

LA FIN DE VIE DU MATÉRIEL INFORMATIQUE :
COMPARATIF DES MODES DE GESTION EN FRANCE ET AU QUÉBEC
ET DÉTERMINATION DES FACTEURS DE SUCCÈS

Par

Maxime Lassalle

Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement en vue de
l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.)

Sous la direction de

François Roberge, ing., M. Sc. A.

CENTRE UNIVERSITAIRE DE FORMATION EN ENVIRONNEMENT

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Longueuil, Québec, Canada, 20 octobre 2011

SOMMAIRE

Mots clés : déchets électriques et électroniques (DEEE), technologies de l'information et des communications (TIC), informatique, France, Québec, gestion des matières résiduelles, déchets dangereux, responsabilité élargie des producteurs.

Au cours des trente dernières années, les ordinateurs sont devenus un objet incontournable dans l'environnement de travail et personnel de chacun dans les pays développés. En France comme au Québec, les équipements informatiques sont devenus des objets de consommation courante remplacés de plus en plus fréquemment au fur et à mesure des progrès technologiques des constructeurs. Conséquemment, le devenir des équipements informatiques en fin de vie est une problématique qui prend de plus en plus d'ampleur et qui sera amplifiée dans les prochaines décennies avec l'essor des pays en développement.

Les déchets informatiques présentent des caractéristiques spécifiques, dont la présence de matières dangereuses et un nombre très important de matières de base. Des modes de gestion particuliers de ces déchets doivent être mis en place pour en assurer un traitement adéquat.

C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail sur la fin de vie du matériel informatique. L'objectif est d'identifier les principaux modes de gestion des déchets électroniques actuellement disponibles et les facteurs de succès permettant d'optimiser leur traitement. La situation en la matière de deux pays, la France et le Québec, est décrite. Sur la base d'une grille de critères propre aux déchets électroniques, les différents systèmes de gestion en place dans chacune des régions sont analysés pour déterminer les stratégies gagnantes.

Les résultats de cette analyse distinguent trois modes à mettre de l'avant : la mise en place de réglementation ou de normes d'écoconception dans des marchés capables d'influencer les producteurs, le réemploi local et la location d'équipement. Compte tenu de la dispersion des équipements sur l'ensemble du territoire, des mesures fortement incitatives doivent être mises en place pour maximiser la performance de la récupération.

REMERCIEMENTS

En premier lieu, je tiens à remercier mon épouse Najate et mes enfants Yanis et Inès à qui je dédie ce travail. Leur soutien de chaque jour et leurs encouragements ont été un moteur essentiel de ma motivation au cours de ce travail et de l'ensemble de mes études pour l'obtention de ma maîtrise en environnement.

François Roberge a accepté avec enthousiasme de me diriger dans ce travail. Je le remercie pour sa disponibilité et ses judicieux conseils ainsi que pour avoir su s'adapter à mes délais.

Enfin, je ne voudrais pas oublier Carole Villeneuve qui m'a offert mon premier emploi dans le domaine du développement durable.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction	1
1 Portrait de la place des équipements et des déchets électroniques dans les deux régions	4
1.1 Paysage électronique mondial	4
1.2 Équipements des ménages	6
1.3 Consommation de biens électroniques	8
1.4 Génération de déchets électroniques	12
2 Impact des déchets électroniques	15
2.1 Nature des déchets des TIC	15
2.2 Toxicité des déchets	16
2.2.1 Plomb	16
2.2.2 Mercure	17
2.2.3 Métaux précieux	17
2.2.4 Le chrome hexavalent (Chrome VI)	18
2.2.5 Les ignifuges bromés	18
2.2.6 Plastique PVC	18
2.3 Épuisement des ressources naturelles	19
2.4 Exportation des déchets et enjeux sociaux	21
3 Détermination des critères d'évaluation d'une gestion efficace des déchets électroniques	23
3.1 Caractéristiques spécifiques des déchets électroniques	23
3.1.1 Du point de vue géographique	23
3.1.2 Du point de vue des matériaux	23
3.1.3 Du point de vue du marché	24
3.2 Critères de choix des modes de gestion	24
3.2.1 Classification du mode de gestion au sein des 3 RV-E	25
3.2.2 Traitement local	25

3.2.3	Coût global	26
3.2.4	Flexibilité	26
3.2.5	Efficacité du système de collecte	27
3.2.6	Contrôle des matières dangereuses	28
3.2.7	Incitatif à l'électronique propre	28
3.2.8	Intensité du mode de gestion	29
3.2.9	Pondération des critères	29
4	Mode de gestion des déchets électroniques dans les deux régions	31
4.1	Contexte réglementaire	31
4.1.1	Au Québec	31
4.1.2	En France	33
4.2	Réduction à la source	34
4.2.1	Dématérialisation	34
4.2.2	Réduction de la toxicité et écoconception	37
4.3	Réemploi	38
4.3.1	Le marché de l'occasion	39
4.3.2	Les dons d'équipement au milieu de l'éducation ou associatif	40
4.3.3	Les dons internationaux	41
4.4	Récupération	42
4.4.1	Systèmes de collecte	42
4.4.2	Les centres de démantèlement (CFER, entreprises d'économie sociale, centres de tri)	44
4.5	Recyclage et valorisation	45
4.5.1	Les techniques en place	45
4.5.2	Le recyclage local	48
4.5.3	Le recyclage à l'international	49
4.6	Élimination	50
4.7	Tableau récapitulatif	50
5	Analyse des modes de gestion et identification des facteurs de succès	52

5.1	Comparatif	52
5.1.1	Aspect quantitatif	52
5.1.2	Gestion de la toxicité des produits	53
5.2	Analyse des modes de gestion et détermination des facteurs de succès	54
5.2.1	Analyse des modes de gestion	54
5.2.2	Principaux facteurs de succès	73
Conclusion		76
Liste des références		78

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Liste des figures

Figure 1-1 : Répartition de la production et du marché de produits électroniques en 2008 et prévision pour 2013 dans le monde (Pourcentage des valeurs).....	5
Figure 1-2 : Équipements des technologies de l'information, des télécommunications et matériel grand public mis en marché en France : période 2006-2009 (en millions d'unités).....	9
Figure 1-3 : Équipements des technologies de l'information et des télécommunications mis en marché en France : période 2006-2009 (en tonnes).....	10

Liste des tableaux

Tableau 1-1 : Pourcentage de la production mondiale de quelques équipements électroniques produits en Asie orientale	6
Tableau 1-2 : Taux d'équipement des ménages québécois et français entre 2004 et 2008	7
Tableau 1-3 : Indicateurs de suivi de la cible 8.F. des objectifs du millénaire	7
Tableau 1-4 : Dépenses des ménages au titre des dépenses courantes et au titre des biens électroniques	11
Tableau 1-5 : Quantité totale de matériel informatique et de composants électroniques récupérés (en tonnes)	13
Tableau 1-6 : Quantité de déchets des technologies de l'information et des communications éliminées et récupérées en France et au Québec	14
Tableau 2-1 : Impacts environnementaux du cycle de vie d'un téléphone cellulaire, résultats quantifiés et normalisés pour les catégories d'impacts retenues dans l'étude	20
Tableau 3-1 : Pondération des critères d'analyse des modes de gestion des déchets électroniques	29
Tableau 4-1 : Comparaison des critères des certifications EPEAT, TCO et du label européen	38

Tableau 4-2: Principaux débouchés de la filière de traitement des tubes cathodiques	46
Tableau 4-3: Principaux débouchés de la filière de traitement des petits appareils en mélange	47
Tableau 4-4: Principaux centres de recyclage de matériau électronique au Québec et en France	48
Tableau 4-5: Principaux modes de gestion et pays d'application	50
Tableau 5-1 : Population française desservie par une collecte de déchets électroniques (collecte sélective ou mise en place d'un écocentre)	52
Tableau 5-2 : Nombre d'écocentres recensés au Québec	53
Tableau 5-3 : Grille de cotation	55
Tableau 5-4 : Cotation du mode de gestion « Directive RoHS »	56
Tableau 5-5 : Cotation du mode de gestion « Réglementation sur la responsabilité élargie des producteurs »	57
Tableau 5-6 : Cotation du mode de gestion « Location d'équipement »	58
Tableau 5-7 : Cotation du mode de gestion « Dématérialisation (informatique en nuage) »	59
Tableau 5-8 : Cotation du mode de gestion « Application de normes d'écoconception (EPEAT, Label européen, etc.) »	60
Tableau 5-9 : Cotation du mode de gestion « Marché de l'occasion entre particuliers »	61
Tableau 5-10 : Cotation du mode de gestion « Don au milieu de l'éducation et aux associations »	62
Tableau 5-11 : Cotation du mode de gestion « Don à l'international »	63
Tableau 5-12 : Cotation du mode de gestion « Reconditionnement par des entreprises d'économie sociale »	64
Tableau 5-13 : Cotation du mode de gestion « Récupération dans les écocentres »	65
Tableau 5-14 : Cotation du mode de gestion « Récupération par les distributeurs »	66
Tableau 5-15 : Cotation du mode de gestion « Principe du « un pour un » ou récupération obligatoire par le distributeur »	67
Tableau 5-16 : Cotation du mode de gestion « Récupération par la collecte sélective »	68

Tableau 5-17 : Cotation du mode de gestion « Démantèlement pour réemploi des pièces »	69
Tableau 5-18 : Cotation du mode de gestion « Recyclage des matières dans des installations locales »	70
Tableau 5-19 : Cotation du mode de gestion « Recyclage des matières à l'international »	71
Tableau 5-20 : Cotation du mode de gestion « Valorisation énergétique des plastiques »	72
Tableau 5-21 : Cotation du mode de gestion « Valorisation énergétique des plastiques »	
	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 5-22 : Tableau résumé de l'évaluation des différents modes de gestion	73

LISTE DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES

3RVE Principe de hiérarchisation des modes de gestion des matières résiduelles.

« À moins qu'une analyse basée sur une approche du cycle de vie des biens et des services ne démontre qu'une dérogation est justifiée, la réduction à la source, le réemploi, le recyclage, y compris par traitement biologique ou épandage sur le sol, les autres formes de valorisation de la matière, la valorisation énergétique et l'élimination doivent être privilégiés dans cet ordre dans le domaine de la gestion des matières résiduelles » (MDDEP, 2011a)

ADEME Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

CFER Centre de Formation en Entreprise et Récupération

DEEE Déchets d'équipements électriques et électroniques

DVD Digital Versatile Disc

EPEAT Electronic Product Environmental Assessment Tool

INSEE Institut national de la statistique et des études économiques

MDDEP Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs

OCDE Organisation de coopération et de développement économiques

PNUD Programme des Nations Unies pour le Développement

PNUE Programme des Nations Unies pour l'Environnement

REP Responsabilité élargie des producteurs

ROHS Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment

TIC Technologies de l'information et des communications

INTRODUCTION

Depuis une trentaine d'années, l'informatique a pris une place de plus en plus importante dans les pays développés, migrant des laboratoires universitaires, vers les entreprises et enfin les foyers. Même si l'accès à l'informatique reste encore un enjeu auprès de certains, les équipements informatiques sont devenus des objets de consommation courante.

Cette révolution technologique dans notre société amène inévitablement la question de la gestion des déchets issus de cette technologie. Cette question est d'autant plus cruciale que le modèle d'affaires des produits électroniques en général repose aujourd'hui sur des produits à courte durée de vie et sur un accès de plus en plus large à ces produits, en particulier dans les pays en émergence.

L'objectif de ce travail consiste à établir les facteurs positifs pour une gestion efficace des déchets informatiques. Les systèmes, règlements et études dans ce domaine traitent généralement de manière globale de l'ensemble des déchets électroniques (téléphonie, équipements informatiques, outillage et même électroménager). Cependant, dans le cadre de ce travail, l'étude se focalisera sur le matériel informatique. L'hypothèse avancée ici est que les données recueillies en matière de consommation, de génération de déchets et d'impacts pour l'ensemble des équipements électroniques sont identiques à celles associées à ce matériel. Par contre, les autres équipements électroniques et leur mode de gestion pourront être étudiés dans le cadre du travail si cela s'avère pertinent pour l'objectif de l'essai.

La démarche de ce travail consiste en une étude comparative des systèmes en place dans deux pays occidentaux, soit le Québec et la France. Ces deux pays ont été choisis pour les raisons suivantes :

- Un niveau équivalent en matière d'utilisation de matériel informatique;
- Un positionnement comparable sur le marché mondial, ces deux pays étant des consommateurs de matériel informatique, mais pas des producteurs;

- La disponibilité de documentation en langue française sur le sujet.

La comparaison portera sur la réglementation en place, les différents acteurs dans le domaine, la performance des processus de collecte et de valorisation.

Le premier chapitre établit le portrait des deux pays en matière de consommation de produits informatiques et de génération de déchets.

Le deuxième chapitre décrit les principaux impacts environnementaux associés aux déchets électroniques en tenant compte de la spécificité de ces équipements.

Le portrait de la situation étant établi, une réflexion est menée dans le troisième chapitre pour déterminer les critères permettant d'évaluer qu'un processus de gestion des déchets de matériel informatique est efficace. Les caractéristiques particulières des déchets électroniques, leur impact, leur nature, leur localisation seront pris en compte pour déterminer ces critères. L'objectif est de déterminer des critères d'efficacité particuliers à ces déchets, éventuellement différents des grilles classiques de classification des modes de gestion des matières résiduelles (par exemple les 3 RV-E) pour tenir compte des particularités associées aux déchets électroniques.

Dans le quatrième chapitre, le contexte et les différents modes de gestion des déchets électroniques seront étudiés pour chacun des deux pays, sous l'angle des critères déterminés précédemment. Le contexte de la gestion des déchets électroniques sera dressé à travers l'analyse du cadre réglementaire et normatif qui s'applique dans chacune des régions de l'étude. Compte tenu de la situation de chacune des régions, les législations fédérale et provinciale feront partie de l'étude au Québec tandis que pour la France, l'étude portera sur la législation européenne et nationale. Les différents modes de gestion des déchets électroniques dans les deux régions seront présentés selon la hiérarchie des 3 RV-E pour des raisons de facilité de lecture. Sans viser l'exhaustivité, cette partie de l'essai doit permettre de dresser un portrait global des différentes initiatives actuelles dans les deux régions.

Enfin, le cinquième chapitre établit un comparatif de performance entre les deux régions tant sur une base quantitative (taux des équipements mis en valeur) que qualitative (gestion des impacts). Une analyse est également menée pour déterminer quels sont les modes de gestion des déchets électroniques les plus efficaces et plusieurs pistes d'amélioration des systèmes en place sont proposées.

1 PORTRAIT DE LA PLACE DES ÉQUIPEMENTS ET DES DÉCHETS ÉLECTRONIQUES DANS LES DEUX RÉGIONS

Dans ce chapitre, les données compilées correspondent à l'ensemble des équipements de la filière des technologies de l'information et des télécommunications (T.I.C), qui regroupe le matériel informatique, la téléphonie et le matériel audiovisuel (téléviseurs, lecteurs de DVD. etc.)

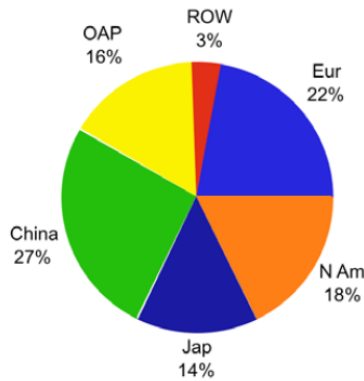
1.1 Paysage électronique mondial

Dans les premières années du développement de l'électronique, celle-ci était réservée à certains domaines particuliers : l'industrie militaire dans un premier temps, puis le monde de l'aérospatial et la recherche, en particulier le milieu médical. Décennie après décennie, l'accès aux équipements électroniques s'est démocratisé dans les pays occidentaux, dans le milieu professionnel comme dans l'équipement personnel. Finalement, la révolution des communications avec l'internet et le téléphone portable a consacré la place de l'électronique dans la vie quotidienne.

Aujourd'hui, les équipements électroniques se sont installés dans tous les compartiments de la vie : au bureau, à l'usine, dans les moyens de transport, dans la cuisine, dans l'atelier, dans les outils de communication, dans les jouets, etc.

