'eau, soit en proportion plus que pour la production d'une voiture<sup>27</sup>. Un PC contient 1 500 à 2 000 composants qui viennent du monde entier, en général par voie aérienne. Sur son cycle de vie, un téléphone mobile 3G consomme 4 à 6 litres d'essence, soit 65 à 95 km en automobile, tandis que l'abonnement consomme 19 à 21 litres d'essence, soit 250 à 380 km parcourus en automobile, avec les émissions de CO<sub>2</sub> correspondantes<sup>28</sup>. L'étude citée plus haut sur le modèle 3G montre que l'impact est réalisé à 60% par la fabrication du téléphone, tandis que la phase d'usage ne constitue que 30% du total. Une autre étude montre que l'usage du téléphone n'est responsable que de 5% (UMTS) à 15% (GSM) des impacts totaux<sup>29</sup>.

---

<sup>22</sup> EPA, *op. cit.*, 2001.

<sup>23</sup> Basel Action Network & Silicon Valley Toxics Coalition, *Exporting Harm – The high-tech trashing of Asia*, 2002.

<sup>24</sup> Toxic Link, *Scrapping the high-tech myth – computer waste in India*, Feb 2003.

<sup>25</sup> PNUE, 2005

<sup>26</sup> [http://www.iges.or.jp/en/ltp/pdf/activity08/20\\_wong.pdf](http://www.iges.or.jp/en/ltp/pdf/activity08/20_wong.pdf).

<sup>27</sup> R. Kuehr & E. Williams, *op. cit.*, 2003.

<sup>28</sup> Singhal, *op. cit.*, 2005.

<sup>29</sup> M. Faist Emmenegger, R. Frischknecht, M. Stutz, M. Guggisberg, R. Witschi & T. Otto, *LCA of the mobile communication system UMTS*, in SETAC, *11th LCA Case Studies Symposium - Abstracts*, 2003, p.105-107

## Ressources utilisées pour la fabrication des semi-conducteurs

Matériaux	Description	Quantité par puce (silicone : 1,6 cm <sup>2</sup> )
Couche de silicone		0,25 g
Produits chimiques		72 g
Gaz	N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> , He, Ar	700 g
Energie	Electricité	2,9 KWh
	Combustibles fossiles incorporés*	970 g
Eau		32 litres**

Source : Eric Williams (2004), "Environmental impacts of microchip manufacture", *Thin Solid Films* 461, 2-6.

\* Consommation directe et de l'électricité achetée.

\*\* A Taiwan, au début des 2000s une sécheresse a généré un conflit entre agriculteurs et firmes high-tech.

## Contenu en énergie fossile de différents produits

Produits	(a) Combustibles fossiles incorporés (kg)	(b) Poids du produit (kg)	(a) / (b)
Puce 32 Mb DRAM	1,2	0,002	600
Voiture	1000	1200	0,83
Réfrigérateur	53	35	1,5

La miniaturisation n'entraîne donc pas de réduction de l'impact écologique des produits. Il faut de très grosses machines pour aller dans l'infiniment petit – que l'on pense aux gigantesques synchrotrons qui ont été construits pour descendre au niveau de la mécanique quantique. En réalité cet impact devient invisible : pendant que le poids est réduit, c'est l'empreinte écologique des produits qui s'accroît. La solution ne semble « gagnante-gagnante » que parce qu'il existe un tiers exclu masqué. Certains services au sein des constructeurs en sont un peu conscients et certains d'entre eux tentent de produire des matériels selon les règles de l'écoconception. C'est notamment le cas de Nokia, mais comme le montre le classement réalisé par Greenpeace les performances environnementales des constructeurs sont très variables et changent d'une année sur l'autre<sup>30</sup>. Mais le pouvoir des constructeurs en la matière est limité. Et les clients ne cherchent pas vraiment à utiliser des produits « verts », ils considèrent en général ces labels comme étant des arguments commerciaux qui ne sont pas dignes de confiance<sup>31</sup>.

## Effet rebond et TIC

De nombreuses études ont étudié l'effet rebond (ER)<sup>32</sup> ; elles s'accordent sur une typologie comportant trois ou quatre catégories. Greening & al (2000) proposent une typologie appliquée aux services énergétiques qui prend en compte les dimensions micro et macroéconomiques de ce phénomène. Le **premier type d'ER**, l'ER direct, joue au niveau microéconomique d'un service énergétique. Lorsque l'on réduit l'intensité en énergie d'un service énergétique, son prix tend à diminuer et son coût pour le consommateur final à baisser. Dès lors, soit ce dernier utilise

<sup>30</sup> <http://www.greenpeace.org/international/campaigns/toxics/electronics/how-the-companies-line-up>.

<sup>31</sup> A. Attané, *Pêcher, courir, trier ses déchets... pratiques de l'environnement ou rapport aux autres ?*, *Europaea – Journal des Européanistes*, 1-2, anno VIII, 2002, p. 275.

<sup>32</sup> Pour un résumé voir Herring (1998, 2004) paru dans un numéro spécial de la revue « Energy Policy », ainsi que Schipper & Grubb (2000), Vikström (2004), Grepperud & Rasmussen (2004), IEA (2005), Sorrell & Dimitropoulos (2005).

l'économie résultante pour consommer plus du service concerné (effet substitution), soit il estime avoir atteint un niveau de consommation de ce service satisfaisant, auquel cas et il affecte cette économie à d'autres fins (effet revenu). Suite à ce dernier effet, le choix d'une consommation accrue d'autres services ou biens génère un **deuxième type d'ER**, qui correspond à une consommation induite de carburant. L'individu pourra par exemple décider de voyager plus loin, une entreprise pourra en profiter pour étendre ses activités de production, qui sont rarement énergétiquement neutres. Un **troisième type d'ER** reflète l'impact des ajustements de prix et de quantités consécutifs aux deux ER précédents sur les agrégats de consommation et d'investissement des consommateurs privés et publics. Bien moins avéré que les précédents, il opère notamment à travers les ajustements de prix sur les marchés d'approvisionnement en carburant. Il peut contribuer à renchérir les biens et services intermédiaires et favoriser l'essor de la croissance économique en général et des secteurs gourmands en énergie en particulier. Enfin, le **quatrième type d'ER** regroupe des effets dits de transformation, qui ont le pouvoir de changer les préférences des consommateurs, d'altérer les institutions sociales, et de modifier l'organisation de la production. Les auteurs ne citent pas d'étude de cas pour le secteur des TIC. Quel serait l'effet d'une baisse de l'intensité énergétique des serveurs informatiques sur les quantités vendues ? Tout comme dans le cas des avions soi-disant économes en énergie<sup>33</sup>, on peut craindre un fort ER du premier type, confirmé par le succès du Boeing 787 qui se vend comme des petits pains alors que le baril de pétrole se rapproche des 100 dollars<sup>34</sup>... Peu d'études portent sur l'ER et les TIC, mais on imagine facilement l'argumentaire vert des fabricants de serveurs informatiques très gourmands en énergie<sup>35</sup>.

Les **études sectorielles** de l'ER portent souvent sur le secteur énergétique et des transports. Haas & Biermayr (2000) comparent différentes approches utilisées pour évaluer l'ampleur de l'ER au niveau du chauffage en Autriche. Ils mettent en avant un ER non négligeable de 20 à 30%. Herring & Roy (2002) avancent que l'éducation à distance génère 90% de consommation d'énergie et d'émissions de CO<sub>2</sub> en moins que des cours dispensés sur un campus, mais soulignent en revanche qu'à cause de l'ER ce n'est pas le cas de l'éducation à distance en comparaison avec celle basée sur le papier. Concernant le rôle des véhicules hybrides dans la réduction de la consommation énergétique, Haas & al. (2007) avancent que les réductions d'impôts liées à l'achat de ces véhicules conduisaient à une augmentation significative de leurs ventes. Estimant l'ER pour les véhicules à moteur, Small & Van Dender (2007) concluent à des ER sensiblement différents selon le niveau du prix de l'énergie et qui varient entre 2,2 et 22,2%. Sur le long terme, l'ER est significatif et tend à remettre en cause le succès des politiques d'efficacité énergétiques des véhicules. En effet, ils ont calculé que pour les Etats-Unis et au cours du dernier tiers du 20<sup>e</sup> siècle, ces politiques ont accru de 20 à 25% le nombre de kilomètres parcourus en véhicule, ce pourcentage étant très sensible au revenu.

On trouve aussi des **études macroéconomiques** et néoclassiques. Par exemple, suite à une revue de la littérature, Berkhout & al. (2000) concluent que « l'impact du progrès technologique [en termes de réduction de la consommation énergétique] peut difficilement être compensée par un changement de comportement [des consommateurs] ». Cette conclusion est partagée par Barbera & al. (2007), pour qui l'ER généré par les politiques d'économie d'énergie est très limité. Binswanger (2001) estime qu'on ne peut évaluer l'effet rebond avec un modèle monoservice, et que les modèles multiservices peuvent difficilement fournir des conclusions généralisables. Il met également en évidence un ER lié au temps, car des technologies faisant économiser du temps de

---

<sup>33</sup> <http://news.bbc.co.uk/2/hi/business/6285350.stm>.

<sup>34</sup> [http://www.usatoday.com/travel/flights/2006-06-08-boeing-787\\_x.htm#](http://www.usatoday.com/travel/flights/2006-06-08-boeing-787_x.htm#).

<sup>35</sup> Voir par exemple, <http://news.mongabay.com/2006/1204-dell.html> or <http://www.pcmag.com/article2/0,2817,2271432,00.asp>.

trajet par exemple peuvent aussi conduire à accroître la demande de transport. Cet ER serait particulièrement fort dans les tranches de revenu élevées et lorsque les prix de l'énergie sont bas. Le modèle d'équilibre général de Birol & Keppler (2000) suggère qu'une approche par les prix ne peut à elle seule conduire à une réduction de la consommation d'énergie, et que celle-ci aura pour conséquence une réduction du PIB si l'on ne favorise pas la substitution de facteurs de production et de produits moins intenses en énergie<sup>36</sup>. Le modèle d'équilibre général de Mizobuchi (2008) trouve une ER de 27%.

Appliquées au **secteur des TIC**, ces différents types d'ER remettent en question la facile compatibilité des TIC avec un développement durable. Herring & Roy (2007) soulignent que la plupart des auteurs s'accordent sur le fait que l'ER est très lié à l'élasticité de substitution. Cela signifie que plus l'élasticité-prix des services énergétiques est importante, plus fort sera l'ER. En d'autres termes, plus les consommateurs sont sensibles aux variations du prix de l'énergie (forte élasticité), plus la baisse, par exemple, de ce prix, va se traduire par une augmentation de leur consommation énergétique (effet substitution). Dans ce contexte, tout l'enjeu des politiques de réduction de la consommation énergétique et d'émissions de GES est donc de faire en sorte que l'économie réalisée grâce au progrès technologique, en termes réduction des dépenses ou du temps passé à utiliser un service (autoroute, train, Internet, ...), ne se traduise pas par des choix de dépense qui consommeraient beaucoup d'énergie et émettraient beaucoup de GES. La conséquence paradoxale serait alors que les politiques ciblées d'économies d'énergie et de réduction de GES aient indirectement un effet contraire à leur objectif initial. En définitive, le succès de ces politiques reste très largement dépendant des préférences de l'acteur individuel, ce qui souligne l'importance des recherches et de politiques visant à les orienter ces préférences vers un mode de consommation durable. Pour Herring & Roy (2007) la certitude d'un ER suggère que les politiques de soutien à l'innovation visant à réduire la consommation énergétique et les émissions de GES sont vouées à l'échec. Il convient donc d'utiliser d'autres instruments comme la taxation ou la régulation en vue d'infléchir le comportement des consommateurs. A cet effet ils donnent les résultats d'un projet de recherche sur l'écoconception centrée sur l'individu, qui mettent en avant les facteurs aidant les individus à limiter l'ER. Comprendre comment cela est possible pour les individus implique une meilleure connaissance de leur style de vie, afin de concevoir des instruments permettant de réduire leur empreinte écologique. Se pose alors la question de savoir si la meilleure solution ne consiste pas à *tout simplement* moins consommer...<sup>37</sup> Pour les entreprises, il s'agit de concevoir des produits pouvant répondre à ce nouveau type de besoins moins intenses en matières et en énergie mais conduisant à une meilleure qualité de vie.

Plepy (2002) explore le parallèle entre l'ER et les TIC, dont les performances accrues poussent à en accroître la consommation. Il souligne que cet effet a de nombreuses implications environnementales. Cela pourrait plus que compenser les gains liés à la croissance de ce secteur, et pousser à remettre en cause les stratégies d'investissement massifs dans le secteur, notamment en Europe pour combler le retard avec les USA ou le Japon (les TIC bénéficient de la plus importante ligne budgétaire du 7<sup>e</sup> PCRD). Il donne de multiples exemples où les TIC génèrent les différents type d'ER, et souligne qu'Internet peut être un puissant vecteur d'accroissement de la consommation, tant il facilite l'identification, la comparaison et l'achat de biens et services.

---

<sup>36</sup> Le problème est alors de savoir dans quelle mesure cette substitution peut réellement avoir lieu ou si elle n'est que la n<sup>ème</sup> manifestation d'un espoir prométhéen plaçant l'espoir d'un développement durable dans la baguette magique hi-tec, ce qui permet l'économie d'une réflexion sur la manière de changer nos comportements de consommation et de production.

<sup>37</sup> Sur la simplicité volontaire et les politiques de décroissance voir le numéro n° 896 du 3 janvier 2008 de Courrier International intitulé « Travailler moins pour gagner moins et vivre mieux », ainsi que la conférence <http://events.it-sudparis.eu/degrowthconference/>.

## **Les sociétés réagissent face au problème des déchets**

Les effets négatifs des TIC sont nombreux et augmentent rapidement. Les entreprises, les collectivités territoriales, Commission Européenne en tête, et les acteurs associatifs n'y sont pas restés insensibles. Deux textes principaux sont venus organiser la fin de vie des produits : la directive DEEE (déchets d'équipement électriques et électroniques) et la directive RoHS (Restriction of Hazardous Substances - 2002/95/CE), plus rarement nommée par son acronyme français : LSD (Limitation des Substances Dangereuses). Une avancée majeure de cette directive est l'application du principe de responsabilité étendue du producteur (REP), qui se voit obligé de prendre en charge ses produits jusqu'à la fin de leur cycle de vie. Les appareils électriques et électroniques désignent les gros appareils ménagers (réfrigérateurs, lave-vaisselle etc.), les petits appareils ménagers (aspirateurs, friteuses etc.), les équipements informatiques et de télécommunications, le matériel grand public (postes de radio, caméscopes etc.), le matériel d'éclairage, les outils électriques et électroniques (scies, foreuses etc. à l'exception des gros outils industriels fixes), les jouets, équipements de loisir et de sport, les dispositifs médicaux (à l'exception de tous les produits implantés ou infectés), les instruments de contrôle et de surveillance (détecteurs de fumée, thermostats etc.) et les distributeurs automatiques (boissons, argent etc.).