Des études récentes montrent que les principales zones de production de biens électroniques diffèrent des zones de consommation comme la figure suivante le présente :

Figure 11, Total electronics, production by region (2008 %)

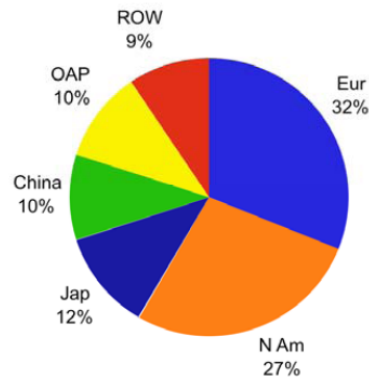


Legend:

- Eur: Europe
- N Am: North America (USA, Canada, Mexico)
- Jap: Japan
- China: (Continental, HK)

Source: DECISION – April 2009

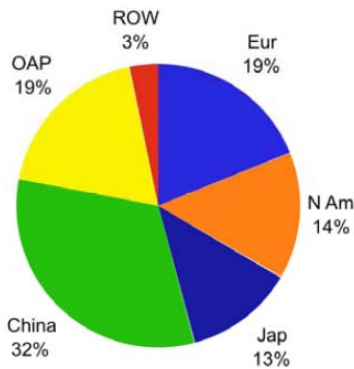
Figure 12, Total electronics, market by region (2008 %)



- OAP: Other Asia-Pacific countries (Taiwan, Korea, India, ...)
- ROW: Rest of the world (Russia, South America, Africa, ...)

Source: DECISION – April 2009

Figure 13, Total electronics, production by region (2013 %)

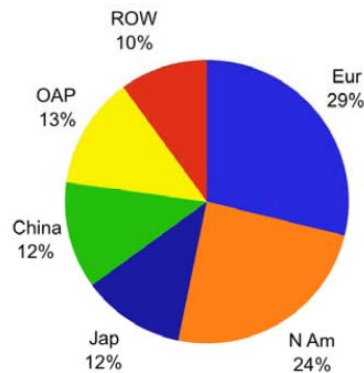


Legend:

- Eur: Europe
- N Am: North America (USA, Canada, Mexico)
- Jap: Japan
- China: (Continental, HK)

Source: DECISION – April 2009

Figure 14, Total electronics, market by region (2013 %)



- OAP: Other Asia-Pacific countries (Taiwan, Korea, India, ...)
- ROW: Rest of the world (Russia, South America, Africa, ...)

Source: DECISION – April 2009

Figure 1-1 : Répartition de la production et du marché de produits électroniques en 2008 et prévision pour 2013 dans le monde (Pourcentage des valeurs), tiré de (DECISION, 2009)

L'Asie orientale représente 57 % de la production totale d'électronique alors que les pays occidentaux (Europe et Amérique du Nord) se partagent 40 % de l'industrie. Les prévisions

économiques prévoient que cet écart se creusera dans les prochaines années. 7 % supplémentaires de la production migrerait des pays occidentaux vers l'Asie orientale d'ici 2013 (DECISION, 2009).

De plus, la différence est encore plus marquée qu'il n'y paraît puisque les deux zones ont développé des savoir-faire différents. L'Asie se spécialise principalement dans les productions à haut volume comme le montre le tableau ci-dessous, en particulier dans le domaine des technologies de l'information, alors que les pays occidentaux sont axés sur les équipements professionnels et l'électronique embarquée (aéronautique, spatial, automobile).

Tableau 1-1 : Pourcentage de la production mondiale de quelques équipements électroniques produits en Asie orientale (Pelletier, 2010)

Type de produit	Pourcentage de la production mondiale réalisée en Asie orientale en 2005
Téléviseur	62,6 %
Lecteur de DVD	90 %
Téléphone mobile	58 %
Ordinateur domestique	90 %
Appareils photo numériques	100 %

À l'inverse, la consommation de biens électroniques se situe principalement dans les pays occidentaux (59 % en Amérique du Nord et en Europe) contre 32 % en Asie orientale. Compte tenu du développement de cette dernière, cet écart se resserrera au cours des prochaines années (+ 5 % en Asie orientale contre – 6 % dans les pays occidentaux).

1.2 Équipements des ménages

À partir des données statistiques sur l'équipement des ménages dans les deux pays (Statistique Canada, 2010) (INSEE, 2010), il est possible de faire le portrait de la place des biens électroniques dans les ménages français et québécois. Le tableau suivant présente les taux d'équipement pour certains biens :

Tableau 1-2 : Taux d'équipement des ménages québécois et français entre 2004 et 2008

Biens	Québec (2004)	Québec (2009)	France (2004)	France (2007)
Ordinateur	61,4 %	76,0 %	44,7 %	58,9 %
Téléphone cellulaire	47,4 %	63,8 %	69,0 %	76,9 %
Téléviseur couleur	99,3 %	99,0 %	95,4 %	97,3 %
Téléphone fixe	96,4 %	91,2 %	87,1 %	87,1 %
Connexion à l'internet	50,0 %	71,2 %	30,5 %	48,5 %

On peut constater que, si pour certains équipements relativement courants les taux semblent stagner, les ménages dans les deux régions continuent à s'équiper avec de nouveaux biens électroniques : ordinateur ou téléphone cellulaire en particulier. De plus, ces biens semblent devenir des standards indispensables dans l'ensemble des ménages sauf pour le téléphone fixe qui tend légèrement à être remplacé par le téléphone cellulaire.

Il est intéressant de comparer ces taux d'équipement avec ceux de certains pays développés et de certains pays en émergence. Le tableau ci-dessous présente les taux d'équipements dans plusieurs pays selon les données recueillies par le PNUD dans le cadre du suivi des objectifs du millénaire (Programme des Nations Unies pour le Développement, 2010).

Tableau 1-3 : Indicateurs de suivi de la cible 8.F. des objectifs du millénaire (Programme des Nations Unies pour le Développement, 2010)

Indicateurs	Allemagne	Canada	France	États-Unis	Japon	Chine	Inde	Brésil
Population (Estimation 2010 en millions) (INED, 2010)	82,1	33,9	64,3	317,6	127,0	1 354,1	1 214,4	195,4
Cible 8F: En coopération avec le secteur privé, faire en sorte que les avantages des nouvelles technologies, en particulier des technologies de l'information et de la communication, soient accordés à tous								

Indicateurs	Allemagne	Canada	France	États-Unis	Japon	Chine	Inde	Brésil
Nombre de lignes fixes, pour 100 habitants	62,48	54,87	56,42	49,62	38,04	25,48	3,21	21,43
Abonnés à la téléphonie mobile, pour 100 habitants	128,27	66,42	93,45	86,79	86,73	47,95	29,36	78,47
Nombre d'utilisateurs d'Internet, pour 100 habitants	75,33	75,43	68,21	74,00	75,40	22,28	4,38	37,52

Dans ce tableau, les données présentées sont celles du Canada et non pas du Québec puisque les objectifs du millénaire pour le développement compilent les informations par pays. Dans ce travail, les taux d'occupation du Canada et du Québec sont considérés comme similaires.

Compte tenu de la population des pays en émergence, on constate rapidement que pour que ces derniers atteignent des taux d'équipements similaires à ceux des pays développés, il sera nécessaire de doubler au minimum le nombre d'équipements électroniques en fonctionnement, ce qui augmentera naturellement la production de déchets associés.

1.3 Consommation de biens électroniques

On constate que les biens électroniques font partie de l'équipement des ménages dans les deux régions. Les données statistiques permettent également de se rendre compte que les biens électroniques y sont également des biens de consommation courante.

En France, en raison des mécanismes mis en place dans le cadre de la directive européenne 2002/96/CE (Union européenne, 2003b) portant sur les déchets d'équipements électriques

et électroniques, le suivi des équipements électroniques mis en marché en France est rendu public annuellement depuis 2006 (ADEME, 2010). Certaines des données recueillies sont présentées dans la figure suivante :

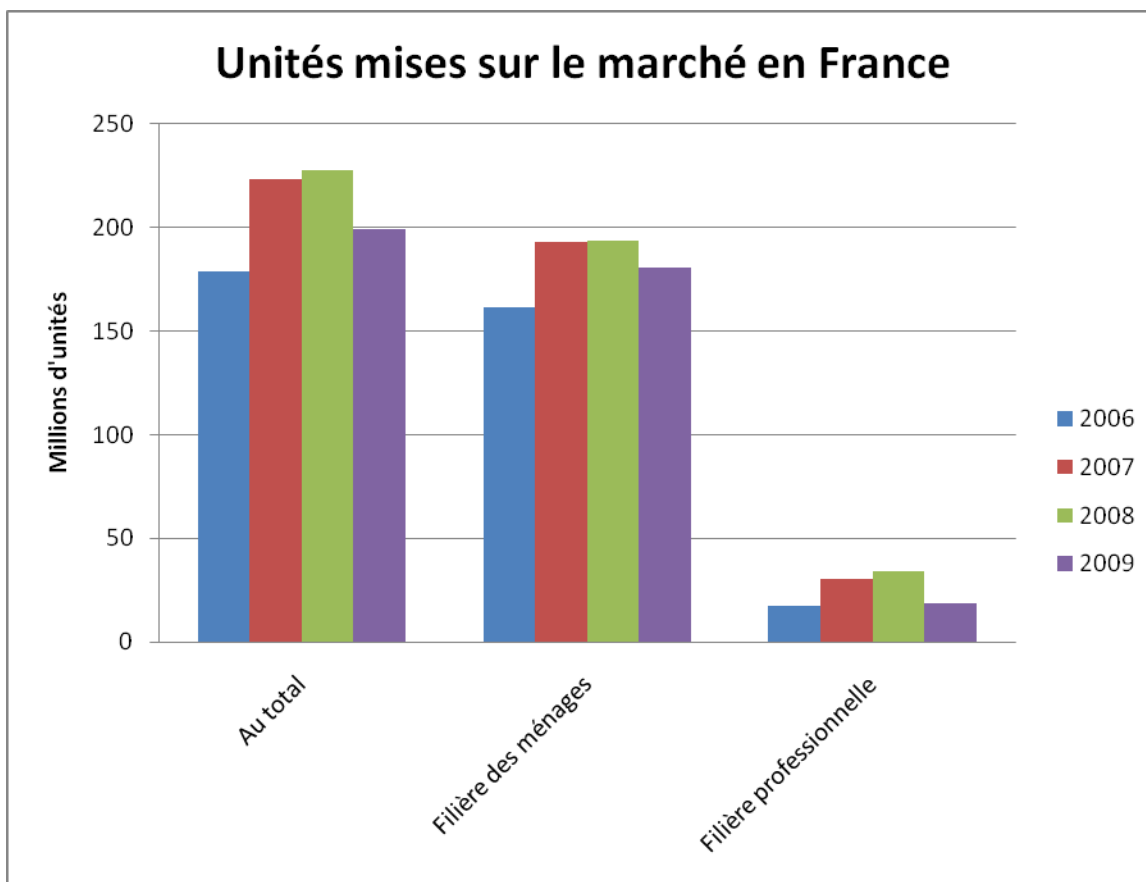


Figure 1-2 : Équipements des technologies de l'information, des télécommunications et matériel grand public mis en marché en France : période 2006-2009 (en millions d'unités) inspirée de (ADEME, 2010)

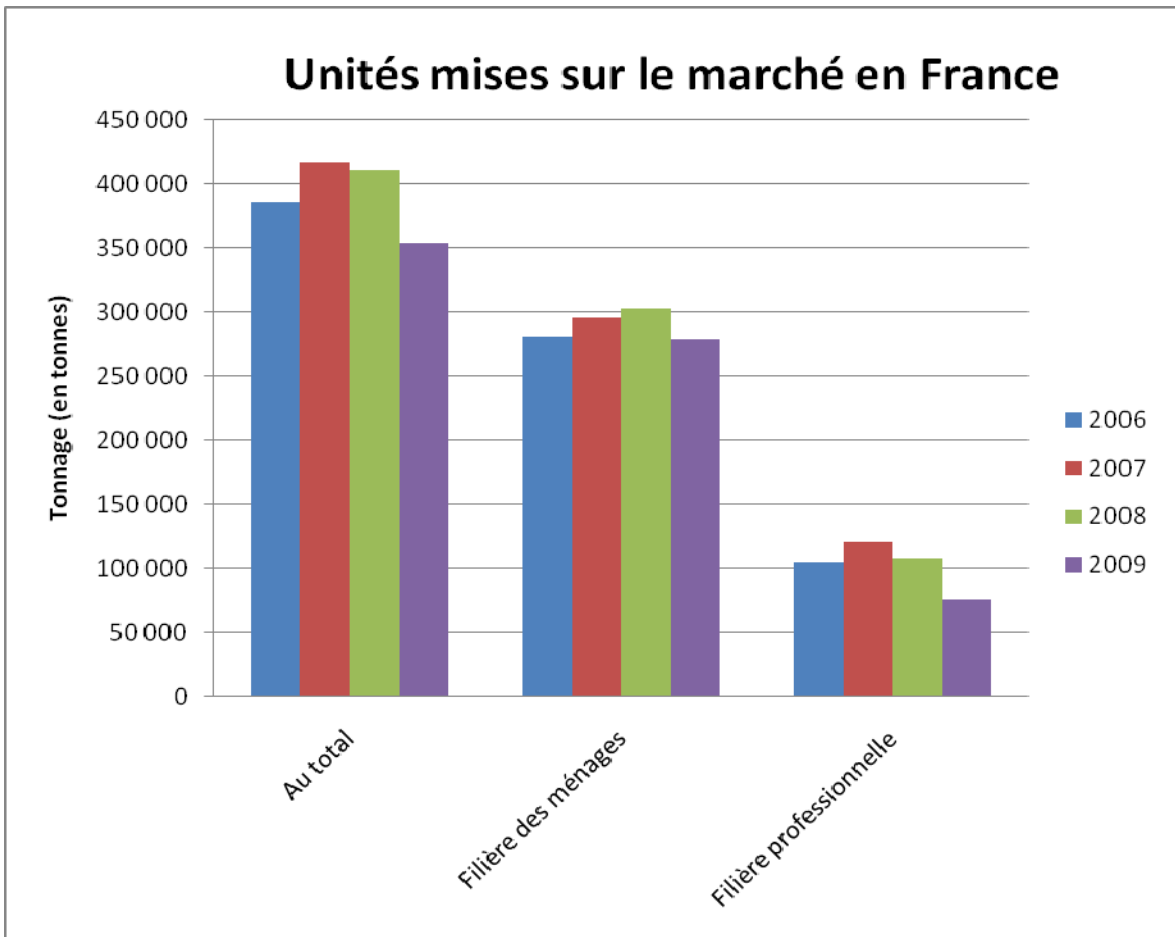


Figure 1-3 : Équipements des technologies de l’information et des télécommunications mis en marché en France : période 2006-2009 (en tonnes) inspirée de (ADEME, 2010)

Ces graphiques regroupent les équipements classés dans les catégories 3 et 4 de la directive européenne, soit :

- Pour la catégorie 3 : les équipements informatiques et leurs accessoires (imprimantes, souris, claviers), les équipements de téléphonie fixe et les cellulaires;
- Pour la catégorie 4 : les téléviseurs et leurs accessoires (lecteurs de DVD, magnétoscopes), les postes de radio, les chaînes haute-fidélité et les instruments de musique.

Depuis trois ans, plus de 200 millions d'équipements sont annuellement mis sur le marché en France, soit environ trois équipements par français et par an. La réduction relative du tonnage global des équipements en comparaison des quantités mises sur le marché est attribuable à leur miniaturisation. Environ 80 % des équipements mis en marché sont destinés au grand public contre 20% pour le marché professionnel. Le fléchissement observé en 2009 est la conséquence de la crise économique. On constate d'ailleurs que ce fléchissement est plus marqué sur le marché professionnel, les entreprises ayant choisi de retarder le renouvellement de leurs équipements.

Au Québec, ce sont les données statistiques de dépense des ménages qui permettent d'évaluer la consommation annuelle de biens électroniques (Statistique Canada, 2010).

Tableau 1-4 : Dépenses des ménages au titre des dépenses courantes et au titre des biens électroniques

	Dépenses des ménages québécois en biens électroniques	Dépenses courantes des ménages québécois	Pourcentage de dépenses courantes consacrées aux biens électroniques
2005	453	39 418	1,1 %
2006	505	41 122	1,2 %
2007	525	41 100	1,3 %
2008	570	43 108	1,3 %
2009	578	43 362	1,3 %

Pour des fins de comparaison, les biens électroniques recensés dans le tableau correspondent aux catégories 3 et 4 de la directive européenne 2002/96/CE (Union européenne, 2003b) soit le matériel d'ordinateur, les équipements audio et les équipements vidéo.

On constate que la consommation d'équipements électroniques représente une part non négligeable des dépenses courantes des ménages et évolue à un rythme au moins équivalent aux dépenses courantes de consommation.