La directive européenne sur les DEEE (2002/96/CE) a été adoptée en 2002 et devait être mise en œuvre dans les juridictions nationales courant 2005. Elle prévoit d'atteindre une collecte minimale de 4 kg de DEEE par an et par habitant d'ici au 31 décembre 2006. Cela suppose de mettre en place des filières séparées. Les producteurs deviennent responsables de l'élimination des produits mis sur le marché après le 13 août 2005, les matériels mis sur le marché avant cette date restant à la charge des utilisateurs. Selon les catégories de DEEE, la directive vise des taux de valorisation, de réutilisation et de recyclage de 50 à 80%.

Si la Belgique ou la Suède ont un système bien rodé (elles collectent respectivement près de 7 et 15 kg/hab./an). Dès le début, la France a pris deux ans de retard du fait de la tardive transposition de la directive en droit national. Des blocages importants existent et freinent la mise en œuvre de dispositifs efficaces. Par exemple, le décret d'application du 20 juillet 2005 ne règle pas la question de la prise en charge des frais de collecte. Les tensions autour de la transposition en droit français restent nombreuses, elles s'expliquent par la difficulté à concilier des intérêts divergents. Schématiquement, les industriels préféreraient avoir la maîtrise de toute la filière, de manière à utiliser la conception pour l'environnement (écoconception) comme avantage compétitif – une conception astucieuse permettrait de réduire les frais de traitement et de diminuer le coût. En réalité cet avantage supposé ne joue que de manière très marginale. Les frais de traitement en fin de vie sont aujourd'hui de l'ordre de quelques euros pour un produit TIC à quelques dizaines d'euros pour un réfrigérateur. Il est vrai que ces frais varient fortement avec le niveau de traitement voulu. Le coût du recyclage augmente de manière exponentielle avec l'accroissement du taux de récupération, il faut en effet imaginer que l'extraction de ce qui va devenir de la « matière première secondaire » (MPS) est analogue au raffinage de minerai en sortie de mine. La réutilisation demande de la main-d'œuvre. Aujourd'hui le choix qui est fait tend à aller au plus économique, compte-tenu des prix actuels du marché : passer les machines au broyeur, récupérer les métaux par électroaimants, l'aluminium par courants de Foucault, et les métaux précieux par traitement électrochimique. Une partie des déchets DEEE a une valeur économique positive, comme les cartes mère des ordinateurs. Les métaux précieux qu'ils contiennent suffisent à rendre rentable l'activité des grossistes.

Les associations environnementales souhaitent que le producteur soit au maximum responsable des produits qu'il met sur le marché. Elles poussent aussi à la réutilisation des composants, alors que les industriels préféreraient envoyer le matériel directement à des usines chargées de les broyer puis de séparer les composants. L'efficacité du processus de récupération des ressources sur la filière de



recyclage n'est pas connue avec certitude, le retour d'expérience restant faible.

De leur côté, échaudées par l'expérience Eco-emballages, les collectivités territoriales redoutent de se voir mettre sous la coupe d'un éco-organisme trop puissant, qui leur dicterait la politique à suivre au niveau local et ferait l'aménagement du territoire à leur place. L'explication économique est simple. Les producteurs peuvent mettre en place des opérations rentables de collecte dès lors que le gisement de déchets est concentré : villes, gros centres d'activité économique etc. L'équilibre économique peut être atteint. Mais ce n'est pas le cas pour les déchets en quantité dispersée. En prendre la charge reviendrait à augmenter très fortement le prix des emballages comme des TIC. Les producteurs vont donc déléguer la collecte aux collectivités territoriales et les dédommager. Au motif des économies d'échelle, le système Eco-emballage a conduit à la mise en place d'un organisme unique. Brassant des sommes importantes, cet organisme s'est retrouvé en capacité de dicter aux petites communes ce qu'elles doivent faire en matière d'aménagement du territoire. Les collectivités souhaitaient donc que la DEEE conduite à la mise en place de plusieurs organismes. Mais d'un autre côté elles souhaitent aussi avoir un guichet unique. De cette tension est née la structure française : 4 éco-organismes suivants agréés pour la collecte et le traitement des DEEE ménagers à compter du 15 novembre 2006 :

Tous les DEEE (hors catégorie 5)		<a href="http://www.ecologic-france.com">www.ecologic-france.com</a>
		<a href="http://www.eco-systemes.com">www.eco-systemes.com</a>
		<a href="http://www.erp-recycling.org/france.html">www.erp-recycling.org/france.html</a>
DEEE de catégorie 5 (lampes)		<a href="http://www.recylum.com">www.recylum.com</a>

Source : ADEME (2006), Synthèse DEEE,

<http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=B5DA087DDB3019BC5C12E231BD04786F1201860599288.pdf>.

Ces 4 éco-organismes ont fondé en 2006 l'OCAD3E, organisme coordonnateur agréé en charge de la gestion des relations entre les éco-organismes et les collectivités territoriales, acteurs de la collecte des DEEE auprès des ménages.

Les produits destinés à être mis en filière séparée sont marqués d'une poubelle barrée, avec un rectangle plein en dessous si le produit a été mis sur le marché après le 13 août 2005. Des amendes sont prévues en cas de non-respect de cet affichage.

De plus les filières de collecte sélective et les déchetteries en partie financées par Eco-emballages, grâce aux contributions des fabricants, n'a pas inversé la tendance à l'augmentation des déchets produits, contrairement à ce qui était promis. En effet, d'après les données de l'INSEE si le volume de déchets ménagers a augmenté de 75% entre 1980 et 2000, le revenu des ménages n'a lui augmenté que de 45% et la population que de 10%. L'écoconception, largement utilisée dans ce domaine, n'a pas freiné l'augmentation des volumes de déchets produits et n'a réglé ni le problème de la collecte ni celui de l'élimination finale. Or si les entreprises naissent et meurent, si leurs responsabilités sont limitées, les territoires demeurent et leurs responsabilités aussi. L'élimination des déchets reste une menace tant que les produits d'élimination ne sont pas réintroduits dans les cycles naturels. Il n'est pas certain que l'OCAD3E, qui préside un groupe de travail sur l'écoconception, soit pleinement conscient de ces enjeux à long terme.

La difficulté à se mettre d'accord autour des termes du décret traduit encore d'autres enjeux. La

directive impose ainsi aux distributeurs de reprendre le matériel usagé. Ceci exige des distributeurs qu'ils disposent d'une surface suffisante pour stocker des quantités importantes de matériel, et que les chaînes logistiques soient réorganisées pour les évacuer (on comptait en France fin 2007 plus de 10 500 points de collecte « 1 pour 1 » qui ont récupéré plus de 80 000 tonnes de DEEE depuis leur mise en place, soit 1,3 kg./hab./an). Par exemple, en 2006 ce sont 400 millions d'équipements électroménagers qui ont été mis sur le marché (1,26 millions de tonnes). En 2007, 164 000 tonnes de DEEE ont été collectées, l'objectif pour 2008 étant de 294 000 tonnes (4,7 kg/hab.). La négociation française a laissé peu de place aux distributeurs, ce qui peut expliquer qu'ils soient globalement peu impliqués dans la filière, à l'exception de Darty. Ces derniers collectent 40 000 tonnes de DEEE, dont 36% sont pris en charge par les acteurs de l'économie sociale et solidaire. Ainsi, ENVIE et EMMAUS ont pu créer chacun 800 emplois, dont 600 en réinsertion pour la première. Toutefois, si le distributeur ne manque pas d'informer ses clients de son service « 1 pour 1 », obligatoire par ailleurs, il est beaucoup moins disert quant au fait que tous ses magasins sont aussi des points de collecte de DEEE, tout comme les déchèteries équipées pour recevoir les DEEE. Un bilan provisoire dressé début février 2008 lors d'une journée technique organisée par l'ADEME montre que la France se rapproche du seuil de collecte de 4 kg/hab./an (3,6 en octobre 2007, contre 1,3 en 2004). Plus de 3 300 producteurs sont enregistrés sur le registre des producteurs<sup>38</sup>, et au 31 décembre 2007 quelques 630 municipalités couvrant plus de 42 millions d'habitants avaient signé un contrat avec l'OCAD3E.

L'enjeu de la réutilisation est aussi très présent, en particulier parce qu'il est lié à de l'emploi d'insertion. Les acteurs de l'économie sociale et solidaire sont aujourd'hui très présents dans le domaine de la réutilisation des équipements électriques et électroniques usagés, et cela dans toute l'Europe. L'image « high-tech » de ces produits est très valorisante pour les personnes en voie d'insertion. Les organisations qui oeuvrent dans ce secteur, telles ENVIE et Emmaüs, qui disposent de 200 points de vente dans toute la France, ou Ecomicro, défendent leur activité et refusent de voir les équipements partir directement au broyage des appareils dont la durée de vie pourrait être étendue de 5 à 10 ans, la première année étant sous garantie. Les associations environnementalistes soutiennent cette position car elle permet aussi de réutiliser au mieux les matériels, solution écologiquement la plus avantageuse.

La directive RoHS interdit l'utilisation de certaines substances dans les équipements électriques et électroniques : plomb, mercure, cadmium, chrome hexavalent, PBB (polybromodiphényles) et PBDE (polybromodiphényléthers) utilisés comme retardateurs de flamme dans les plastiques, à compter du 1<sup>er</sup> juillet 2006. Une teneur maximale de 0,01 % en cadmium, et 0,1 % pour les autres substances, pour un matériau homogène, sera tolérée. Une liste d'exemptions accompagne cette directive. Ici les associations estiment que les constructeurs traînent les pieds. Elles pensent qu'ils peuvent faire beaucoup de progrès dans la réduction de l'usage des toxiques, et qu'ils ne le font pas pour des raisons étroites de profit immédiat<sup>39</sup>. La mise en oeuvre de cette directive pose aussi problème dans d'autres pays comme au RU, où les premières poursuites judiciaires contre des firmes ayant mis sur le marché des produits contenant du plomb ont été engagées<sup>40</sup>.

Le commerce international de déchets toxiques est réglementé par la Directive Européenne sur les DEEE, mais aussi par la Convention de Bâle. Adoptée en 1989 et entrée en vigueur en 1992, elle a été créée afin d'empêcher les méthodes économiquement profitables d'envoi des déchets dangereux des pays riches vers les pays pauvres. L'amendement (Basel BAN) apporté en 1995 (décision III.1 du 22 septembre 1995) vise à interdire l'exportation de déchets dangereux depuis les pays de l'UE,

<sup>38</sup> <https://registredeee.ademe.fr/>.

<sup>39</sup> Greenpeace, *Technologie toxique – débranchez l'électronique toxique*, 2005.

<sup>40</sup> <http://www.eetimes.com/news/latest/showArticle.jhtml?articleID=202401949>.

de l'OCDE et le Liechtenstein vers tous les autres pays membres. Au 15 février 2008, cet amendement n'est toujours pas entré en vigueur, seuls 63 pays l'ont ratifié<sup>41</sup>. Les Etats-Unis ont signé la convention mais ne l'ont pas ratifiée, ni l'amendement. Des exportations vers la Chine ou l'Inde peuvent être considérés comme une violation des règles de cette convention internationale.

## **Les impasses du débat actuel**

### *L'écoconception*

Les TIC ont été mises sur le marché sans faire grand cas des impacts de l'aval de leur cycle de vie. A nouveau, comme ce fut le cas pour tant d'autres produits, les effets négatifs, bien prévisibles, n'ont été pris en compte que lorsqu'ils se sont manifestés. Les constructeurs ont fait des efforts de prévention avec l'écoconception, mais ces efforts sont déjà assez anciens pour certains d'entre eux. Les associations estiment cependant que ces efforts ont peu d'impact et sont davantage motivés par les taux de retour sur investissement que par une réelle volonté de produire « propre ». En témoignent l'obsolescence accélérée des produits, les sommes considérables investies dans le marketing et la publicité, et le manque de coopération des industries dans la quête de solutions communes à ces problèmes. Plus encore que d'autres secteurs, les fabricants de TIC surfent sur la légèreté de leurs produits, utilisant l'ER à des fins marketing. En effet, les publicités mettant en avant un produit qui génère relativement moins d'impacts environnementaux que ses concurrents tendent à déculpabiliser les acheteurs. Les ventes de ce produit se multiplient, l'impact environnemental global de l'ensemble des nouvelles ventes effaçant de loin l'effet marginal de la réduction de la pollution et des déchets par unité produite.<sup>42</sup>

Aujourd'hui les filières mises en place ne génèrent aucune incitation à l'écoconception, contrairement à ce que prévoyait le concept de « responsabilité élargie du producteur ». HP affirme publiquement avoir besoin de Greenpeace pour être incité à en faire. En outre, les consommateurs n'achètent pas particulièrement les produits écoconçus. Dès lors, les constructeurs de bonne volonté se retrouvent face à un dilemme : écoconcevoir à perte, c'est-à-dire laisser la place aux produits concurrents qui ne sont pas écoconçus, ou arrêter de pratiquer l'écoconception.

L'écoconception en elle-même pose des problèmes sérieux. Les analyses de cycle de vie sur lesquelles elle se base n'offrent pas de solution simple. Les produits TIC sont les mêmes dans le monde entier, mais les capacités de traitement varient énormément selon les territoires. Pour des pays qui ne savent gérer que les déchets inertes et les déchets organiques, les PC devraient être réalisés uniquement dans ces deux types de matériaux. Est-ce possible ? Rien ne l'indique. Les PC envoyés dans les pays du Sud peuvent tomber en panne rapidement en raison de la qualité du courant, du manque de pièces de rechange etc. Ils deviennent des déchets toxiques. Les enquêtes de terrain montrent que les téléphones portables, en changeant de main, perdent de la valeur et finissent dans les mains des plus pauvres qui sont situés... dans les campagnes, à l'endroit le plus éloigné des capacités de traitement ou de réparation<sup>43</sup>. L'écoconception d'un produit a de fortes implications au niveau d'un territoire, mais sa conception est totalement déterritorialisée, mondialisée. Le grand écart entre les deux niveaux sera difficile à combler sans toucher aux performances des appareils – ce qui aura des implications importantes en termes de service rendu. Et c'est là le cœur du problème, nous y reviendrons.

### *La gouvernance des déchets*

---

<sup>41</sup> <http://www.basel.int/ratif/ban-alpha.htm>.

<sup>42</sup> Deux exemples ont fait beaucoup de bruit récemment : une voiture hybride de Toyota montrée comme entièrement naturelle et biodégradable ([http://www.greenwashingindex.com/ad\\_single.php?id=2123](http://www.greenwashingindex.com/ad_single.php?id=2123)) et un avion consommant (un peu) d'huile de coco (<http://www.guardian.co.uk/environment/2008/feb/25/biofuels.theairlineindustry?gusrc=rss&feed=environment>).

<sup>43</sup> Voir F. Flipo & al., *op. cit.*, 2006.