Les données dans les deux régions nous permettent de conclure que les équipements électroniques sont considérés comme des biens de consommations courantes dans le marché actuel. Ces équipements possèdent de durées de vie courtes, de quelques années tout au plus, limitées par le développement des logiciels qui crée rapidement l'obsolescence des ordinateurs par manque de puissance. Au niveau des téléphones cellulaires, les contrats de service offrent souvent le remplacement du téléphone par un modèle plus récent chaque année.

Du côté des moniteurs et des téléviseurs, le développement de la technologie des écrans plats a entraîné le remplacement rapide des écrans cathodiques classiques au cours des dernières années.

1.4 Génération de déchets électroniques

Cette consommation importante d'équipements électroniques et leur rapide obsolescence ont pour conséquence une production importante de déchets électroniques.

Il n'existe pas de données spécifiques concernant la quantité de déchets issus des TIC éliminés en France, mais les estimations dans le domaine fixent à 450 000 tonnes environ la quantité annuelle de déchets éliminés (Bailleul, 2010).

Selon les données du registre de la filière des déchets électroniques de l'ADEME (ADEME, 2010), 134 295 tonnes d'équipements des technologies de l'information et des télécommunications ont été collectées en 2009 dans un but de récupération, soit environ 2,1 kg par Français. Parmi ceux-ci, 19 034 tonnes ont été collectées auprès des professionnels. La collecte dans le domaine des ménages équivaut donc à 115 261 tonnes.

On peut cependant constater que le tonnage est faible en comparaison des 353 758 tonnes mises en marché au cours de la même année. Heureusement, les quantités collectées s'accroissent de manière importante depuis la mise en place du suivi en 2006 :

- 10 081 tonnes collectées en 2006;

- 58 194 tonnes en 2007;
- 103 551 tonnes en 2008;
- 134 295 tonnes en 2009.

Les données pour le Québec ne sont pas strictement comparables à celles de la France puisque pour le Québec, les résultats présentés sont issus du bilan global de gestion des matières résiduelles réalisé tous les deux ans (Recyc-Québec, 2009). Là encore, on peut constater une progression importante des quantités de matières récupérées, tous secteurs confondus, à chaque période de suivi des résultats.

Tableau 1-5 : Quantité totale de matériel informatique et de composants électroniques récupérés (en tonnes) (Recyc-Québec, 2009)

Année	Quantité (en tonnes)
1998	1000
2000	2190
2002	3183
2004	2997
2006	3332
2008	7051

En 2008, la performance obtenue correspond environ à 0,91 kg par personne.

Les données des caractérisations des matières résiduelles relativisent cependant cette progression importante des quantités collectées au niveau du secteur municipal (Recyc-Québec, 2010). En effet, l'étude a évalué que 10 304 tonnes d'équipements des TIC ont été disposées annuellement dans les collectes des déchets et des matières recyclables au cours de la période 2006-2009, soit environ 1,38 kg par personne et par année. Or, ces deux filières ne permettent pas de valoriser ces équipements.

Le tableau ci-dessous résume les performances dans les deux pays :

Tableau 1-6 : Quantité de déchets des technologies de l'information et des communications éliminées et récupérées en France et au Québec

	Élimination	Récupération
Québec	10 304 tonnes (1,38 kg par habitant)	7 051 tonnes (0,94 kg par habitant)
France	450 000 tonnes (estimation) (6,9 kg par habitant)	134 295 tonnes (2,1 kg par habitant)

En conclusion dans les deux régions, les équipements des TIC sont devenus des produits de consommation courante, rapidement obsolètes et générant une quantité importante de déchets. Même si les quantités récupérées progressent annuellement de façon importante, la consommation a aussi tendance à augmenter et la majorité des quantités de déchets des TIC générés prennent encore le chemin de l'élimination.

2 IMPACT DES DÉCHETS ÉLECTRONIQUES

2.1 Nature des déchets des TIC

Les équipements des informatiques sont des objets complexes qui peuvent contenir des milliers de matériaux différents. Ce chapitre traite des principaux éléments qu'on peut retrouver dans un TIC et présente les impacts liés à ceux-ci à la fin de vie de l'équipement.

Le démontage d'un équipement informatique typique (par exemple un ordinateur portable) permet d'isoler certains groupes de composantes :

- Les cartes électroniques : elles assurent « l'intelligence » de l'équipement. Elles sont constituées de plaques formées d'un assemblage de cuivre, de résine époxy (un plastique thermodurcissable) et de fibre de verre, sur lesquels les composants électroniques sont soudés. Les composants électroniques sont constitués de silicium et de nombreux autres composants chimiques (arsenic, gallium, germanium, antimoine, etc.). La soudure quant à elle est un mélange d'étain et de plomb. Dans les appareils les plus modernes, de la soudure sans plomb est utilisée pour des considérations environnementales en lien avec les exigences européennes en la matière (Union européenne, 2003a);
- La structure métallique : elle rigidifie l'équipement. Les métaux utilisés sont principalement des métaux ferreux et de l'aluminium;
- La coque plastique : elle protège l'équipement. Les plastiques utilisés sont de diverse nature. On retrouve en particulier de l'acrylonitrile butadiène styrène (ABS) et du polychlorure de vinyle (PVC). Des produits chimiques sont incorporés aux plastiques pour améliorer leur performance, en particulier des retardateurs de flammes (ignifuges bromés);
- Le clavier : tout comme précédemment, il est composé de plastique auquel sont ajoutés différents additifs;
- L'écran : deux technologies existent actuellement sur le marché : l'écran à tube cathodique et l'écran plat. La technologie à tube cathodique utilise principalement

du verre auquel est incorporé du plomb. Les écrans plats ne contiennent plus de plomb, mais cette nouvelle technologie requiert l'emploi de mercure;

- Les batteries rechargeables : plusieurs technologies se sont succédé au cours des dernières années : les batteries Nickel-Cadmium, Nickel-hydrure métallique, Lithium-ion et Lithium polymère (Roberge, 2010). Comme leur nom l'indique, elles contiennent plusieurs éléments chimiques précieux comme le Nickel, le Cadmium ou le Lithium;
- Le câblage : les câbles dans l'ordinateur permettent d'alimenter en énergie les différentes composantes et de transmettre les données entre elles. Ils sont composés de métal (généralement du cuivre) et recouverts d'une gaine plastique (du PVC additionné de retardateurs de flammes).

2.2 Toxicité des déchets

Lors de sa vie utile, un équipement informatique ne pose généralement pas de problème d'émission de substances toxiques. En tant que déchet électronique par contre, ces équipements sont potentiellement en mesure d'émettre de nombreux éléments toxiques si la gestion de la fin de vie de ces équipements n'est pas assurée adéquatement (Silicon Valley Toxic Coalition, 2004).

2.2.1 Plomb

Le traitement inadéquat des déchets informatiques peut amener à une contamination de l'air, de l'eau et du sol par le plomb et ses composés inorganiques. Lors de l'incinération des déchets, le plomb utilisé pour les soudures peut être volatilisé dans l'air. L'oxyde de plomb qui est contenu dans le tube cathodique est soluble et il peut contaminer le sol ou les eaux par l'intermédiaire des eaux de lixiviation si ces déchets sont enfouis (Potelle, 2009).

Le plomb est toxique pour l'humain de façon chronique. Il est bioaccumulable et possède des effets néfastes sur le système digestif, le système nerveux, le système sanguin et les reins (Service du répertoire toxicologique, 2007).

2.2.2 Mercure

Dans les équipements, le mercure est présent principalement dans les batteries et dans les écrans plats.

Le mercure est bioaccumulable et possède des effets néfastes, tant en exposition aiguë que chronique. Absorbé principalement par les voies respiratoires sous forme de vapeur ou par la peau, il a des effets sévères sur le système nerveux central et périphérique (Service du répertoire toxicologique, 2008).

Il se volatilise à température ambiante et dans l'eau, il forme du méthylmercure qui contamine les sédiments et toute la chaîne alimentaire. L'incinération et l'enfouissement non contrôlés des déchets électroniques contribuent donc à la contamination de l'environnement par le mercure.

2.2.3 Métaux précieux

Plusieurs métaux précieux sont utilisés dans les TIC comme élément dans les composants électroniques, dans les piles ou encore dans les autres parties de l'équipement. Lorsque les équipements sont disposés, les métaux précieux peuvent être émis dans l'environnement avec des conséquences dangereuses pour certains :

- Le Cadmium : cet élément chimique est utilisé dans certains composants électroniques en plus d'être un composant majeur pour certaines gammes de batteries rechargeables. Il est bioaccumulable et absorbé principalement par les voies respiratoires et digestives. Une contamination aiguë au cadmium peut entraîner des problèmes respiratoires, digestifs et une insuffisance rénale. Ses effets chroniques touchent principalement les reins et il est cancérigène (Service du répertoire toxicologique, 2006);
- L'Antimoine : il est utilisé dans certains composants électroniques en plus d'être un agent retardateur de flammes et un composant de soudure. Ce produit peut être absorbé par les voies respiratoires, la peau et les voies digestives en particulier. Il

induit des problèmes au niveau de la peau et des muqueuses, du système digestif et du foie en particulier (Service du répertoire toxicologique, 2009a).

2.2.4 Le chrome hexavalent (Chrome VI)

Ce produit était utilisé couramment comme agent de placage pour le traitement des métaux ferreux, mais son utilisation tend à diminuer du fait de sa toxicité.

L'incinération et l'enfouissement non contrôlés sont tous les deux des sources d'émissions de chrome VI dans l'environnement.

Il présente des effets hautement toxiques pour l'humain lors d'une exposition chronique, dont des troubles respiratoires, des dommages hépatiques et rénaux, des risques accrus de cancer et des modifications du bagage génétique (Service du répertoire toxicologique, 2009b). Il est de plus un contaminant pour l'environnement.

2.2.5 Les ignifuges bromés

Ces composés sont incorporés aux plastiques comme agents retardateurs de flamme. En ce qui concerne la problématique des déchets électroniques, l'incorporation d'additifs dans les plastiques rend leur recyclabilité plus complexe, voire impossible. En cas d'incinération à température insuffisamment élevée, les ignifuges bromés produisent des dioxines et des furanes (Potelle, 2009).

2.2.6 Plastique PVC

Le PVC est utilisé dans les équipements électroniques pour la fabrication du boîtier et du câblage. Ce matériau est recyclable, mais présente des inconvénients environnementaux importants, notamment l'émission de dioxines et furanes lors de sa fabrication et de son incinération (Potelle, 2009).

Du fait de la présence de chlore dans ce type de plastique, sa présence complexifie les opérations de la chaîne de mise en valeur de l'ensemble des plastiques, notamment pour les applications de valorisation énergétique.

Plusieurs fabricants d'équipements cherchent à éliminer l'utilisation de PVC dans les nouvelles générations de produits.

2.3 Épuisement des ressources naturelles

Compte tenu du niveau de complexité des équipements informatiques, ceux-ci nécessitent de nombreux matériaux pour leur élaboration. En particulier, plusieurs éléments chimiques rares sont utilisés dans les composants et les cartes électroniques.

L'augmentation de la consommation mondiale de produits électroniques et l'élimination de ces déchets contribuent à la raréfaction de ces éléments. Pour certains éléments, les enjeux stratégiques pour le contrôle de la ressource sont déjà avérés, comme dans le cas des pressions sur le commerce des terres rares en Chine (James, 2009). L'étude menée par Meadows et al dans le cadre des travaux du club de Rome, *Limits to growth*, montre également les limites de l'exploitation des ressources naturelles telle qu'elle est pratiquée actuellement et les conséquences négatives probables sur la croissance, incitant à mettre en place d'autres modes de développement en place (Meadows, Randers, & Meadows, 2004).

De plus, la fabrication des équipements, de même que leur utilisation, nécessite une quantité importante d'énergie et d'eau à toutes les étapes du cycle de vie de ceux-ci : extraction et raffinage des matières premières, fabrication, transport, utilisation, fin de vie. Une analyse du cycle de vie d'un téléphone portable réalisée en France montre que les impacts environnementaux les plus importants sont attribués à la phase de fabrication (incluant l'extraction des matières premières) puis à la phase d'utilisation (CODDE, 2008). Le cadre de l'étude ne considère pas les impacts liés à la phase de fin de vie du téléphone. Le tableau ci-dessous présente les résultats globaux de l'étude.

Tableau 2-1 : Impacts environnementaux du cycle de vie d'un téléphone cellulaire, résultats quantifiés et normalisés pour les catégories d'impacts retenues dans l'étude (CODDE, 2008)

Indicateur d'impact	Unité	Total	Fabrication	Transport	Utilisation	Fin de vie
Épuisement des ressources naturelles	Année ⁻¹	2,11 E ⁻¹³	100 %	0 %	0 %	Étape non prise en compte dans le scénario
Consommation d'énergie primaire	MJ	253,86	79,4 %	1,6 %	19,0 %	
Effet de serre additionnel	g eq CO ₂	13 496	80,8 %	2,3 %	16,9%	
Destruction de la couche d'ozone	g eq CFC11	0,0022	81,8 %	9,1 %	9,1 %	
Acidification de l'air	g eq H ⁺	3,10	84,8 %	3,5 %	11,6 %	
Eutrophisation de l'eau	g eq PO ₄ ³⁻	0,76	98,7 %	0,7 %	0,9 %	
Production de déchets dangereux	kg	0,29	86,2 %	0 %	13,8 %	

Il faut noter pour analyser les données qu'en France comme au Québec la production d'électricité (utilisée pendant la phase d'utilisation) est très peu émettrice de gaz à effet de serre. Par contre, elle génère une quantité importante de déchets dangereux (car produite en majorité par la filière nucléaire).

D'autres parties de l'étude montrent en outre que le recyclage du téléphone a un impact positif majeur sur l'ensemble du cycle de vie du téléphone.

En ce qui concerne les ordinateurs, une analyse concernant plusieurs options de fin de vie des équipements informatiques démontre également l'importance de l'impact de la fabrication d'un ordinateur neuf (CIRAIG et groupe AGEKO, 2011) alors que d'autres études mettent en avant les contributions principales des phases de fabrication et

d'utilisation aux impacts globaux d'un ordinateur pendant son cycle de vie (Le Foll, 2010). Cependant, les études ont été menées en prenant en compte une utilisation dans des pays où l'intensité carbonique de l'électricité est importante, en particulier la Chine et la Corée du Sud. Des études équivalentes au Québec ou en France devraient vraisemblablement diminuer l'importance de la phase d'utilisation.

En conclusion, le renouvellement rapide des générations d'équipement est donc extrêmement néfaste au niveau environnemental puisqu'il entraîne la fabrication de nouveaux équipements.

2.4 Exportation des déchets et enjeux sociaux

Tout comme la fabrication des équipements, le traitement des déchets informatiques à l'échelle mondiale se concentre plus particulièrement dans certains pays, en particulier l'Inde, la Chine, le Pakistan et le Nigéria (Potelle, 2009). Les déchets y sont traités de manière à en extraire les matériaux de valeur, en particulier les métaux précieux.

L'exportation de ces déchets représente un intérêt économique puisque ces derniers sont traités dans des pays à faible coût de main-d'œuvre et permet à ces régions de s'approprier une source de métaux précieux par le recyclage. Cependant, elle comporte deux problématiques principales, soit les impacts environnementaux associés au transport et les conditions de traitement de ces matières dans les pays hôtes.

La manipulation et le transport de ces déchets jusqu'aux pays destinataires entraînent des émissions importantes de gaz à effet de serre puisque les principales zones de génération et de traitement des déchets sont très éloignées les unes des autres. De plus, les risques liés au transport peuvent entraîner une dissémination de ces matières dans l'environnement.

Au niveau du traitement, l'enjeu repose sur les conditions de traitement dans les pays destinataires. Alors que la mise en valeur dans les pays développés est soumise à des réglementations contraignantes qui contribuent à augmenter les coûts, certains pays hôtes sont beaucoup moins regardants par rapport aux conditions dans lesquelles le recyclage des

déchets électroniques est réalisé : incinération des déchets à ciel ouvert, utilisation non contrôlée de produits chimiques à haute toxicité pour récupérer les métaux précieux, etc. Les impacts pour la santé des travailleurs et de l'environnement y sont considérables. Un rapport de l'organisation Basel Action Network en 2002 estimait que 80 % des déchets électroniques collectés pour recyclage en Amérique de Nord étaient exportés en Asie (Basel Action Network et Silicon Valley Toxics Coalition, 2002).

Pour certains, l'exportation des déchets électroniques est perçue comme une solution à faible coût pour se débarrasser de ces matières.