La « responsabilité élargie du producteur » du produit est un principe ancien. L'article L541-10 du code de l'environnement français (1975) affirmait ceci : « *Il peut être fait obligation aux producteurs, importateurs et distributeurs de ces produits ou des éléments et matériaux entrant dans leur fabrication de pourvoir ou de contribuer à l'élimination des déchets qui en proviennent* ». Ce principe est resté lettre morte jusque dans les années 90, sauf pour les huiles de lubrification. L'OCDE soutient activement ce principe de la responsabilité élargie du producteur (REP), en le définissant comme un instrument de politique de l'environnement qui étend les obligations du producteur à l'égard d'un produit jusqu'au stade de son cycle de vie situé en aval de la consommation. Après les huiles usagées, les emballages (Directive 2004) et les batteries (révision de la directive de 1991 en cours), ce sont les véhicules hors d'usage (directive 2000), les DEEE, les pneumatiques (décret de décembre 2002), les produits phytosanitaires, emballages et produits non utilisés (action volontaire), les courriers non sollicités (loi des finances 2003), et les bateaux de plaisance hors d'usage qui sont concernés par ce type d'évolution<sup>44</sup>. Il s'agit là d'une tendance lourde.

La REP conduit à une double évolution, en théorie. D'une part, le principe pollueur-payeur passe du détenteur du déchet (fin de vie du produit) au producteur (metteur sur le marché) du produit neuf. D'autre part, le contribuable laisse la place au consommateur pour financer la gestion des produits en fin de vie concernés<sup>45</sup>. Ainsi est-il possible d'introduire une concurrence sur la conception écologique des produits. C'est l'objet de la future directive « Politique Intégrée des Produits » (PIP) de généraliser cette approche.

Malheureusement ce schéma semble bien théorique. La mise en place présente de graves défauts dont on ne voit pas très bien comment se sortir sans remettre en cause le principe même de la REP. Outre les problèmes déjà mentionnés, signalons que les éco-organismes chargés de gérer les DEEE pour le compte des producteurs sont des Sociétés par Action Simplifiées. Même si elles ont un but non-lucratif, étant donné que les producteurs sont les principaux actionnaires, on peut douter de leur réelle motivation à réduire les déchets.

L'objectif de concurrence autour de l'écoconception, par « internalisation » des coûts de fin de vie, a été totalement oublié. D'ailleurs, comment aurait-il pu fonctionner ? Les produits arrivant sur le marché à la date « t » en sortent plusieurs années plus tard, après stockage, réutilisation etc. Il est parfois impossible de retrouver le fabricant, qui a été vendu, racheté, délocalisé. Devant l'impossible traçabilité, les éco-organismes ont choisi de facturer leurs services en fonction des parts de marché des constructeurs, critère qui n'a absolument rien à voir avec le caractère éco-conçu des produits...

La question du financement n'a pas été mieux traitée. Les collectivités territoriales ont refusé d'augmenter la Taxe d'Enlèvement des Ordures Ménagères (TEOM) au motif que celle-ci avait trop augmenté ces dernières années. Le principe de « REP » a donc conduit en réalité à reporter la charge sur tous les consommateurs. Cela aurait un sens si les TIC étaient des consommations strictement individuelles, si le consommateur pouvait « préférer » les TIC à d'autres possibilités. Mais les TIC remplacent les autres services. Les cabines téléphoniques disparaissent avec la généralisation des téléphones portables. Il y a des effets de système qui sont irréductiblement d'ordre collectif, comme le souligne l'OCDE (voir ci-dessous). Les TIC sont en passe de devenir obligatoires. Sans Internet, comment chercher un emploi, rédiger sa déclaration d'impôts etc. ? Le

---

<sup>44</sup> ADEME, *ibid.*, 2004.

<sup>45</sup> ADEME, *Filières et recyclage – Le colloque des professionnels sur les produits en fin de vie*, 2004.

coût de traitement sera donc réparti à coût égal entre tous les consommateurs, ce qui revient à un impôt non progressif. Les inégalités économiques s'en trouvent donc aggravées.

#### *La redoutable question de la substitution*

L'écologie des infrastructures numériques reste encore mal connue. Des travaux doivent être menés tant dans le champ quantitatif, pour mieux connaître les ordres de grandeur des consommations de matière et d'énergie, que dans le champ qualitatif. L'un des enjeux majeurs à surveiller est « l'effet rebond ». Celui-ci correspond au fait que l'accroissement des consommations de matières et d'énergie induit par l'utilisation généralisée des TIC efface largement les réductions de l'empreinte écologique obtenues par unité de produit. En outre, des études de marché soulignent que la directive DEEE est à la source d'une croissance des ventes d'électroménager du fait d'une plus grande sensibilité des consommateurs aux produits "verts". Elle contribue donc indirectement à l'effet rebond<sup>46</sup> ...

Les études sur les TIC et l'environnement mentionnent souvent d'abondants exemples sur les effets positifs des TIC : le télétravail réduit le recours à l'automobile, le télé-achat permet d'optimiser les déplacements<sup>47</sup> etc. Mais l'usage observable des TIC montrent aussi des effets inverses : l'accès à de nombreux rapports sur Internet encourage l'impression, la vente en ligne permet de commander des produits à l'autre bout du monde, le télétravail se traduit en moyenne par une augmentation du temps de travail etc.

L'OCDE a proposé de hiérarchiser ces effets en trois catégories d'effets positifs et négatifs<sup>48</sup> :

- Effets de premier ordre : d'un côté les applications environnementales des TIC comme le monitoring, de l'autre les impacts écologiques de la production des TIC comme les DEEE.
- Effets de second ordre : d'un côté la dématérialisation et les changements structurels comme l'avènement de l'administration électronique, de l'autre l'augmentation de la quantité globale de produits facilitée par les TIC.
- Effets de troisième ordre : d'un côté les possibles changements dans les modes de vie avec par exemple le consumérisme « vert », de l'autre l'« Effet rebond » avec l'achat en ligne voyage à longue distance.

Les discours politiques s'intéressent surtout aux effets positifs de premier et de deuxième ordre. Les TIC permettraient par exemple de substituer « les bits aux atomes » (réduction des transports). Corinne Gendron a montré qu'identifier développement durable et entrée dans une ère high-tech à empreinte écologique légère est un trait commun de l'imaginaire des élites canadiennes<sup>49</sup>. On pourrait sans doute généraliser à l'ensemble des élites occidentalisées. Le document de travail du 7<sup>e</sup> programme cadre européen de recherche et développement pour les TIC, premier domaine en termes d'allocation de crédits dans le FP7, ne contient aucun angle de travail sur les impacts de TIC elles-mêmes. Il s'agit essentiellement de combler le retard de croissance dans ce secteur en Europe

---

<sup>46</sup>

<http://www.rapidonline.com/latestnews.aspx?id=18449174&tier1=Electronic+Components&title=Environment+and+WEEE+drive+small+appliance+business+growth>, page consultée le 15/02/08.

<sup>47</sup> European Information Technology Observatory, *The impact of ICT on sustainable development*, pp. 250-283 [www.digital-eu.org/uploadstore/eito\\_forum\\_2002.pdf](http://www.digital-eu.org/uploadstore/eito_forum_2002.pdf) ; D. Pamlin & E. Thorslund, *IT and sustainable development – a central issue for the future*, 2004. <http://assets.panda.org/downloads/itsustainabledev.pdf>

<sup>48</sup> F. Berkhout & J. Hertin, *Impacts of Information and Communication Technologies on Environmental Sustainability: speculations and evidence – Report to the OECD*, 2001.

<sup>49</sup> C. Gendron, *Economie de l'environnement, économie écologique et sociologie économique de l'environnement : la nécessaire prise en compte des dimensions socialement construites du système économique et de la crise écologique*, *Europaea*, n°1/2, anno VIII, , 2002, pp. 187-212.

vis-à-vis d'autres grandes puissances industrielles. Les documents préparatoires au second Sommet de la Société de l'Information (SMSI), qui a eu lieu à Tunis en novembre 2005, ne mentionnent quasiment pas les impacts écologiques des TIC<sup>50</sup>. Celui qui se tient à Genève cette année mentionne que<sup>51</sup> :

- Les gouvernements sont encouragés à promouvoir les TIC pour protéger l'environnement et promouvoir l'utilisation durable des ressources naturelles.
- Avec la société civile et le secteur privés, ils sont également encouragés à mettre en œuvre des projets de production et de consommation plus propres ainsi que l'élimination contrôlée et le recyclage du matériel jeté et des composants utilisés dans les TIC.
- Mettre en œuvre des systèmes de contrôle utilisant les TIC pour prédire l'impact des catastrophes d'origine humaine et naturelle, tout particulièrement dans les PED, PMA et petites économies.