Dans le but d'assurer un certain contrôle des flux de déchets dangereux, la communauté internationale a adopté la convention de Bâle, qui vise à encadrer le transport transfrontalier et la disposition des déchets dangereux, y compris les déchets électroniques (Programme des Nations Unies pour l'Environnement, 1989). La convention est en vigueur depuis 1992. Elle encadre les conditions de transport de ces déchets et les règles entre pays exportateur et importateur. En particulier, l'exportation de déchets dangereux doit se faire en connaissance de cause et avec l'accord des deux pays.

Afin de poursuivre la démarche, un amendement à la convention, le BAN amendement, a été adopté en 1995 pour interdire l'exportation de déchets dangereux des pays développés (pays de l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE), Union Européenne, Liechtenstein) vers les pays en développement (Programme des Nations Unies pour l'Environnement, 1995). Cependant, cet amendement n'est toujours pas en vigueur. En effet, un minimum de 75 % des 175 Parties de la convention doit ratifier cet amendement pour forcer son entrée en vigueur. À ce jour, 70 pays l'ont fait. (Secrétariat de la convention de Bâle, 2011). À noter que l'Union européenne a ratifié l'amendement en 1997 et la France en 2003. L'Union européenne a même imposé dans sa propre législation l'interdiction d'exporter des déchets dangereux dans certains pays en développement et dans des pays qui n'assurent pas un traitement satisfaisant des matières reçues (Union européenne, 1993). Le Canada ne l'a pas encore ratifié, tout comme les États-Unis.

3 DÉTERMINATION DES CRITÈRES D'ÉVALUATION D'UNE GESTION EFFICACE DES DÉCHETS ÉLECTRONIQUES

3.1 Caractéristiques spécifiques des déchets électroniques

À la lecture des deux précédents chapitres, on constate que les déchets électroniques présentent certaines spécificités particulières qui vont imposer des contraintes sur les systèmes de collecte et de valorisation. Ce chapitre décrit brièvement ces principales spécificités et leur influence sur la performance du traitement. Dans un deuxième temps, les critères qui seront considérés pour évaluer la performance des différents modes de gestion seront décrits.

3.1.1 Du point de vue géographique

Le marché de l'informatique est de dimension mondiale. Les principaux fabricants sont des entreprises multinationales. Les capacités de production et de recyclage actuelles sont principalement basées en Asie du Sud-est alors que le marché de consommation est situé majoritairement en Amérique du Nord et en Europe.

À plus petite échelle cependant, la génération des déchets électroniques est dispersée. Dans les pays consommateurs, chaque foyer, chaque entreprise, chaque institution est une source de production de déchets électroniques.

De même, le mode de distribution des produits est relativement dispersé.

3.1.2 Du point de vue des matériaux

Les déchets électroniques sont susceptibles d'émettre des substances extrêmement toxiques quand ils sont traités par les méthodes standards d'élimination, soit l'enfouissement (lixiviation des métaux lourds : plomb, arsenic, cadmium, et vaporisation du mercure) ou

l'incinération (émissions de métaux lourds et de dioxines et furanes). Les méthodes préconisées pour leur gestion doivent donc prendre en compte ce risque.

Les déchets électroniques sont des matières complexes. Ils sont composés de nombreux matériaux différents assemblés selon des procédés de haute technologie. De plus, la conception des équipements électroniques intègre rarement des caractéristiques permettant un traitement plus facile en fin de vie. Par conséquent, la ségrégation et le traitement sont techniquement complexes ou même inexistantes.

Cependant, ils contiennent certains matériaux précieux, en particulier des métaux (cuivre, or, argent) et d'autres éléments rares ce qui leur donne un intérêt économique important pour leur récupération, outre le fait de la toxicité de certains matériaux.

3.1.3 Du point de vue du marché

Depuis les trente dernières années, l'utilisation des technologies de l'information n'a cessé de se développer dans toutes les sphères de la société et sur tous les continents. En conséquence, la génération de déchets électroniques augmente de façon importante d'année en année. C'est particulièrement vrai dans les pays émergents (Brésil, Inde, Chine), ce qui cause des difficultés supplémentaires puisque parfois les systèmes de collecte de matières résiduelles y sont absents ou déficients.

Enfin, malgré leur complexité technologique, les technologies de l'information sont des produits à courte durée de vie, l'évolution des logiciels et les modèles de mise en marché rendant rapidement ces derniers obsolètes. Cela crée une pression supplémentaire sur la génération de déchets.

3.2 Critères de choix des modes de gestion

Les caractéristiques spécifiques attribuables aux déchets électroniques permettent ainsi d'identifier les principaux critères qui seront utilisés dans ce travail pour sélectionner le mode de gestion le plus adéquat pour les déchets électroniques. L'ensemble des critères retenus dans ce travail et leur importance par rapport à la gestion des déchets électroniques

est présenté ci-dessous. Par la suite, la méthodologie de l'utilisation des critères sera établie.

3.2.1 Classification du mode de gestion au sein des 3 RV-E

Le principe des 3 RV-E représente la méthode la plus générale pour prioriser les modes de gestion applicables aux matières résiduelles. La Politique québécoise de gestion des matières résiduelles inscrit les 3 RV-E comme un principe fondamental de la Politique (MDDEP, 2011a). Comme défini dans celle-ci, « *à moins qu'une analyse basée sur une approche du cycle de vie des biens et des services ne démontre qu'une dérogation est justifiée, la réduction à la source, le réemploi, le recyclage, y compris par traitement biologique ou épandage sur le sol, les autres formes de valorisation de la matière, la valorisation énergétique et l'élimination doivent être privilégiés dans cet ordre dans le domaine de la gestion des matières résiduelles* ».

Les résultats d'analyse de cycle de vie disponibles (CIRAIG et groupe AGEKO, 2011) (CODDE, 2008) et reconnus officiellement tendent à montrer que dans le cas des déchets électroniques, le principe des 3 RV-E doit s'appliquer.

Le travail d'analyse de cet essai privilégiera donc les modes de gestion permettant de maximiser, dans l'ordre, les réductions à la source de la production d'équipements électroniques, le réemploi des équipements et des pièces, la récupération en vue du recyclage des matériaux et la valorisation énergétique.

3.2.2 Traitement local

Les modes de gestion seront évalués en fonction de leur géographie, de manière à promouvoir les modes de gestion locaux et ceux qui minimisent les transports de déchets.

Les déplacements des déchets électroniques augmentent les impacts environnementaux liés à la manipulation et au transport des matières (en particulier les émissions de gaz à effet de serre) ainsi que les risques de déversement accidentel de matériaux toxiques lors des opérations de transport.

Les modes de gestion incluant un traitement local partiel des déchets électroniques (récupération de pièces, tri grossier, broyage, etc.) avant transport seront également analysés dans le cadre de ce critère puisqu'un prétraitement local permet une réduction des déplacements requis en minimisant les quantités et les volumes transportés.

Favoriser les modes de gestion locaux permet également de mieux prendre en compte le principe pollueur-payeur, en s'assurant que les utilisateurs assument une juste part des impacts environnementaux et sociaux liés à la consommation des produits informatiques, particulièrement dans un marché où les lieux de production, de consommation et de traitement sont actuellement très distincts.

Le traitement local permet enfin d'assurer un meilleur suivi de la traçabilité des déchets électroniques en évitant l'exportation de ceux-ci dans des pays où les normes sociales et environnementales sont moins sévères.

3.2.3 Coût global

Le coût économique des modes de gestion proposés sera un critère prépondérant. Les équipements informatiques représentent maintenant dans les pays industrialisés un produit de consommation de courantes générant d'importantes quantités de déchets. Pour pouvoir être mis en place, un mode de gestion de déchets électroniques devra se révéler économiquement compétitif par rapport aux modes de recyclage classique et même par rapport à l'élimination.

3.2.4 Flexibilité

Même si actuellement l'Amérique du Nord et l'Europe sont les principaux utilisateurs de produits informatiques, la consommation de ces derniers dans les pays en développement ne cesse de croître. Or, la gestion classique des matières résiduelles dans certains de ces pays peut être déficiente ou inexistante.

Dans l'analyse des différents modes de gestion des déchets électroniques présentés dans ce travail, ceux présentant une simplicité d'application accrue, que ce soit au niveau des procédés technologiques ou aux processus de collecte seront priorisés.

Le niveau technologique des équipements nécessaires au traitement des déchets, la formation requise pour collecter les déchets et opérer les processus de traitement des matières ainsi que l'énergie et les intrants à fournir seront évalués dans le cadre de ce critère.

Ce critère a pour but d'identifier les solutions qui sont les plus flexibles et les plus facilement exportables dans les différentes régions consommatrices, actuelles et futures.

3.2.5 Efficacité du système de collecte

Ce critère vise à évaluer la capacité du mode de gestion proposé à maximiser le taux de déchets électroniques collectés par rapport à la quantité générée. Les modes de gestion qui entraînent les pertes de matières seront pénalisés.

Ces pertes peuvent survenir à cause d'un mauvais tri lors de la disposition par les consommateurs (dépôt des équipements vers la collecte d'élimination ou vers une collecte de récupération non adéquate), de manipulations inadéquates lors des opérations de transport vers le site de traitement (contamination des matières), mais aussi par une mauvaise couverture du territoire de collecte.

En effet, il a été constaté que, dans les deux pays à l'étude, la génération de déchets électroniques est étendue à l'ensemble de la population et que les points de distribution et d'utilisation sont extrêmement dispersés. Les collectes en place doivent donc couvrir l'ensemble du territoire (régions urbaines et rurales, plus ou moins densément peuplées) et permettre de regrouper efficacement le maximum d'équipements en minimisant les pertes.

3.2.6 Contrôle des matières dangereuses

La gestion des déchets électroniques présente des risques particuliers puisque ceux-ci, dans des conditions de manipulations particulières, peuvent générer des émissions toxiques pour la santé humaine et pour l'environnement.

Par conséquent, un critère particulier est établi pour évaluer les modes de gestion qui minimisent les risques d'émissions de substances toxiques et assurent leur contrôle, à toutes les étapes du cycle de gestion des matières (collecte, transport, tri, recyclage, gestion des intrants et des sous-produits) et ce, jusqu'au recyclage et à la disposition finale des matières et des sous-produits issus de leur traitement.

3.2.7 Incitatif à l'électronique propre

Ce critère vient compléter le principe des 3 RV-E en favorisant les modes de gestion qui incitent les fabricants de matériel informatique à modifier leurs modèles d'affaires et leurs produits de manière à réduire la génération de déchets électroniques et à simplifier leur traitement. Ces changements se traduisent concrètement par :

- Une modification du modèle d'affaires pour favoriser la location d'équipements (vente de services) plutôt que l'achat;
- L'allongement de la durée de vie des équipements, en favorisant leur mise à niveau;
- La réduction du poids des équipements;
- La réduction ou l'élimination des quantités de substances toxiques incorporées dans les équipements;
- La conception d'équipements plus faciles à valoriser (démontage rapide, ségrégation facilitée des matières).

Les incitations auprès des fabricants à valoriser l'informatique propre peuvent viser également une amélioration des performances environnementales lors de la phase de

fabrication (extraction de matière, efficacité énergétique des procédés de fabrication, utilisation de produits chimiques et gestion des déchets lors de la fabrication) et la phase d'utilisation (efficacité énergétique). Cependant, comme le sujet de cette étude porte sur les déchets électroniques post consommation, cet angle de travail ne sera pas étudié.

3.2.8 Intensité du mode de gestion

Ce critère particulier vise à favoriser les modes de gestion qui incitent fortement à l'action (ADEME, 2010) quant à la bonne gestion des déchets. La force de l'incitation du passage à l'action est ici évaluée dans ce critère.

Le passage à l'action peut être provoqué par des mesures coercitives (lois et règlements) et des coûts supplémentaires (amende, taxe), mais aussi par des incitatifs financiers (consigne) ou des actions de sensibilisation.

Ce critère sera étudié pour les trois acteurs principaux du marché, soit le fabricant, le distributeur et le consommateur.

3.2.9 Pondération des critères

Chacun des modes de gestion identifiés sera pondéré en fonction des huit critères de manière à identifier ceux qui présentent les facteurs de succès les plus significatifs. La grille de pondération des huit critères est présentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3-1 : Pondération des critères d'analyse des modes de gestion des déchets électroniques

Critère	Nombre de points
Principe des 3 RV-E	20
Traitement local	10
Coût global	10
Flexibilité	10
Efficacité du système de collecte	20
Contrôle des matières dangereuses	10
Incitatif à l'électronique propre	10
Intensité du mode de gestion	10
Total	100

Dix points sont attribués à chacun des critères sauf deux critères à 20 points pour un total de 100 points. Les deux critères doubles sont :

- Le principe des 3 RV-E : étant donné que ce principe a un caractère général qui s'applique au cas des déchets électroniques et qu'il favorise globalement une résolution des problématiques de gestion des matières résiduelles à la source, ce critère bénéficie d'une importance majorée;
- L'efficacité du système de collecte : ce critère est pondéré en double, car il se situe à la source de toutes les solutions envisagées et de son succès dépend la performance globale du mode de gestion. En effet, toute solution de gestion des déchets électroniques qui ne comporte pas une collecte efficace des équipements aboutit inévitablement à un taux de valorisation faible puisqu'une partie des déchets générés ont été « perdus ». Au contraire, une collecte efficace permet d'obtenir un matériel de base (les déchets électroniques) en quantité et en qualité importantes, ce qui augmente les opportunités de débouchés pour ces matériaux.

4 MODE DE GESTION DES DÉCHETS ÉLECTRONIQUES DANS LES DEUX RÉGIONS

4.1 Contexte réglementaire

4.1.1 Au Québec

La gestion des déchets électroniques au Québec est principalement de compétence provinciale. Sous le cadre global de la Loi sur la qualité de l'environnement, la gestion des déchets électroniques est encadrée par les textes suivants :

- Politique québécoise de gestion des matières résiduelles (MDDEP, 2011a);
- Plan d'action 2010-2015 associé à la Politique (MDDEP, 2011b);
- Règlement sur la récupération et la valorisation de produits par les entreprises (Gouvernement du Québec, 2011).

La Politique et le Plan d'action associé donnent les lignes directrices pour l'ensemble des matières et des acteurs impliqués au Québec. Parmi celles-ci, on peut noter les stratégies affichées de respecter le principe des 3 RV-E dans la gestion des matières résiduelles et de responsabiliser les producteurs.

En 2004, le gouvernement a réuni dans un groupe de travail les différents acteurs concernés par la fin de vie des équipements électroniques (producteurs, distributeurs, récupérateurs, recycleurs, institutions) pour établir une proposition de mode de gestion et émettre des recommandations pour en assurer le succès. (Filière des produits des technologies de l'information et des communications, 2007) La première recommandation de la Filière portait sur l'adoption d'un règlement sur la responsabilité élargie des producteurs.

Le gouvernement a adopté en juin 2011 le règlement sur la récupération et la valorisation de produits par les entreprises, qui vise entre autres, les produits électroniques (comprenant les ordinateurs, les téléphones cellulaires et l'ensemble de leurs périphériques). Celui-ci

place sous la responsabilité élargie des producteurs les produits électroniques, ce qui transfère la charge de récupérer et de mettre en valeur les matières résiduelles issues des produits mis en marché par les entreprises qui ont mis ces produits en marché. Concrètement, les entreprises peuvent organiser leur propre filière de collecte et de mise en valeur ou encore s'associer à un organisme agréé par Recyc-Québec. Ce système est particulièrement adapté aux produits présentant une certaine dangerosité ou nécessitant un traitement particulier. En attribuant la responsabilité des matières résiduelles issues de leurs activités, le gouvernement espère à terme favoriser l'écoconception des produits par les entreprises et le développement de filières de mises en valeur.

Le règlement fixe des objectifs de performance en matière de récupération. Ainsi, à partir de 2015 :

- Le taux de récupération des ordinateurs est fixé à 40 % (sur la base du nombre d'unités mises en vente 5 ans auparavant). L'augmentation du taux de récupération est fixée à 5 % par année jusqu'à un plafond de 65 %;
- Le taux de récupération des cellulaires est fixé à 40 % (sur la base du nombre d'unités mises en vente 3 ans auparavant). L'augmentation du taux de récupération est fixée à 5 % par année jusqu'à un plafond de 65 %.

Si l'entreprise n'est pas en mesure d'assurer la récupération de ses produits au taux prescrit, elle doit alors cotiser au Fonds Vert pour compenser la différence entre le taux atteint et le taux prescrit selon des prix fixés par le règlement :

- 10 \$ par unité pour un ordinateur de bureau;
- 2 \$ par unité ou poids équivalent pour un ordinateur portable;
- 0,50 \$ par unité ou poids équivalent pour un téléphone cellulaire.

Le règlement est en cours d'application : les producteurs doivent mettre en place la filière de récupération d'ici le 14 juillet 2012 pour les équipements informatiques et les téléphones cellulaires.

4.1.2 En France

Le cadre réglementaire en France dans le domaine est fixé par les exigences européennes et les textes réglementaires français traduisent ces directives dans la législation nationale. Parmi celles-ci, deux directives traitent des produits électroniques de manière particulière :

- Directive 2002-95-CE du 27 janvier 2003 relative à la limitation de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques encore appelée directive RoHS (Union européenne, 2003a) mise à jour en 2011 (Union européenne, 2011a);
- Directive 2002-96-CE du 27 janvier 2003 sur les déchets d'équipements électriques et électroniques (D.E.E.E) (Union Européenne, 2003b).

La directive RoHS vise à interdire l'utilisation de certaines substances dans de nombreuses catégories d'équipements électriques et électroniques, dont les équipements informatiques. Les substances suivantes sont bannies :

- Le plomb;
- Le mercure;
- Le cadmium;
- Le chrome hexavalent;
- Les polybromobiphényles;
- Les polybromodiphénylethers.

L'interdiction est en vigueur depuis le 1er juillet 2006 et la mise à jour de la directive en 2011 a inclus d'autres équipements à la liste des produits concernés.

La directive 2002-96-CE encadre la mise en place d'une collecte et d'un circuit de recyclage des déchets électroniques ménagers, incluant les équipements informatiques, sous la responsabilité des producteurs. Elle permet de contrôler la gestion des déchets électroniques en fin de vie. Les producteurs et distributeurs doivent assumer les coûts de la gestion et du traitement des déchets électroniques en participant à son financement par le biais d'un organisme agréé.

L'adaptation de la directive européenne dans le code législatif français permet de préciser le rôle de chaque acteur. Ainsi depuis le 15 novembre 2006 :

- Le producteur doit organiser et financer l'élimination des DEEE issus de leurs produits mis en marché après le 13 août 2005. La notion de producteur englobe toute entreprise qui :
 - fabrique et vend sous sa propre marque;
 - revend sous sa propre marque;
 - importe ou introduit sur le marché européen à titre professionnel;

- Le distributeur doit reprendre un produit usagé contre l'achat d'un produit neuf équivalent (obligation du « un pour un »), informer le consommateur et enfin afficher et facturer une écoparticipation correspondant au coût de collecte et de recyclage du produit de façon visible et séparée de son prix de vente.

Pour la suite de ce chapitre et par souci de clarté uniquement, les différentes initiatives recensées seront décrites selon l'ordre de la hiérarchie des 3 RV-E.

4.2 Réduction à la source

4.2.1 Dématérialisation

Le terme « dématérialisation » couvre ici deux pratiques qui visent à éviter l'achat d'équipements informatiques, soit la location d'équipement d'un côté et l'informatique en nuage (Cloud computing).

Compte tenu du renouvellement rapide des équipements informatiques et de leur relatif faible prix, la location d'équipements électroniques est peu répandue pour le marché des particuliers.

On trouve des offres de location de matériel principalement à destination du milieu professionnel (location pour les entreprises en démarrage, les PME, etc.), surtout dans certains créneaux spécialisés, par exemple les équipements d'impression. On estime en France que 15 à 20 % du parc informatique dans les grandes entreprises est en location (Renaissance Numérique, 2010).

Certains créneaux particuliers sont particulièrement propices à la location, tels les équipements d'impression ou encore les serveurs et systèmes de stockage de données. Dans le domaine de l'impression, les systèmes de gestion déléguée des impressions permettent à l'entreprise cliente d'acquies un service d'impression au lieu d'équipements et ainsi de déléguer l'immobilisation des équipements, l'entretien, la gestion des consommables, le renouvellement du parc et la fin de vie des équipements. À terme, cela encourage les fabricants de matériel d'impression à augmenter la durée de vie des équipements et à améliorer leur recyclabilité. Il faut cependant remarquer que la durée de vie d'un équipement d'impression est beaucoup plus longue que celle d'un ordinateur, par exemple. La compagnie Xerox par exemple fait état dans son rapport annuel 2010 d'une part grandissante de ses revenus de services alors que ses revenus de ventes de matériel stagnent. (Xerox Corporation, 2011)

La location des équipements informatiques présente certains avantages au niveau du traitement des déchets :

- en concentrant les parcs chez certains grands propriétaires;
- en offrant plus facilement une seconde vie aux ordinateurs.

La location de serveurs et de systèmes de stockage de données est également courante dans le milieu professionnel. Les fournisseurs dans ce domaine offrent un service d'hébergement, en installant les équipements du client dans des locaux contrôlés (température, humidité, etc.) et sécurisés. Ces services n'ont cependant qu'un impact marginal sur la production de déchets puisqu'en pratique, il s'agit d'un déplacement de la production de déchets d'un client vers un fournisseur.

En ce qui concerne l'informatique en nuage, l'avènement de cette technologie est régulièrement présenté comme un moyen de dématérialiser l'information et l'informatique. Concrètement, l'informatique en nuage permet à l'utilisateur d'accéder à ses applications, ses photos, ses courriels depuis n'importe quel appareil de communication (tablette, téléphone intelligent, ordinateurs) branché à l'internet et n'a plus besoin de stocker localement ses données et ses outils. Cependant là encore, ces informations dématérialisées sont en fait physiquement stockées dans des centres de données, transportées dans des réseaux de télécommunications qui nécessitent des équipements électroniques et consultées sur des équipements informatiques personnels. Malgré les progrès réalisés dans la capacité de stockage et de calculs des équipements, l'informatique en nuage ne devrait pas avoir d'effet bénéfique sur la production de déchets électroniques, tout comme les études dans le domaine semblent montrer que la virtualisation de l'informatique n'aura pas d'impact bénéfique sur la consommation d'énergie du secteur (Greenpeace, 2010).

L'impact global des technologies de l'information sur l'environnement et le développement durable reste un sujet de controverse à l'heure actuelle. Alors que certains voient l'informatique comme une solution aux problématiques de transport, de consommation de papier et à la diffusion du savoir, d'autres montrent que jusqu'à présent, l'essor des technologies de l'information a évolué en parallèle d'une augmentation des déplacements et de la consommation de papier (Breuil, Burette, Flury-Hérard, Cueugnet, & Vignolles, 2008) (Rhodain & Fallery, 2010). Ce sujet déborde cependant le cadre de cet essai.

4.2.2 Réduction de la toxicité et écoconception

Au niveau légal, la directive européenne RoHS représente un pas majeur qui a conduit à éliminer ou réduire certains produits dangereux (plomb, mercure, cadmium) des équipements électroniques. La mesure s'appliquant à un important marché, la grande majorité des fabricants informatiques a été fortement incitée à mettre en œuvre la directive de manière à garder leur accès au marché européen.

La révision de la directive, adoptée en mai 2011, étend à un plus grand nombre d'équipements, y compris les téléphones portables et les accessoires, les limitations d'utilisation des 6 substances identifiées et ouvre la porte à la limitation possible d'autres substances (Union européenne, 2011a).

Des initiatives normatives travaillent également dans le sens de la réduction de la toxicité et de l'écoconception des équipements. Les principaux outils de certifications dans le domaine sont :

- La norme Energy Star qui couvre exclusivement les aspects liés à l'efficacité énergétique des équipements, ce qui sort du cadre de ce travail (Office de l'efficacité énergétique, 2011);
- La norme EPEAT (Electronic Product Environmental Assessment Tool) (EPEAT, 2011);
- Le label européen (Union européenne, 2011b) (Union européenne, 2011c) (Union européenne, 2009);
- La norme TCO (Tjänstemännens Central Organisation, 2011), d'origine suédoise. Cette norme a été développée par la Tjänstemännens Central Organisation (confédération suédoise des employés professionnels) pour répondre originellement à des risques sur la santé humaine causés par les écrans d'ordinateur.

Ces trois dernières certifications couvrent un large éventail d'impacts environnementaux comme le précise le tableau ci-dessous :

Tableau 4-1 : Comparaison des critères des certifications EPEAT, TCO et du label européen

	EPEAT	Label européen	TCO
Type de matériel couvert	Ordinateurs, écrans	Ordinateurs et téléviseurs	Ordinateurs, écrans, casques d'écoute, projecteurs
Zone d'application	Monde (41 pays, 2 700 produits)	Europe	Monde (1 100 produits certifiés)
Matériaux dangereux	X	X	X
Efficacité énergétique	X	X	X
Garantie du producteur et pièces de remplacement	X		X
Pièces de remplacement	X	X	X
Mise à niveau	X	X	
Système de gestion environnementale	X		X
Responsabilité sociale	X		X
Emballage	X	X	X
Recyclabilité	X	X	X
Reprise des produits en fin de vie	X		X
Qualité de l'image			X
Niveau d'émissions électromagnétiques			X
Ergonomie			X
Niveau de bruit		X	X
Bannissement des halogènes			X
Utilisation de matériaux recyclés	X	X	X
Utilisation de bioplastique	X		
Manuel d'utilisation		X	
Information du public		X	

4.3 Réemploi

Selon les principes des 3RV, le réemploi est la filière à privilégier par rapport au recyclage. Les analyses de cycle de vie réalisées dans le domaine confirment cette hypothèse dans le

cas des équipements informatiques et des cellulaires (CIRAIG et groupe AGEKO, 2011) (CODDE, 2008).

4.3.1 Le marché de l'occasion

Selon les statistiques, environ 50 % des ordinateurs qui finissent leur première vie utile sont encore en état de fonctionnement (Bailleul, 2010). Plusieurs initiatives plus ou moins organisées visent à remettre ces équipements sur le marché.

Le marché de l'occasion dans le domaine des technologies de l'information et des télécommunications est multiforme. On peut distinguer :

- Le marché informel de la vente entre particuliers. Ce marché est principalement soutenu par les sites de vente en ligne;
- Les entreprises spécialisées dans le reconditionnement et la revente des ordinateurs. En France comme au Québec, ces organisations sont principalement des entreprises de réinsertion ou d'économie sociale. En France, on peut citer l'association Emmaüs ou encore l'atelier adapté Écodair. Au Québec, l'industrie du reconditionnement se centre principalement autour du réseau de CFER (centre de formation en entreprise et récupération);
- Les constructeurs d'équipements qui proposent une gamme de seconde main. Certains équipementiers proposent effectivement des matériels remis à neuf. En France par exemple, le groupe ANOVO a développé à partir d'une expérience de gestion du service après-vente des produits électroniques une expertise en reconditionnement et remise sur le marché de produits électroniques remis à neuf notamment par le biais de sites internet spécialisés (Anovo, 2011).

Les équipements d'occasion (remis à neuf ou non) sont remis sur le marché pour une clientèle pour qui la performance est moins primordiale le prix. En particulier, ces équipements sont en mesure d'alimenter le milieu de l'éducation ou le secteur associatif. Le prochain paragraphe détaille ce sujet.

Malgré les recherches menées, aucune source n'a été identifiée pour connaître l'envergure du marché de l'occasion.

4.3.2 Les dons d'équipement au milieu de l'éducation ou associatif

Parallèlement au marché de l'occasion destiné au grand public, plusieurs initiatives ont vu le jour au Québec comme en France pour récupérer sous forme de dons certains parcs d'équipements, les réviser et les remettre sur le marché auprès de certains publics, dans le milieu scolaire ou associatif, afin de favoriser l'accès à l'informatique pour des publics plus éloignés de cette technologie.

À ce sujet, on peut citer le projet de la Délégation aux usages de l'internet en France. (Délégation aux usages de l'internet, 2009) D'initiative gouvernementale, ce projet vise à réduire la fracture numérique en permettant à chacun d'accéder à l'internet. Pour ce faire, le projet s'appuie sur le programme Ordi 2.0 (Ordi 2.0, 2011a), vaste organisation visant à coordonner une filière nationale de collecte, de rénovation et de réemploi des ordinateurs à destination des écoles, des associations et des personnes à faible revenu. Le programme encadre la qualité de reconditionnement des équipements et assure le respect de la réglementation, notamment en ce qui concerne la gestion des déchets électroniques. Les donateurs sont les grandes entreprises ou encore l'administration. Les bénéficiaires des ordinateurs sont :

- Les structures d'aide et d'insertion sociale;
- Les associations et clubs du troisième âge;
- Les centres socioculturels et socio-éducatifs;
- Les collectivités responsables de l'équipement des écoles;
- Les centres pour handicapés;
- Les structures publiques et associatives gestionnaires d'espaces d'accès public et d'accompagnement aux TIC et à Internet;
- Les associations de développement local.

Le reconditionnement des équipements est assuré principalement par des entreprises d'économie sociale.

Au Québec, le principal acteur dans le domaine est l'organisme Ordinateurs pour les écoles du Québec, branche québécoise de l'initiative canadienne « Ordinateurs pour les écoles » mise en place par Industrie Canada (Ordinateurs pour les écoles du Québec, 2008). L'organisme assure la récupération auprès des ministères et entreprises de leurs ordinateurs désuets et les remet à jour pour les revendre à bas coût aux écoles et organismes sans but lucratif. Ce faisant, l'organisme intervient également dans le domaine de l'insertion en accueillant des personnes en difficulté d'insertion dans ses ateliers de mise à niveau. Depuis sa création en 1998, 180 000 ordinateurs ont été ainsi réhabilités au Québec. À l'échelle du Canada, ce sont plus de 900 000 ordinateurs qui ont été remis en circulation (Industrie Canada, 2011).

4.3.3 Les dons internationaux

Dans chacun des deux pays, des initiatives ont également vu le jour pour permettre le réemploi des ordinateurs usagés dans certains pays en développement (Ordi 2.0, 2011b). L'objectif principal est encore une fois de réduire la fracture numérique entre les pays du nord et les pays du sud. Cependant, cette façon de procéder ne présente pas que des avantages puisque les équipements expédiés sont parfois désuets ou tombent en panne au bout de quelques années et les pays bénéficiaires n'ont généralement pas les infrastructures nécessaires pour gérer adéquatement les déchets engendrés. Les « dons » en fin de vie atterrissent alors dans les sites d'enfouissement locaux, sont incinérés ou recyclés dans des conditions précaires, ce qui peut représenter certains risques pour la santé des travailleurs et des populations locales. Certaines critiques ont jugé que ces dons à l'international d'équipements électroniques sont en fait des manières déguisées d'exporter des déchets dangereux et d'éviter les contraintes et les coûts liés au recyclage dans les pays développés.

4.4 Récupération

4.4.1 Systèmes de collecte

Avec la réglementation en place sur la responsabilité élargie des producteurs, les producteurs d'équipements électroniques ont l'obligation de mettre en place et de faire approuver un système de collecte et de traitement ou d'adhérer à un écoorganisme (ADEME, 2010). Dans les faits, il n'existe actuellement aucun système de collecte privé, tous les producteurs adhérant à l'un des quatre écoorganismes agréés, soit :

- Ecologic;
- Eco-systèmes;
- ERP France;
- Recylum (pour les lampes).

De plus, chaque distributeur en France a l'obligation de prendre en charge un équipement pour l'achat d'un équipement équivalent. Il s'agit de la règle du « un pour un ».

En 2009, 134 295 tonnes de déchets des TIC ont été récupérées en France, dont 14 % du milieu professionnel (ADEME, 2010). Globalement, 75 % de ces matières ont été récupérées par le réseau des collectivités locales (éco centres et collecte sélective), 14 % par les distributeurs (dans le cadre du programme « un pour un ») et le reste dans d'autres filières, principalement les organismes d'économie solidaire. Dans le milieu professionnel cependant, la collecte est principalement assurée par les distributeurs, par le biais des ententes de reprise lors de changement d'équipement.

En 2009, le réseau français de collecte des DEEE compte 3 600 points de collecte de collectivités (écocentres ou autres points gérés par les collectivités locales) ainsi que 20 000 points de collectes dans le réseau des distributeurs.

84 % des matières traitées ont été valorisées en 2009 pour l'ensemble du secteur des DEEE, dont :

- 4 % en réemploi;
- Moins de 1 % en réutilisation de pièces;
- 75 % en recyclage matière;
- 5 % en valorisation énergétique.