La Stratégie de Lisbonne mise sur la « société de la connaissance ». Et en effet la Suisse, dont l'un des métiers majeurs est la banque, « produit » beaucoup de dollars par unité de CO<sub>2</sub> émise, contrairement à la Chine qui semble « inefficace »<sup>52</sup>. Mais nourrirons-nous le monde de demain avec du marketing et du papier monétaire imprimé en Suisse ? Le mythe de la dématérialisation ne répond pas à la question, il se défausse à nouveau via un tiers-exclu : les pays en développement, qui subissent l'essentiel de l'impact écologique lié à l'activité des industries qui produisent les biens utilisés pour entretenir notre mode de vie<sup>53</sup>.

Certains pensent que les TIC vont favoriser une réduction de la consommation par accroissement de l'efficacité<sup>54</sup> tandis que d'autres pensent que la consommation va être accrue de plusieurs %<sup>55</sup>. Au centre des débats, la question de la substitution pose en réalité deux questions autrement plus redoutables que les solutions techniques proposées par la théorie commode de la dématérialisation.

La première est la question de la substitution matérielle : on peut remplacer une matière par une autre, mais il y aura des limites écologiques. H. Daly a montré il y a longtemps déjà que la question d'une économie écologique n'est pas un problème de substitution mais un problème d'échelle<sup>56</sup>. Les écosystèmes sont déjà surexploités, les ressources s'épuisent. Il reste encore des potentiels renouvelables non exploités, mais ils sont menacés dans leur existence même par la dégradation des écosystèmes provoquée par l'usage des stocks d'énergie fossile. De plus les renouvelables seront forcément disponibles en quantité moindre que les réserves fossiles, avec lesquelles le prélèvement n'a d'autre limite que les capacités technico-économiques d'extraction d'une société donnée. Alors que la question des ressources se règlera finalement d'elle-même, par épuisement non pas des ressources mais de la volonté des êtres humains à aller les chercher au prix d'efforts toujours plus grands (selon l'adage bien connu qui affirme que « l'âge de pierre n'a pas pris fin par manque de pierres »...), l'enjeu des écosystèmes pose des questions normatives graves car les dégâts peuvent être fort avancés voire même irréversibles avant que les sociétés ne réagissent, comme l'a montré J.

---

<sup>50</sup> SMSI (2005), Document WSIS-05/TUNIS/DOC/5-F.

<sup>51</sup> WSIS, Implementation by Action Line, Action line C7: ICT Applications, E-Environment, 2008, <http://www.itu.int/wsisis/docs/geneva/official/poa.html#c7-20>.

<sup>52</sup> A. Delbosq, J.H. Keppler & A. Leseur, *Croître sans réchauffer*, Note d'étude n°10, Mission Climat de la Caisse des Dépôts, janvier 2007.

<sup>53</sup> B. Zuideau, *La « loi de Kuznets » : de l'économie de la répartition à l'économie de l'environnement*, Communication au Colloque International de l'Association Charles Gide pour l'Etude de la Pensée Economique, 22-24 septembre 2005, Lille.

<sup>54</sup> J.A. "Skip" Laitner, *Information technology and U.S. energy consumption*, *Journal of Industrial Ecology*, vol. 6, 2, 2003, pp 13-24.

<sup>55</sup> L. Cozzi, *ICT and energy demand : an overview*, IEA, workshop, 2002. [http://www.iea.org/textbase/work/workshopdetail.asp?WS\\_ID=60](http://www.iea.org/textbase/work/workshopdetail.asp?WS_ID=60)

<sup>56</sup> H. Daly & J. Cobb Jr, *For the Common Good*, Boston, Beacon Press, 1989.

Diamond<sup>57</sup>. Entre l'effondrement des effectifs d'une population et le moment où l'on peut se rendre compte du danger a lieu une phase trouble et cruciale d'élaboration sociale des alternatives possibles, qui prend par exemple aujourd'hui la forme du débat sur la décroissance.

Ce qui nous mène à la seconde question, qui n'est évidemment pas indépendante de la première : la substitution sociale et sociétale. Prenons quelques exemples pour illustrer le propos. Le télétravail peut remplacer le travail nous dit-on, l'un peut se substituer à l'autre avec une réduction de l'impact écologique. Outre que ce dernier résultat resterait à démontrer<sup>58</sup>. En effet, l'enjeu social apparaît de manière évidente dès lors que l'on s'intéresse aux effets réels, et non supposés, du télétravail sur le travail : les télétravailleurs sont bien plus sujets au surtravail que les autres. La corrélation est nette puisque plus de 80% des travailleurs voient leur temps de travail augmenter, alors que moins de 10% le voient diminuer<sup>59</sup>. Et ce n'est là que l'un des aspects du problème, l'éloignement des lieux collectifs ayant bien d'autres conséquences. Autre exemple : quand le Wuppertal Institut montre que le téléchargement est moins « impactant » que l'achat de CD<sup>60</sup>, a-t-on là une solution qu'il suffirait de généraliser ? Rien n'est moins sûr : le bilan écologique flatteur n'est au rendez-vous que si l'utilisateur n'utilise pas son graveur pour obtenir son CD. Le choix qui s'offre à nous doit donc être reformulé : il n'y a pas lieu de choisir entre la solution « propre » et la solution « sale », comme si les deux étaient équivalentes, mais de choisir entre « le téléchargement à volonté avec interdiction de graver les CD » ou « l'achat rationné de CD en magasin » – la seconde solution offrant la possibilité d'être décentralisée et fortement modulable en fonction des conditions socio-écologiques.

Prenons un autre exemple. Soit la comparaison des trois scénarios d'approvisionnement des ménages, sur la base des chiffres fournis par Pierre Radanne, ancien président de l'Ademe<sup>61</sup> :

- Le scénario 1, « hypermarché de périphérie », suppose que les ménages habitent en zone pavillonnaire et vont une fois par semaine à l'hypermarché distant de 10 km pour acheter 30 kg de marchandises
- Le scénario 2, « supermarché de proximité », fait l'hypothèse que les ménages habitent en centre ville ; un camion approvisionne le supermarché en marchandises depuis les mêmes endroits que dans le précédent scénario mais les ménages font leurs courses à pied (5 voyages de 500 mètres emportant à chaque fois 6 kg)
- Le scénario 3 reprend le scénario 2 en supposant que les achats sont livrés à domicile (commande internet ou par téléphone).

On peut chercher à optimiser le circuit « hypermarché », mais tout ce qu'on pourra gagner sur les camions de 44 tonnes ou l'efficacité énergétique des hypermarchés n'approchera jamais, même de loin, le facteur 50 ou 60 qu'il y a entre le scénario 1, basé sur les hypermarchés, et le scénario 2, basé sur les supermarchés de proximité. On mesure les enjeux socioéconomiques d'un choix entre un détour de production et un autre...

---

<sup>57</sup> J. Diamond, *Collapse – How societies choose to fail or to succeed*, New York, Penguin, 2005.

<sup>58</sup> Le mouvement de « dématérialisation » s'accompagne aussi d'une délocalisation des imprimantes etc. qui au final consomment peut-être plus que les anciens systèmes, de même que le téléphone fixe consomme moins que le GSM qui consomme moins que la 3G.