Au Québec, on retrouve la même organisation en matière de points de collecte pour les équipements des technologies de l'information et des communications : écocentres, ramassage aux points de vente par les distributeurs, collecte sélective, entreprises d'économie sociale. Cependant, comme la réglementation sur la responsabilité élargie des producteurs est en cours d'implantation, la collecte aux points de distributions se fait sur une base volontaire. Recyc-Québec recense les récupérateurs disponibles à l'échelle provinciale. On dénombre (Bourque, 2009) :

- 3 réseaux de distributeurs ayant mis en place des systèmes de collectes multimarques : BEST Buy (15 magasins), Bureau en gros (60 magasins), Future Shop (29 magasins);
- 12 réseaux de points de vente pour la collecte des cellulaires (Sony, Apple, Postes Canada, Bell, Virgin, Rogers, Telus, Archambault, Vidéotron, Bureau en gros, Future Shop, Best Buy, Desjardins) représentant des centaines de points de collecte;
- Plusieurs fabricants qui offrent le service de reprise gratuite à l'achat d'un équipement neuf;
- 122 points de collecte (CFER, ressourceries, éco centres, etc.) selon la liste des récupérateurs recensés par l'organisme.

Selon les sources disponibles, la qualité du matériel récupérée est globalement bien meilleure lorsque le matériel provient d'institutions ou d'entreprises plutôt que de particuliers. En effet, la récupération auprès des entreprises permet d'obtenir des lots d'équipements de même marque et modèle. De plus, la fréquence de remplacement du matériel informatique dans les entreprises est généralement faible, car celles-ci doivent investir pour garder un parc informatique à la pointe de la technologie.

4.4.2 Les centres de démantèlement (CFER, entreprises d'économie sociale, centres de tri)

Après l'étape de la récupération, les équipements sont acheminés dans des centres où ils sont testés, triés et remis à neuf pour être remis sur le marché. Certains centres procèdent également à un démontage des équipements de manière à faire une première séparation des composantes qui seront traitées dans les différentes filières de recyclage (tubes, cathodiques, cartes électroniques, etc.) ou pour la récupération de pièces.

En France comme au Québec, la majorité des organismes qui interviennent dans ce secteur sont des entreprises d'économie sociale, qui misent principalement sur l'insertion par l'économique. La directive européenne sur les déchets électroniques met d'ailleurs en avant l'importance de l'intégration sociale dans la filière (Union européenne, 2003b).

Selon les sources, on recense plus d'une centaine de centres de démantèlement d'ordinateurs en France (Ordi 2.0, 2011c) et une trentaine au Québec (Recyc-Québec, 2011). Parmi ces derniers, on peut distinguer les centres de formation en entreprise et récupération (CFER). Regroupés sous la bannière du réseau de CFER, les 21 établissements installés au Québec offrent une formation à des jeunes de 15 à 18 ans en difficulté d'apprentissage sous forme de stage en école-entreprise (Réseau des CFER, 2010). La formation est validée au terme des trois années de formation par un « Certificat de Formation en Entreprise et Récupération ».reconnu par le ministère de l'Éducation. Les domaines d'activités de chacun des CFER sont liés au développement durable : tri et recyclage de matières, reconditionnement de matériel, etc. Parmi l'ensemble du réseau, 13 établissements mènent des activités de tri-démontage de matériel électronique ou de revalorisation de rebuts téléphoniques. Plusieurs contrats sont établis entre le réseau de CFER et les municipalités ou les grandes entreprises dans le domaine.

Les équipements informatiques traités par ces organismes sont pour une part révisés et revendus, alors que le reste est démantelé et orienté vers les recycleurs de pièces ou les recycleurs matières. Le taux de réemploi des équipements est très variable selon la provenance des équipements. Pour du matériel de l'administration publique et des

entreprises, les équipements ont été gérés au cours de leur première vie utile de façon professionnelle (inventaire, maintenance, homogénéité du parc). Dans ce cas, le taux de réemploi peut atteindre 75 %. Dans le cas de matériel en provenance des particuliers, le taux peut tomber à 20 % (Bourguignat, 2008).

4.5 Recyclage et valorisation

4.5.1 Les techniques en place

Depuis quelques années et avec la pression exercée par les pays qui ont réglementé très tôt la gestion des déchets électroniques comme le Japon, les technologies de recyclage et de valorisation des déchets se sont développées.

On peut distinguer plusieurs filières en fonction des technologies particulières qui y sont associées (ADEME, 2008) :

- Le traitement des tubes cathodiques;
- Le traitement des petits appareils en mélange;
- Le traitement des cartes électroniques.

La suite de ce chapitre décrit succinctement ces trois filières.

Le traitement des tubes cathodiques sépare les différents matériaux qui composent les tubes, soit les métaux, la poudre luminescente et les couches de protection du verre ainsi que les deux qualités de verre du tube : le verre de la dalle qui contient du baryum et le verre du cône qui contient 20 % de plomb. Pour pouvoir être réintégrés dans la fabrication de nouveaux tubes cathodiques, leur principal débouché, les deux types de verre doivent être impérativement séparés.

Les principaux procédés utilisés dans ce processus sont le découpage des tubes pour séparer les deux types de verre, le broyage des tubes, le tri magnétique des métaux, le tri manuel et le tri optique ainsi que les procédés de lavage pour éliminer les impuretés.

Selon les processus en place, les taux de recyclage peuvent atteindre 90 à 99 %. Les principaux débouchés des extrants de ce traitement sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4-2: Principaux débouchés de la filière de traitement des tubes cathodiques

Extrant	Débouchés
Verre dalle	Fabrication de nouveaux tubes cathodiques Matériau de remplissage pour la construction, matériau de sablage (en développement)
Verre cône	Fabrication de nouveaux tubes cathodiques Fonderie de plomb Matériau de remplissage pour la construction, matériau de sablage (en développement)
Métaux	Fonderie de métaux
Poudre lumineuse	Élimination

Le principal problème du traitement des tubes cathodiques est la raréfaction des débouchés pour le verre. Le recyclage en boucle fermée est en perte de vitesse, car les écrans à tube cathodique disparaissent au profit des écrans plats et les autres débouchés sont encore au stade du développement.

Les petits appareils en mélange (récupérés pêle-mêle) constituent le flux des équipements électroniques qu'on retrouve communément chez les particuliers (audio, vidéo, ordinateurs, téléphones, etc.).

Comme pour les tubes cathodiques, le recyclage de ces matières consiste à séparer les différents constituants de ces équipements en fractions suffisamment homogènes pour qu'elles puissent être incorporées dans la fabrication de nouveaux équipements.

Les processus sont généralement constitués en début de chaîne par des étapes alternées de tri manuel pour extraire certains matériaux (polluants ou matériaux d'extraction facile à

haute valeur de revente) et des étapes de broyage permettant d' « ouvrir » les équipements et de les séparer en fractions relativement homogènes.

Les différents matériaux sont alors purifiés en utilisant différentes techniques de tri : séparation magnétique des métaux ferreux, séparation des métaux non ferreux par courant de Foucault, tri optique des métaux non ferreux et des plastiques, tri par infrarouge ou par rayons X (pour isoler les plastiques avec retardateurs de flamme), séparation densimétrique des différents plastiques.

Les principaux débouchés des extrants de ce traitement sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4-3: Principaux débouchés de la filière de traitement des petits appareils en mélange

Extrant	Débouchés
Métaux ferreux	Fonderie de métaux
Métaux non ferreux (Aluminium cuivre)	Affinerie de métaux
Cartes électroniques	Filière de traitement des cartes électroniques
Thermoplastiques	Industrie plasturgique sauf les plastiques avec retardateurs de flamme qui ne peuvent être recyclés de cette manière
Plastiques thermodurcissables	Valorisation énergétique
Piles et accumulateurs	Filière de traitement des piles ou gestion en tant que déchets dangereux
Encre et toners	Réutilisation des composants
Câblage	Affinerie de métaux (cuivre)

Les procédés en place assurent un haut taux de valorisation (supérieur à 80 %). Les plastiques avec retardateurs de flamme présentent le principal problème de cette technologie puisqu'ils sont interdits de réutilisation. Certaines solutions existent cependant, principalement en phase de développement à l'heure actuelle, comme l'incinération

contrôlée (filtration des gaz et contrôle des émissions de dioxines et furanes), la pyrogazéification (production de gaz synthétiques pour valorisation énergétique) et la dépolymérisation catalytique basse pression (production de combustible liquide de type diesel). La technologie de pyrogazéification est implantée en France (Finaxo, centre de gestion des glucides, Dury) et la dépolymérisation au Canada (GEEP, site de Barrie, Ontario).

La filière des cartes électroniques dérive des technologies métallurgiques traditionnelles, les cartes étant traitées dans des fonderies par pyrométallurgie ou par pyrolyse, ce qui permet d'extraire les différents métaux précieux et non précieux ainsi que des technologies de dissolution du cuivre à l'acide sulfurique. À l'échelle mondiale, cette filière se compose uniquement de quelques sites de très grande capacité. Le Québec abrite la plus importante usine au monde de traitement de cartes électroniques à Rouyn-Noranda (Fonderie Horne de Xstrata) et la France possède à Isbergues un nouveau site en production depuis 2011 opéré par Terra Nova et possédant une capacité de 30 000 tonnes par an.

4.5.2 Le recyclage local

Les technologies de recyclage et de valorisation décrite ci-dessus sont complexes et nécessitent pour des raisons évidentes de rentabilité des opérations des installations de haute capacité et bénéficiant des meilleures technologies en matière de contrôle des polluants (gestion des sous-produits, captage et traitement des poussières, lavage des gaz de procédés, contrôle des taux de polluants à la cheminée).

Dans ce contexte, à l'échelle du Québec et de la France, le nombre d'installations de ce type est faible, de l'ordre de quelques unités.

Tableau 4-4: Principaux centres de recyclage de matériau électronique au Québec et en France

Entreprise	Profil
Au Québec	
Xstrata (Rouyn-Noranda)	Traitement des cartes électroniques

Entreprise	Profil
GEEP Ecosys (Barrie, Ontario)	Démantèlement des petits appareils en mélange et tri
En France	
MBM (Voivres les Le Mans)	Traitement des tubes cathodiques et des déchets mercuriels
Regain SA (Fourchambault)	Traitement des tubes cathodiques et des matières plastiques
Terra Nova (Isbergues)	Traitement des cartes électroniques
Ecotri (Saint-Evarzec)	Démantèlement de petits appareils en mélange et tri
Triade Électronique (Saint Sylvain d'Anjou)	Démantèlement des petits appareils en mélange et tri
Galloo (Halluin)	Démantèlement des petits appareils en mélange et tri (séparation des différents types de plastiques)
Finaxo et centre de valorisation des glucides (Dury)	Pyrogazéification des plastiques (en développement)
Comec (Creil)	Broyage et déféraillage des cartes électroniques
AC2E (Sailly sur la Lys)	Broyage et déféraillage des cartes électroniques

4.5.3 Le recyclage à l'international

Le bannissement du transfert international des déchets dangereux n'étant toujours pas en vigueur (Secrétariat de la convention de Bâle, 2011), le recyclage à l'international des déchets électroniques est toujours une réalité répandue. Malheureusement, les pays qui reçoivent les déchets pour les recycler sont ceux qui proposent les coûts de traitement les plus faibles, avec pour conséquence des conditions de traitement précaires et dangereuses pour la santé humaine et l'environnement. Ces impacts s'ajoutent à ceux causés par le transport (consommation d'énergie et émission de gaz à effet de serre, risque de déversement).

La France s'étant dotée de règlements contraignants sur le sujet, la part de déchets électroniques exportés en dehors de l'Union européenne y est marginale (moins de 1 %) (ADEME, 2010)

Au Québec, en revanche, la part des déchets électroniques exportés n'est pas disponible, mais on peut supposer qu'elle reste importante compte tenu du manque de réglementation coercitive dans le domaine. À l'échelle canadienne, certaines organisations avancent des taux de déchets exportés de l'ordre de 50 % et plus (De Cotret, 2011).

4.6 Élimination

Malgré l'ensemble des filières de récupération disponibles dans les deux pays, une partie non négligeable des déchets électroniques se retrouve encore dirigée vers l'élimination comme le Tableau 1-6 de la page 14 le démontre.

De plus, les réglementations en place n'interdisent pas l'élimination des équipements électroniques dans la filière déchets. Le propriétaire de l'équipement assure la récupération de celui-ci sur une base volontaire, mais son élimination n'est pas actuellement sanctionnée.

4.7 Tableau récapitulatif

Le tableau ci-dessous résume les principaux modes de gestion des déchets électroniques disponibles dans les deux pays. Ceux-ci seront analysés en fonction de la grille développée au chapitre 3 (voir Tableau 3-1 : Pondération des critères d'analyse des modes de gestion des déchets électroniques) au cours du prochain chapitre.

Tableau 4-5: Principaux modes de gestion et pays d'application

Mode de gestion	Québec	France
Législation		
Directive RoHS		X
Réglementation sur la responsabilité élargie des producteurs	X	X
Réduction à la source		
Location d'équipement	X	X
Dématérialisation (informatique en nuage)	X	X
Application de normes visant l'écoconception des produits	X	X
Réemploi		
Marché de l'occasion entre particuliers	X	X
Don au milieu de l'éducation ou aux associations	X	X

Mode de gestion	Québec	France
Don à l'international	X	X
Reconditionnement des équipements par les entreprises d'économie sociale	X	X
Récupération		
Récupération dans les écocentres	X	X
Récupération par les distributeurs	X	X
Principe du « un pour un » ou récupération obligatoire par les distributeurs		X
Récupération par la collecte sélective		X
Recyclage		
Démantèlement pour réemploi des pièces	X	X
Recyclage des matières dans des installations locales	X	X
Recyclage des matières à l'international	X	
Valorisation		
Valorisation énergétique des plastiques		X

5 ANALYSE DES MODES DE GESTION ET IDENTIFICATION DES FACTEURS DE SUCCÈS

5.1 Comparatif

5.1.1 Aspect quantitatif

Selon les données du Tableau 1-6 : Quantité de déchets des technologies de l'information et des communications éliminées et récupérées en France et au Québec, la performance de récupération en France (2,1 kg par habitant) est meilleure qu'au Québec (0,94 kg par habitant). Il faut cependant noter que la réglementation sur la responsabilité élargie des producteurs en France est en vigueur en France depuis 2006 alors qu'elle est en cours d'implantation au Québec. Plus d'un an après la mise en place de la réglementation en France, en 2007, la performance de récupération en France était de 58 194 tonnes, soit environ 0,9 kg par habitant (ADEME, 2010). On peut donc espérer, compte tenu des réglementations similaires en place, que la performance de récupération du Québec suive la même progression que celle de la France.

L'autre point de comparaison entre les deux pays est la disponibilité de structures de récupération. Le rapport annuel de l'ADEME montre une progression importante de la population couverte par une collecte de déchets électroniques :

Tableau 5-1 : Population française desservie par une collecte de déchets électroniques (collecte sélective ou mise en place d'un écocentre) (ADEME, 2010)

Date	Population couverte (millions d'habitants)
Fin 2006	19
Fin 2007	43
Fin 2008	51
Fin 2009	56

Les outils de comparaison ne sont pas strictement équivalents pour le Québec et il n'existe pas de mesure stricte de la population desservie par une telle collecte. Par contre, plusieurs

études dans la littérature permettent de suivre l'augmentation du nombre d'écocentres au Québec comme le montre le tableau ci-dessous.

Tableau 5-2 : Nombre d'écocentres recensés au Québec (différentes sources)

Année	Nombre	Source
2002	40	(Leblanc, 2005)
2005	74	(Leblanc, 2005)
2007	86	(Paré-Le Gal, 2007)
2011	122	(Recyc-Québec, 2011)

L'augmentation du nombre d'écocentres va de pair avec la population desservie. De plus, il est probable que la mise en place de la responsabilité élargie des producteurs va augmenter le nombre de points de collecte et la population desservie.

5.1.2 Gestion de la toxicité des produits

À la source :

La directive RoHS a permis aux pays de l'Union européenne dont la France d'exercer une pression importante sur les producteurs d'équipements en imposant certaines restrictions en matière de matières contenues, ce qui permet de limiter à la source les polluants. Par ce fait, l'ensemble de l'industrie électronique a été amené à revoir ses processus de production, et ce, à l'échelle mondiale. Le Québec bénéficie donc indirectement de la directive européenne.

L'imposition d'une telle contrainte aux producteurs est possible seulement si le bassin de consommateurs est suffisamment important pour devenir un enjeu majeur pour le producteur. C'est le cas pour l'Union européenne (environ 500 millions d'habitants à fort potentiel économique). Ni le Québec ni même le Canada n'ont ce poids commercial et ne sont donc pas en mesure d'imposer ce type de contrainte. Pour être efficace, un mouvement de ce type devrait être coordonné à l'échelle de l'Amérique du Nord au minimum.