<sup>59</sup> ECATT, *Benchmarking progress on new ways of working and new forms of business across Europe*, 2000, p. 38 – téléchargeable sur <http://www.ecatt.com>

<sup>60</sup> Wuppertal Institut, *Digital Europe*, 2003. [www.digital-eu.org](http://www.digital-eu.org)

<sup>61</sup> [2100.org/Radanne.ppt](http://2100.org/Radanne.ppt).

### *L'opacité des ACV*

Les ACV ont des faiblesses bien connues<sup>62</sup>. Elles basent leurs comparaisons sur des « unités fonctionnelles » qui se conservent, ainsi la fonction « écouter de la musique » dans le cas de l'étude citée plus haut. On conçoit facilement, au vu de ce que nous avons dit au paragraphe précédent, que la définition de cette unité est des plus politiques. Les ACV ne donnent pas non plus de possibilité claire de débattre du poids relatif des impacts les uns par rapport aux autres – ici l'omission des déchets radioactifs, là les impacts sont noyés dans des « écopoints » dont l'arbitrage est opaque et technocratique<sup>63</sup>. Notons au passage qu'ajouter les masses de déchets radioactifs aux masses de CO<sub>2</sub> émis n'est guère plus ou moins « scientifique » que de les ajouter en leur affectant un coefficient de « dangerosité ». Troisième problème : les ACV sont très coûteuses, et une obligation d'y recourir équivaldrait à une élimination des petits acteurs, incapables de fournir les indications demandées. Les ACV peuvent alors fonctionner comme des barrières à l'entrée des marchés, renforçant les positions dominantes, et allongeant les détours de production qui sont justement à l'origine de la pollution grandissante... au contraire de l'objectif initial. Enfin, la volonté de procéder à des comparaisons à « unité fonctionnelle identique » conduit à établir des comparaisons entre produits extrêmement similaires, c'est-à-dire des produits dépendants de systèmes techniques très proches, c'est-à-dire finalement « détours de production »<sup>64</sup> similaires, avec des différences faibles en termes d'impact, alors que des différences bien plus grandes peuvent être observées en modifiant les détours de production eux-mêmes.

Aujourd'hui l'usage des ACV n'est l'objet d'aucune investigation en sciences humaines. Personne n'essaie de les rendre transparentes et de les mettre au service de la démocratie. Elles restent aux mains de techniciens dont le sens social est parfois profondément endormi, l'exemple suivant en témoigne presque jusqu'à la caricature<sup>65</sup>.

Cherchant à établir le contenu en information de différents, l'auteur attribue 2 kb (kilobits) à une page écrite à la main (format A4), 563 kb au « Huckleberry Finn » de Mark Twain, 5 Mb aux Œuvres complètes de Shakespeare et.... 5 MB pour 30 secondes de show à la télévision !

Ce qui est comparé ici est « l'information ». Et cet exemple illustre bien la confusion qui règne. Une page originale de la Bible, par exemple, s'il en existait une, pourrait-elle être considérée comme contenant 2500 fois moins d'information qu'un show télévisuel que tout le monde oublie le lendemain ? Le concept « d'information » n'a manifestement pas le même sens quand on le mesure en « bits » et quand on le mesure en utilité sociale. L'objectivité apparente de la mesure en « bits » est dangereusement trompeuse.

Le biais est énorme et le risque de voir ce biais s'inscrire dans les politiques publiques est réel, puisque ce sont les ACV qui vont servir de point de comparaison. Le « découplage » tant évoqué prend aujourd'hui la forme d'un découplage non pas entre « croissance » et « planète » mais entre une classe aisée capable de se payer les technologies même lorsqu'elles seront devenues hors de prix et une classe pauvre qu'on aura privée de journaux pour des raisons écologiques.

---

<sup>62</sup> L. Grisel & P. Osset, *L'Analyse du Cycle de Vie d'un produit ou d'un service - applications et mise en pratique*, AFNOR Editions, 2004.

<sup>63</sup> G. Bélem, *L'analyse de cycle de vie comme outil du développement durable*, Les Cahiers de la Chaire de Responsabilité Sociale et de Développement Durable, ESG-UQAM, 2005.

<sup>64</sup> J.-P. Dupuy & J. Robert, *La trahison de l'opulence*, Paris, PUF, 1976, d'après les analyses d'Ivan Illich.

<sup>65</sup> Tiré de S. Suh, *Materials and energy basis of information – The weight of information*, SETAC, *11th LCA Case Studies Symposium - Abstracts*, 2003, p.46.



Quand on parle de substitution, il en va donc de choix politiques qui peuvent être très lourds et structurants. La transposition de la directive DEEE l'a montré : les choix n'ont pas été faits au mieux pour l'environnement ni pour le social, ni de manière démocratique, mais en fonction de critères économique-écologiques qui s'attachent surtout à ne pas remettre en cause la domination des acteurs qui sont déjà les plus puissants sur le marché.

### *La transparence et l'ouverture des débats*

La substitution est un débat qui ne passionne pas les foules. Elles ont tort, comme nous venons de le montrer. Il est vrai que les débats sont très opaques et difficilement pénétrables du grand public. L'une des raisons est que l'outil-roi utilisé dans l'argumentation est l'Analyse de Cycle de Vie (ACV), un instrument encore largement méconnu du grand public.

La transposition de la directive DEEE n'est pas le résultat de la recherche des objectifs énoncés par le Parlement Européen, qui est pourtant à l'origine de cette directive<sup>66</sup>. Il est le résultat d'un compromis entre les parties prenantes qui étaient à la table, à savoir certains producteurs, les plus gros, l'Ademe, le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, les collectivités territoriales et quelques associations au sein desquelles ce sont les environnementalistes étaient les mieux représentés.

A-t-on réfléchi pour mettre en place les instruments nécessaires à ce que le consommateur puisse faire un choix informé ? Pas du tout, rien n'est fait en dehors du sigle indiquant la nécessité du tri (poubelle noire barrée) et l'indication de « l'écocontribution » correspondant à la prise en charge des déchets historiques, antérieurs à la mise en place de la directive. Comment est comprise l'écocontribution ? Personne ne s'en est soucié, pas plus de la lisibilité de la poubelle barrée.

Pour mémoire, tous les produits qui contribuent à Eco-emballages sont marqués d'un sigle circulaire vert avec deux flèches dans le même sens, sigle que beaucoup comprennent encore comme signifiant « recyclé » ou « recyclable » alors que tel n'est pas le cas. Cette erreur de lecture est de notoriété publique, elle a pour conséquence que le consommateur ne se pose trop de questions sur les impacts environnementaux. Du côté des producteurs, le dilemme va grandissant : il faut à tout prix que le consommateur achète pour que les affaires continuent, mais d'un autre côté les entretiens que nous avons menés montrent que ces mêmes producteurs imputent très facilement la responsabilité de la dérive écophagique actuelle sur l'insatiable appétit de ce consommateur, à la fois aimé et honni<sup>67</sup>. L'enjeu du contrôle de l'espace public et des messages qui y circulent est donc un enjeu absolument crucial, cette conclusion n'étonnera ni les philosophes ni les politologues ni même le simple citoyen, mais elle terrorise les techniciens et les responsables qui ont peur d'affronter le débat. Le dernier exemple en date est la campagne d'Eco-emballages « contre les idées reçues » en matière de recyclage. Cette campagne a été très contestée par les associations et certaines collectivités locales<sup>68</sup>. Eco-emballages est pourtant membre du Comité 21 et de bien d'autres instances, cet organisme aurait pu mener une démarche inclusive s'il l'avait voulu.

La question qui n'a pas été ouverte, c'est la question des besoins. Comment déterminer nos besoins autrement que par la réclame ? Quelles seraient les conséquences d'une augmentation massive du prix du pétrole et des matières premières sur les TIC ? Quelles sont les priorités, poursuivre la fuite

---

<sup>66</sup> COM (2000) 347 final.

<sup>67</sup> Voir F. Flipo & al., *Edechets – l'écologie des infrastructures numériques*, Rapport de Recherche, GET, 2006.

<sup>68</sup> C. Avignon, *Eco-emballages: de faux arguments contre de fausses idées reçues*, Journal de l'Environnement, 19 mars 2007. <http://www.journaldelenvironnement.net>

en avant technologique, garante de notre « compétitivité », au prix de la planète et de la division croissante de notre société, ou commencer à réfléchir en termes plus larges ?

## **Conclusion**

Les directives RoHS et DEEE peuvent compter plusieurs succès : réduction globale de la toxicité ; récupération croissante de « matière première secondaire ».

Toutefois la réglementation compte aussi plusieurs échecs : échec global de la prévention et de l'obsolescence accélérée ; échec de l'écoconception dans la directive DEEE, reportée dans la directive EuP mais sous une forme administrée qui n'a plus beaucoup de rapport avec l'objectif initial de progrès par innovation et sélection des solutions les plus économes, avec renforcement des acteurs déjà en place et élévation du « ticket d'entrée ».

La discussion est restée technique et n'a guère impliqué la société dans son ensemble. Pour la plupart des consommateurs, le pictogramme « poubelle barrée » témoigne de ce que le problème peut être réglé par le tri sélectif. Dès lors il n'a aucune raison de remettre en cause sa consommation. N'ayant guère été associé aux discussions, ayant une idée des plus vagues sur le contenu des appareils, qui sont présentés par les vendeurs sous leur meilleur jour et de manière équilibrée, avantages et inconvénients bien mis en évidence, le consommateur aura l'impression de payer deux fois son appareil, sans pour autant avoir une garantie d'innocuité. Il s'apercevra tout au plus que le financement accroît les inégalités économiques, du fait de la mise en place d'une assiette relativement égalitaire alors que les revenus ne le sont pas.

La directive DEEE aurait pu être le moment d'un grand débat sur les déchets que bon nombre d'acteurs appellent de leurs vœux. Un tel débat aurait sans doute fait apparaître des marges de manœuvre qui n'existent pas tant que les discussions n'incluent qu'une toute petite partie des acteurs, de manière très déléguée, et que les représentations des consommateurs restent guidées par les arguments de vente des metteurs sur le marché. Les déchets continuent d'être cette chose honteuse que l'on camoufle ou qui, tout particulièrement dans le cas de l'Italie ou de l'exportation, agresse les personnes les plus démunies, actuelles ou à venir, incapables de s'en protéger faute de disposer de moyens et de capacités adéquates. Cet enjeu social est d'autant plus présent que les structures de gouvernance sont moins démocratiques.

Au-delà des réglementations, la DEEE est une occasion manquée de plus pour poser sérieusement la question des déchets et du changement du comportement des consommateurs. Tous les acteurs s'accordent pour reconnaître que l'optimisation de la circulation de la matière et de l'énergie dans les sociétés ne peut se faire sans l'engagement de la société entière. Mais comment faire en sorte que les gens s'engagent quand la santé des ventes dépend de ce que l'information dont ils disposent pour leurs achats masque soigneusement les effets néfastes des produits ? Il y a là un biais majeur dans le débat public.

Enfin, la question se pose de savoir si les défis posés par l'ER au secteur des TIC peuvent être dépassés. Avec la forte hausse du prix de l'énergie, les ER de type 1 et 2 vont être d'autant plus importants, puisque les économies monétaires dérivant de l'achat de produits et services moins gourmands en énergie vont être plus importantes. Ensuite, les performances environnementales de ces produits et services ayant une grande marge de progression, on peut anticiper un fort effet de levier sur leur consommation, sans compter l'effet démultiplicateur d'Internet, fort vecteur d'accroissement de la consommation de biens et services. Pour Berkhout & Hertin (2004) la difficulté d'évaluer la contribution des TIC au développement durable est due au fait qu'elles sont imbriquées dans l'économie matérielle et à l'ER. D'après eux, à long terme l'impact

environnemental net de la révolution de l'information dépendra de l'équilibre entre effets « dématérialisants » (par exemple les TIC peuvent permettre la diffusion d'informations révélant les externalités de nos achats) et « rematérialisants » (les TIC tirent et stimulent la croissance économique). Il faut alors espérer que les acteurs seront de plus en plus sensibles aux questions environnementales et capables de modifier leurs comportements pour passer du statut de simples consommateurs à celui de citoyens responsables. La contribution positive des TIC au développement durable sera au prix de ce pari, que peu de politiques ont jusqu'ici eu l'audace de relever.

## **Bibliographie**

- Barkera, T., P. Ekins, T. Foxon, The macro-economic rebound effect and the UK economy, *Energy Policy* 35 (2007) 4935–4946.
- Berkhout, F., J. Hertin, De-materialising and re-materialising: digital technologies and the environment, *Futures* 36 (2004) 903–920.
- Berkhout, P.H.G. , J.C. Muskens, J.W. Velthuisen, Defining the rebound effect, *Energy Policy* 28 (2000) 425-432.
- Binswanger, M., Technological progress and sustainable development: what about the rebound effect?, *Ecological Economics* 36 (2001) 119–132
- Birol, F. , J.H., Keppler, Prices, technology development and the rebound effect, *Energy Policy* 28 (2000) 457-469.
- Greening, L. A., D. L. Greene, C. Difiglio, « Energy efficiency and consumption -the rebound effect- a survey », *Energy Policy* 28 (2000) 389-401.
- Grepperud, S., Rasmussen, I., 2004. A general equilibrium assessment of rebound effects. *Energy Economics* 26, 261–282.
- Haan, P. de, A. Peters, R.W. Scholz, Reducing energy consumption in road transport through hybrid vehicles: investigation of rebound effects, and possible effects of tax rebates, *Journal of Cleaner Production* 15 (2007) 1076-1084.
- Haas, R., P. Biermayr, The rebound effect for space heating: Empirical evidence from Austria, *Energy Policy* 28 (2000) 403-410.
- Herring, H., 1998. Does Energy Efficiency Save Energy? *The Economists Debate*. The Open University.
- Herring, H., 2004. The rebound effect and energy conservation. In: Cleveland, C. (Ed.), *The Encyclopedia of Energy*. Academic Press/Elsevier Science.
- Herring, H., R., Roy, Sustainable services, electronic education and the rebound effect, *Environmental Impact Assessment Review*, 22 (2002) 525–542.
- Herring, H., R., Roy, Technological Innovation, Energy Efficient Design and the Rebound Effect, *Technovation* 27 (2007) 194–203.
- IEA (2005), *The Experience with Energy Efficiency Policies and Programmes in IEA Countries*. IEA, Paris.
- Mizobuchi, K., An empirical study on the rebound effect considering capital costs, *Energy Economics* (2008), forthcoming.
- Plepyš, A., « The grey side of ICT », *Environmental Impact Assessment Review*, 22 (2002) 509–523.
- Schipper, L., Grubb, M., 2000. On the rebound? Feedback between energy intensities and energy uses in IEA countries. *Energy Policy* 28, 367–388.
- Small, K.A., K. Van Dender, Fuel Efficiency and Motor Vehicle Travel: The Declining Rebound Effect, *The Energy Journal*, Vol, 28, No, 1, 2007.
- Sorrell, S., Dimitropoulos, J., 2005. An Assessment of Evidence for a 'Rebound Effect' from Improvements in Energy Efficiency: Scoping Note. SPRU University of Sussex.
- Vikström, P., 2004. *Energy Efficiency and Energy Demand: A Historical CGE Investigation on the Rebound Effect in the Swedish Economy 1957*. Umea, Sweden.