À l'élimination :

Au Québec comme en France, il n'existe pas d'interdiction d'éliminer les équipements électroniques ni de sanction attachée. Le contrôle des polluants à l'élimination ne dispose donc pas de « barrière de protection ».

Au niveau des acteurs :

La mise en œuvre d'une réglementation basée sur la responsabilité élargie des producteurs dans les deux pays permettra à terme de mettre une pression équivalente sur les producteurs dans les deux pays, les outils en place ayant des poids similaires en matière financière. À moyen terme, les producteurs d'équipements seront les principaux responsables de la gestion des déchets électroniques, au niveau financier pour le moins.

Certaines différences subsistent cependant entre les deux zones :

- Dans les prochaines années, le retard pris par le Québec en matière de récupération devrait se combler progressivement si les efforts de sensibilisation sont mis en place;
- L'obligation pour les producteurs de reprendre un appareil usagé lors de l'achat d'un appareil neuf (le principe du « un pour un ») met une pression supplémentaire sur la chaîne de distribution et favorise l'efficacité de la collecte.

5.2 Analyse des modes de gestion et détermination des facteurs de succès

5.2.1 Analyse des modes de gestion

Chacun des modes de gestion identifiés au chapitre 4 (Tableau 4-5: Principaux modes de gestion et pays d'application) est analysé en fonction de la grille de critères établie au chapitre 3 (Tableau 3-1 : Pondération des critères d'analyse des modes de gestion des déchets électroniques). Chacune des notes est assortie de commentaires pour justifier le score attribué.

La cotation est effectuée comme indiqué dans le tableau ci-dessous :

Tableau 5-3 : Grille de cotation

Impact du mode de gestion	Score
Le mode de gestion a un impact très positif sur le critère	10
Le mode de gestion a un impact plutôt positif sur le critère	7
Le mode de gestion a un impact nul sur le critère	5
Le mode de gestion a un impact plutôt négatif sur le critère	3
Le mode de gestion a un impact très négatif sur le critère	0

Il est rappelé que la pondération est doublée pour les critères « Principe des 3 RV-E » et « Efficacité du mode de collecte ».

Tableau 5-4 : Cotation du mode de gestion « Directive RoHS »

Pays d'application : France		
Critère	Score	Commentaires
Principe des 3 RV-E (poids double)	20	L'interdiction de certains composés chimiques à la conception permet de réduire la pollution à la source
Traitement local	5	Pas d'impact avéré
Coût global	3	Les évolutions technologiques nécessaires pour respecter la directive ont un impact sur le coût de fabrication des équipements
Flexibilité	3	L'imposition d'une telle contrainte aux producteurs ne peut se faire que dans des pays à fort potentiel commercial.
Efficacité du système de collecte (poids double)	10	Pas d'impact avéré
Contrôle des matières dangereuses	10	L'élimination des matières dangereuses se fait à la source.
Incitatif à l'électronique propre	10	La directive impose aux producteurs le bannissement de certains produits dangereux
Intensité du mode de gestion	20	La directive impose aux producteurs le bannissement de certains produits dangereux
Total	81	

Tableau 5-5 : Cotation du mode de gestion « Réglementation sur la responsabilité élargie des producteurs »

Pays d'application : France et Québec		
Critère	Score	Commentaires
Principe des 3 RV-E (poids double)	14	En donnant la responsabilité de la gestion des déchets au producteur, ce système incite à moyen terme ce dernier à concevoir des produits plus facilement recyclables et contenant moins de produits dangereux
Traitement local	5	Pas d'impact avéré
Coût global	5	Pas d'impact avéré
Flexibilité	5	Pas d'impact avéré
Efficacité du système de collecte (poids double)	14	En mesure de transformer les lieux de distribution en point de collecte (en fonction de la portée de la réglementation)
Contrôle des matières dangereuses	5	Pas d'impact avéré
Incitatif à l'électronique propre	7	En donnant la responsabilité de la gestion des déchets au producteur, ce système incite à moyen terme ce dernier à concevoir des produits plus facilement recyclables, contenant moins de produits dangereux et de plus longue durée de vie
Intensité du mode de gestion	7	Impose le financement au producteur et donc le passage à l'action de sa part. Par contre, ce mode de gestion n'a pas de poids particulier sur le consommateur.
Total	62	

Tableau 5-6 : Cotation du mode de gestion « Location d'équipement »

Pays d'application : France et Québec		
Critère	Score	Commentaires
Principe des 3 RV-E (poids double)	14	Pas d'impact avéré
Traitement local	5	Pas d'impact avéré
Coût global	7	Effort de rationalisation de la gestion des déchets auprès des grands comptes et frais de collecte moins importants
Flexibilité	7	Dans les pays en développement, ce système peut permettre un accès plus facile à l'informatique tout en concentrant les flux d'équipements
Efficacité du système de collecte (poids double)	7	Les équipements restent aux mains de grands propriétaires, ce qui rend leur collecte plus facile (centralisation des stocks)
Contrôle des matières dangereuses	7	Pas d'impact avéré
Incitatif à l'électronique propre	14	Les équipements restant la propriété des producteurs ou de gestionnaires de grands parcs, l'incitation à concevoir des équipements plus propres est importante
Intensité du mode de gestion	5	Pas d'impact avéré
Total	66	

Tableau 5-7 : Cotation du mode de gestion « Dématérialisation (informatique en nuage) »

Pays d'application : France et Québec		
Critère	Score	Commentaires
Principe des 3 RV-E (poids double)	10	Pas d'impact avéré
Traitement local	5	Pas d'impact avéré
Coût global	5	Pas d'impact avéré
Flexibilité	5	Pas d'impact avéré
Efficacité du système de collecte (poids double)	10	Pas d'impact avéré
Contrôle des matières dangereuses	5	Pas d'impact avéré
Incitatif à l'électronique propre	5	Pas d'impact avéré
Intensité du mode de gestion	3	En présentant l'informatique comme « l'art de l'immatériel », l'informatique en nuage peut désensibiliser les consommateurs par rapport aux impacts réels de leurs équipements
Total	48	

Tableau 5-8 : Cotation du mode de gestion « Application de normes d'écoconception (EPEAT, Label européen, etc.) »

Pays d'application : France et Québec		
Critère	Score	Commentaires
Principe des 3 RV-E (poids double)	20	L'écoconception permet de réduire à la source la génération de déchets
Traitement local	5	Pas d'impact avéré
Coût global	7	L'écoconception permet de concevoir des équipements moins énergivores, contenant moins de produits dangereux et plus faciles à traiter en fin de vie
Flexibilité	7	En écoconcevant des équipements plus faciles à traiter en fin de vie, les besoins d'équipements de traitements de haute technicité peuvent être minimisés, d'où une exportation plus simple de ces produits
Efficacité du système de collecte (poids double)	10	Pas d'impact avéré
Contrôle des matières dangereuses	5	L'écoconception permet de concevoir des équipements moins énergivores, contenant moins de produits dangereux et plus faciles à traiter en fin de vie
Incitatif à l'électronique propre	10	L'écoconception permet de concevoir des équipements moins énergivores, contenant moins de produits dangereux et plus faciles à traiter en fin de vie
Intensité du mode de gestion	5	Pas d'impact avéré
Total	69	

Tableau 5-9 : Cotation du mode de gestion « Marché de l'occasion entre particuliers »

Pays d'application : France et Québec		
Critère	Score	Commentaires
Principe des 3 RV-E (poids double)	14	Favorise le réemploi
Traitement local	7	Permet d'alimenter une partie du marché local à destination des consommateurs qui n'ont pas besoin de matériel de haute performance
Coût global	10	Assure une deuxième vie à des équipements qui autrement devraient être démantelés et réduit les besoins en matériel neuf
Flexibilité	10	Adapté à tout type de pays
Efficacité du système de collecte (poids double)	10	Pas d'impact avéré
Contrôle des matières dangereuses	5	Pas d'impact avéré
Incitatif à l'électronique propre	5	Pas d'impact avéré
Intensité du mode de gestion	5	Pas d'impact avéré
Total	66	

Tableau 5-10 : Cotation du mode de gestion « Don au milieu de l'éducation et aux associations »

Pays d'application : France et Québec		
Critère	Score	Commentaires
Principe des 3 RV-E (poids double)	14	Favorise le réemploi
Traitement local	10	Le reconditionnement des équipements est réalisé localement par des entreprises d'économie sociale
Coût global	10	Assure une deuxième vie à des équipements qui autrement devraient être démantelés et réduit les besoins en matériel neuf
Flexibilité	5	Pas d'impact avéré
Efficacité du système de collecte (poids double)	14	Permet de centraliser une partie des équipements en fin de première vie vers les reconditionneurs, ce qui concentre les flux de déchets
Contrôle des matières dangereuses	7	Permet de centraliser une partie des équipements en fin de première vie vers les reconditionneurs, ce qui concentre les flux de déchets
Incitatif à l'électronique propre	5	Pas d'impact avéré
Intensité du mode de gestion	5	Pas d'impact avéré
Total	70	

Tableau 5-11 : Cotation du mode de gestion « Don à l'international »

Pays d'application : France et Québec		
Critère	Score	Commentaires
Principe des 3 RV-E (poids double)	14	Favorise le réemploi
Traitement local	0	Les équipements parcourent de longues distances
Coût global	5	Impact nul. Le transport de ces équipements est coûteux, mais il permet de remplacer la fabrication d'équipements neufs.
Flexibilité	5	Pas d'impact avéré
Efficacité du système de collecte (poids double)	6	Les équipements sont envoyés dans des pays qui ne bénéficient souvent pas des systèmes de collecte et de traitement des déchets électroniques. À la fin de leur « deuxième » vie, ces équipements risquent d'être enfouis ou incinérés dans des conditions non contrôlées.
Contrôle des matières dangereuses	3	Les équipements sont envoyés dans des pays qui ne bénéficient souvent pas des systèmes de collecte et de traitement des déchets électroniques. À la fin de leur « deuxième » vie, ces équipements risquent d'être enfouis ou incinérés dans des conditions non contrôlées.
Incitatif à l'électronique propre	5	Pas d'impact avéré
Intensité du mode de gestion	5	Pas d'impact avéré
Total	43	

Tableau 5-12 : Cotation du mode de gestion « Reconditionnement par des entreprises d'économie sociale »

Pays d'application : France et Québec		
Critère	Score	Commentaires
Principe des 3 RV-E (poids double)	14	Favorise le réemploi
Traitement local	7	Permet un traitement local
Coût global	7	Impacts indirects sur les coûts en remettant sur le marché du matériel à faible coût et en assurant la création d'emplois
Flexibilité	7	Les opérations de reconditionnement peuvent être mises en œuvre à peu de frais dans tout pays
Efficacité du système de collecte (poids double)	10	Pas d'impact avéré
Contrôle des matières dangereuses	7	Les équipements sont démantelés par des ressources spécialisées qui sont en mesure d'assurer un traitement sécuritaire des matières dangereuses.
Incitatif à l'électronique propre	5	Pas d'impact avéré
Intensité du mode de gestion	5	Pas d'impact avéré
Total	62	

Tableau 5-13 : Cotation du mode de gestion « Récupération dans les écocentres »

Pays d'application : France et Québec		
Critère	Score	Commentaires
Principe des 3 RV-E (poids double)	10	Favorise peu le réemploi ou la réduction à la source
Traitement local	5	Pas d'impact avéré
Coût global	7	La mise en place d'un écocentre est un moyen à peu de frais d'offrir un lieu à la population pour se débarrasser de manière sécuritaire de ses déchets électroniques
Flexibilité	7	La mise en place d'un écocentre peut être mise en place à peu de frais dans tout pays
Efficacité du système de collecte (poids double)	6	Nécessite une démarche de la part du consommateur pour se rendre à l'écocentre. Les écocentres peuvent être difficiles à implanter dans les petites agglomérations
Contrôle des matières dangereuses	5	Pas d'impact avéré
Incitatif à l'électronique propre	5	Pas d'impact avéré
Intensité du mode de gestion	3	Nécessite une démarche de la part du consommateur
Total	48	

Tableau 5-14 : Cotation du mode de gestion « Récupération par les distributeurs »

Pays d'application : France et Québec		
Critère	Score	Commentaires
Principe des 3 RV-E (poids double)	10	Favorise peu le réemploi ou la réduction à la source
Traitement local	5	Pas d'impact avéré
Coût global	7	Les distributeurs disposent déjà d'espace et d'outils logistiques
Flexibilité	5	Ne s'adapte pas facilement à tous les marchés
Efficacité du système de collecte (poids double)	14	Offre un vaste réseau de points de collecte dans l'ensemble du réseau de distribution
Contrôle des matières dangereuses	5	Pas d'impact avéré
Incitatif à l'électronique propre	5	Pas d'impact avéré
Intensité du mode de gestion	3	Nécessite une démarche de la part du consommateur pour amener son équipement
Total	54	

Tableau 5-15 : Cotation du mode de gestion « Principe du « un pour un » ou récupération obligatoire par le distributeur »

Pays d'application : France		
Critère	Score	Commentaires
Principe des 3 RV-E (poids double)	10	Favorise peu le réemploi ou la réduction à la source
Traitement local	5	Pas d'impact avéré
Coût global	7	Les distributeurs disposent déjà d'espace et d'outils logistiques
Flexibilité	5	Ne s'adapte pas facilement à tous les marchés
Efficacité du système de collecte (poids double)	14	Offre un vaste réseau de points de collecte dans l'ensemble du réseau de distribution
Contrôle des matières dangereuses	5	Pas d'impact avéré
Incitatif à l'électronique propre	5	Pas d'impact avéré
Intensité du mode de gestion	7	Le producteur doit offrir le service de reprise
Total	58	

Tableau 5-16 : Cotation du mode de gestion « Récupération par la collecte sélective »

Pays d'application : France		
Critère	Score	Commentaires
Principe des 3 RV-E (poids double)	10	Favorise peu le réemploi ou la réduction à la source
Traitement local	5	Pas d'impact avéré
Coût global	0	Coût important pour assurer la collecte
Flexibilité	3	Ne s'adapte pas aux pays ne disposant pas déjà d'un système de collecte sélective
Efficacité du système de collecte (poids double)	20	Permet la collecte à la porte et maximise le nombre d'équipements récupérés
Contrôle des matières dangereuses	7	Centralise les équipements dans des réseaux contrôlés
Incitatif à l'électronique propre	5	Pas d'impact avéré
Intensité du mode de gestion	7	En offrant un service à la porte, le consommateur est fortement incité à se départir de ses déchets électroniques dans la bonne filière
Total	57	

Tableau 5-17 : Cotation du mode de gestion « Démantèlement pour réemploi des pièces »

Pays d'application : France et Québec		
Critère	Score	Commentaires
Principe des 3 RV-E (poids double)	14	Favorise le réemploi
Traitement local	7	La récupération des pièces se fait presque exclusivement de manière locale pour limiter les frais de transport
Coût global	0	Coût important pour assurer les opérations de démantèlement et de reconditionnement. Ne peut s'appliquer qu'à des pièces à haute valeur de revente.
Flexibilité	7	Le reconditionnement des pièces peut être fait dans tout pays
Efficacité du système de collecte (poids double)	10	Pas d'impact avéré
Contrôle des matières dangereuses	5	Pas d'impact avéré
Incitatif à l'électronique propre	7	Pression indirecte sur le producteur pour fabriquer des équipements à longue durée de vie
Intensité du mode de gestion	5	Pas d'impact avéré
Total	55	

Tableau 5-18 : Cotation du mode de gestion « Recyclage des matières dans des installations locales »

Pays d'application : France et Québec		
Critère	Score	Commentaires
Principe des 3 RV-E (poids double)	10	Favorise peu le réemploi ou la réduction à la source
Traitement local	10	Traitement local
Coût global	3	Coût élevé, car les technologies à mettre en place sont complexes. Le coût peut être compensé par les matières premières extraites (en particulier les métaux précieux)
Flexibilité	0	Nécessite des équipements de haute technologie
Efficacité du système de collecte (poids double)	10	Pas d'impact avéré
Contrôle des matières dangereuses	7	Les technologies utilisées assurent un traitement sécuritaire des matières dangereuses
Incitatif à l'électronique propre	7	Pression indirecte sur le producteur pour fabriquer des équipements plus faciles à traiter en fin de vie
Intensité du mode de gestion	7	En France comme au Québec, l'enfouissement ou l'incinération non contrôlée des déchets électroniques est de moins en moins accepté
Total	54	

Tableau 5-19 : Cotation du mode de gestion « Recyclage des matières à l'international »

Pays d'application : Québec		
Critère	Score	Commentaires
Principe des 3 RV-E (poids double)	10	Favorise peu le réemploi ou la réduction à la source
Traitement local	0	Exportation des déchets électroniques
Coût global	7	Solution peu couteuse, car les pays hôtes offrent souvent de faibles coûts de main-d'œuvre et de traitement
Flexibilité	7	Solution disponible
Efficacité du système de collecte (poids double)	10	Pas d'impact avéré
Contrôle des matières dangereuses	3	Les conditions de recyclage artisanales et peu contrôlées en place dans les pays hôtes peuvent générer des nuisances importantes pour la santé humaine et l'environnement
Incitatif à l'électronique propre	3	Le problème est « délocalisé »
Intensité du mode de gestion	5	Pas d'impact avéré
Total	45	

Tableau 5-20 : Cotation du mode de gestion « Valorisation énergétique des plastiques »

Pays d'application : Québec		
Critère	Score	Commentaires
Principe des 3 RV-E (poids double)	6	Ne favorise pas la réduction à la source, le réemploi ou le recyclage
Traitement local	7	Compte tenu des coûts liés au transport de ces matières, ces opérations sont généralement réalisées « relativement » localement.
Coût global	5	Pas d'impact avéré
Flexibilité	3	Nécessite des équipements de haute technologie pour contrôler les émissions
Efficacité du système de collecte (poids double)	10	Pas d'impact avéré
Contrôle des matières dangereuses	7	Assure un contrôle des émissions
Incitatif à l'électronique propre	3	N'incite pas à l'écoconception et à l'utilisation de matières facilement recyclables
Intensité du mode de gestion	5	Pas d'impact avéré
Total	46	

Le tableau suivant résume les notes obtenues par les différents modes de gestion analysés :

Tableau 5-21 : Tableau résumé de l'évaluation des différents modes de gestion

Mode de gestion	Note globale
Législation	
Directive RoHS	81
Réglementation sur la responsabilité élargie des producteurs	62
Réduction à la source	
Location d'équipement	66
Dématérialisation (informatique en nuage)	48
Application de normes visant l'écoconception des produits	69
Réemploi	
Marché de l'occasion entre particuliers	66
Don au milieu de l'éducation ou aux associations	70
Don à l'international	43
Reconditionnement des équipements par les entreprises d'économie sociale	62
Récupération	
Récupération dans les écocentres	48
Récupération par les distributeurs	54
Principe du « un pour un » ou récupération obligatoire par les distributeurs	58
Récupération par la collecte sélective	57
Recyclage	
Démantèlement pour réemploi des pièces	55
Recyclage des matières dans des installations locales	54
Recyclage des matières à l'international	45
Valorisation	
Valorisation énergétique des plastiques	46

5.2.2 Principaux facteurs de succès

Le transfert de la responsabilité de la fin de vie des produits aux producteurs semble la mesure la plus pertinente à mettre en place pour ce type de matières. Dans ce domaine, la France et le Québec sont au diapason et les réglementations sont déjà en place ou en voie de l'être dans les deux pays. Il convient cependant de vérifier que la pression sur les producteurs est suffisamment importante pour que ces derniers mettent effectivement en place ou adhèrent à un système de collecte et que des efforts de réduction à la source soient entrepris.

De plus, cette étude a permis de déterminer quelques pistes de succès complémentaires.

En matière de récupération, il serait judicieux d'augmenter la pression sur la disposition en interdisant l'élimination des équipements électroniques dans les collectes de déchets ménagers. Ceci peut être mis en place par un renforcement de la réglementation en matière de collecte par le biais d'amendes ou encore par l'imposition d'offrir un service minimum au niveau des municipalités.

Au niveau de la collecte encore, pour améliorer le taux de récupération, une possibilité pourrait être de profiter des collectes déjà en place. La collecte des équipements informatiques pourrait être faite en même temps que les matières recyclables (deux camions ou un camion à double entrée). En effet, ces équipements sont suffisamment stables pour être gérés en parallèle du flux des recyclables. Comme la population est de plus en plus habituée au geste de recycler les papiers et les contenants, l'ajout d'autres matières comme les équipements électroniques ne devrait pas poser de problème particulier et on pourrait profiter des habitudes déjà acquises pour maximiser la performance de collecte.

Au niveau du réemploi et dans un souci d'efficacité, il serait intéressant de séparer le flux provenant des particuliers de celui provenant des entreprises. Le flux provenant des entreprises, de meilleure qualité et plus homogène, serait dirigé vers les filières de réemploi alors que le flux des particuliers serait dirigé exclusivement vers le recyclage matières et éventuellement le recyclage pièces. Cela permettrait de minimiser les efforts pour le réemploi, le matériel issu du flux des particuliers présentant peu d'intérêt en la matière, de simplifier les opérations pour le flux des particuliers en évitant des tris inutiles et de permettre de consolider le flux de matière destinée au recyclage. Ainsi, de plus grandes quantités de matières pour le recyclage seraient disponibles pour l'industrie, ce qui rentabiliserait les équipements.

Au niveau du recyclage, il faut poursuivre les recherches pour trouver des débouchés aux matières problématiques en particulier les plastiques avec retardateurs de flamme et le verre dopé au plomb. Dans ce dernier cas, la situation semble relativement problématique

puisque le principal débouché actuel, soit la fabrication de tubes cathodiques à partir de verre recyclé, est en baisse significative.

Au niveau de la réduction à la source, le Québec devrait suivre l'Union européenne et imposer l'importation de produits conformes aux directives RoHS. Ainsi, le Québec serait en mesure de bénéficier des standards que l'Union européenne est en mesure d'imposer aux producteurs à cause de son important poids commercial.

CONCLUSION

Dans les pays développés comme la France et le Québec, l'ordinateur est devenu un objet d'utilisation quotidienne et de consommation courante. Année après année, la quantité d'équipements en fin de vie augmente et la problématique liée à leur traitement prend de l'ampleur.

Cet essai identifie les principales caractéristiques des modes de gestion en place au Québec et en France et leur performance globale. La comparaison des systèmes en place dans chacun des pays permet d'identifier les conditions gagnantes pour optimiser les processus en place.

En matière de mise en valeur des déchets électroniques, il convient d'évaluer la performance par le respect du principe des 3 RV-E et l'efficacité de la collecte des équipements, mais également par le biais de critères plus spécifiques à la nature des déchets électroniques, soit le contrôle des matières dangereuses qu'ils contiennent, l'adaptabilité des modes de gestion proposés aux futurs grands générateurs de déchets électroniques (les économies en émergence), la pression exercée sur les producteurs pour concevoir des produits à faible impact environnemental ou le coût global du processus de traitement.

Limiter les matières dangereuses contenues dans les équipements par la réglementation ou la normalisation constitue la principale recommandation à mettre en œuvre. Les méthodes plus ou moins coercitives pour parvenir à cet objectif doivent être adaptées en fonction de l'influence économique du pays par rapport aux producteurs d'équipements. Ainsi, la France dans le cadre des règles communes du marché européen est en mesure d'imposer des contraintes sévères aux producteurs.

Il convient également de privilégier le réemploi local des équipements. Compte tenu de l'évolution très rapide des performances des équipements et de la diversité des utilisateurs, un marché important existe pour le matériel remis à neuf, permettant ainsi de donner une seconde vie aux équipements et de limiter la production d'équipements neufs. Afin d'optimiser la filière du réemploi, certaines améliorations peuvent être mises en œuvre en

matière de récupération, par exemple en ciblant certains parcs corporatifs d'équipements à fort potentiel et en assurant l'intégrité des appareils pendant leur manipulation.

En France comme au Québec, la responsabilité élargie des producteurs est maintenant traduite dans la réglementation et ce principe sert de base pour l'ensemble du système de récupération et de valorisation des déchets électroniques. La performance plus élevée de la France en matière de récupération comparativement au Québec s'explique par une réglementation mise en application plus tôt, à partir de 2006. La mise en place de la réglementation au Québec pour l'année 2012 permet d'espérer une amélioration importante des taux de récupération dans les prochaines années.

Enfin, la location des équipements reste une avenue à explorer et à développer puisqu'elle permet de garder les équipements sous le contrôle de grands propriétaires (locateur ou constructeurs) et donc de simplifier les opérations de collecte. Dans cette optique, l'informatique pourrait évoluer vers une économie de service et l'utilisateur se verrait alors offrir des services d'impression, de connexion à l'internet et d'utilisation de logiciels.

LISTE DES RÉFÉRENCES

- ADEME (2008). Etat de l'art des technologies de recyclage de certains DEEE : PAM, tubes cathodiques, cartes et composants électroniques. In ADEME. *Site Web de l'ADEME*, [En ligne]. <http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&m=3&id=59185&p1=02&p2=05&ref=17597> (Page consultée le 17 aout 2011).
- ADEME (2010). Rapport annuel : équipements électriques et électroniques (année 2009). In ADEME. *Site Web de l'ADEME*, [En ligne]. <http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&m=3&id=73930&p1=00&p2=05&ref=17597> (Page consultée le 7 aout 2011).
- Anovo (2011). *Groupe Anovo - page d'accueil*, [En ligne] <http://www.anovo.com/fr> (Page consultée le 17 aout 2011)
- Bailleul, J. (2010). Rapport Le réemploi informatique ?. In Ordi 2.0. *Site Web de Ordi 2.0*, [En ligne]. <http://www.ordi2-0.fr/spip.php?article305> (Page consultée le 7 aout 2011).
- Basel Action Network et Silicon Valley Toxics Coalition (2002). Exporting harm, the High-Tech trashing of Asia. In Basel Action Network. *Site Web de Basel Action Network*, [En ligne]. <http://ban.org/E-waste/technotrashfinalcomp.pdf> (Page consultée le 10 septembre 2011).
- Bourguignat, F. (2008). Le réemploi du matériel informatique. In Observatoire des Territoires Numériques. *Site Web de l'Observatoire des Territoires Numériques*, [En ligne]. <http://www.oten.fr/?Le-reemploi-du-materiel> (Page consultée le 4 septembre 2011).
- Bourque, C. (2009). Liste partielle des programmes privés de collecte d'équipements électroniques. In Recyc-Québec. *Site Web de Recyc-Québec*, [En ligne]. <http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/Upload/Publications/Liste-collecte-Tic.pdf> (Page consultée le 12 aout 2011).
- Breuil, H., Burette, D., Flury-Hérard, B., Cueugniet, J., & Vignolles, D. (2008). *Rapport TIC et développement durable*. Paris, La documentation française, 96p.
- CIRAIG et goupe AGEKO (2011). Analyse détaillée : analyse du cycle de vie environnementale et sociale de deux options de gestion du matériel informatique en fin de vie. In Recyc-Québec. *Site Web de Recyc-Québec*, [En ligne]. <http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/Upload/Publications/Pneus/acve/Rap-acve.pdf> (Page consultée le 9 juin 2011).

- CODDE (2008). Analyse du cycle de vie d'un téléphone portable, synthèse. *In* ADEME. *Site Web de l'ADEME*, [En ligne]. <http://www.ademe.fr/internet/telephone-portable/site-web/portable.pdf> (Page consultée le 9 janvier 2011).
- De Cotret, F. (2011). La nouvelle crise canadienne : les déchets électroniques. *In* GaïaPresse. *Site Web de GaïaPresse*, [En ligne]. <http://gaiapresse.ca/nouvelles/la-nouvelle-crise-canadienne-les-dechets-electroniques-31109.html> (Page consultée le 17 août 2011).
- DECISION (2009). World Electronics Industry 2008-2013 : Executive Summary. *In* DECISION. *Site Web de DECISION Études et Conseil*, [En ligne]. http://www.decision.eu/doc/brochures/exec_wei_current.pdf (Page consultée le 1 novembre 2010).
- Délégation aux usages de l'internet. (2009). *Délégation aux usages de l'internet*, [En ligne] <http://delegation.internet.gouv.fr> (Page consultée le 17 août 2011)
- EPEAT (2011). *EPEAT*, [En ligne] <http://www.epeat.net> (Page consultée le 31 juillet 2011)
- Filière des produits des technologies de l'information et des communications (2007). Proposition pour une gestion des résidus de produits de technologies de l'information et des communications au Québec. *In* Recyc-Québec. *Site Web de Recyc-Québec*, [En ligne]. <http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/Upload/Publications/MICI/Rap-TIC-2008.pdf> (Page consultée le 12 août 2011).
- Gouvernement du Québec (2011). Règlement sur la récupération et la valorisation de produits par les entreprises. L.R.Q., c. Q-2, r. 40.1
- Greenpeace. (2010) Make IT green : cloud computing and its contribution to climate change. *In* Greenpeace international. *Site Web de Greenpeace international*, [En ligne]. <http://www.greenpeace.org/international/Global/international/planet-2/report/2010/3/make-it-green-cloud-computing.pdf> (Page consultée le 27 juillet 2011).
- Industrie Canada (2011). *Ordinateurs pour les écoles - Page d'accueil*, [En ligne] <http://www.ic.gc.ca/eic/site/cfs-ope.nsf/fra/accueil> (Page consultée le 17 août 2011)
- INSEE (2010). Équipement des ménages en multimédia selon la catégorie socioprofessionnelle (données 2008). *In* INSEE. *Site Web de l'INSEE*, [En ligne]. http://www.insee.fr/fr/themes/tableau.asp?reg_id=0&ref_id=NATnon05140 (Page consultée le 26 octobre 2010).
- James, O. (2009). Pénurie de terres rares à l'horizon. *In* L'usine nouvelle. *Site Web de l'usine nouvelle*, [En ligne]. <http://www.usinenouvelle.com/article/penurie-de-terres-rares-a-l-horizon.N117572> (Page consultée le 2 septembre 2011).

- Le Foll, M. (2010). Synthèse des résultats d'ACV de PC fixes. In *Écoinfo. Site Web de Écoinfo*, [En ligne]. <http://www.ecoinfo.cnrs.fr/spip.php?article161> (Page consultée le 6 juin 2011).
- Leblanc, A. (2005). Guide sur le fonctionnement et l'optimisation des écocentres. In *Recyc-Québec. Site Web de Recyc-Québec*, [En ligne]. http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/upload/Publications/guide_sur_le_fonctionnement_et_loptimis.pdf (Page consultée le 5 septembre 2011).
- MDDEP (2011a). Politique québécoise de gestion des matières résiduelles. In *MDDEP. Site Web du MDDEP*, [En ligne]. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/pgmr/presentation.pdf> (Page consultée le 1 juillet 2011).
- MDDEP (2011b). Plan d'action 2010-2015 de la Politique québécoise de gestion des matières résiduelles. In *MDDEP. Site Web du MDDEP*, [En ligne]. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/pgmr/plan-action.pdf> (Page consultée le 1 juillet 2011).
- Meadows, D., Randers, J., & Meadows, D. (2004). *Limits to growth : the 30 year update*. Chelsea, Chelsea Green Publishing, 398 p.
- Office de l'efficacité énergétique (2011). *Spécificités techniques Energy Star pour les ordinateurs Critères d'admissibilité version 5.2*. In Office de l'efficacité énergétique. *Site Web de l'office de l'efficacité énergétique*, [En ligne]. <http://oee.nrcan.gc.ca/residentiel/entreprises/fabricants/specifications/pdf/computer-v5-2-f.pdf> (Page consultée le 31 juillet 2011).
- Ordi 2.0 (2011a). *Ordi 2.0*, [En ligne] <http://www.ordi2-0.fr> (Page consultée le 17 aout 2011)
- Ordi 2.0 (2011b). Liste des organismes qui acceptent des dons d'ordinateurs. In *Ordi 2.0. Site Web de Ordi 2.0*, [En ligne]. <http://www.ordi2-0.fr/spip.php?rubrique17> (Page consultée le 4 septembre 2011).
- Ordi 2.0 (2011c). Annuaire des reconditionneurs. In *Ordi 2.0. Site Web de Ordi 2.0*, [En ligne]. <http://www.ordi2-0.fr/spip.php?rubrique19> (Page consultée le 4 septembre 2011).
- Ordinateurs pour les écoles du Québec. (2008). *Ordinateurs pour les écoles du Québec*, [En ligne] <http://www.opeq.qc.ca> (Page consultée le 17 aout 2011)
- Paré-Le Gal, A. (2007). La vie en vert : vocation écocentres. In *Télé-Québec. Site Web de Télé-Québec*, [En ligne]. <http://vievenvert.telequebec.tv/occurrence.aspx?id=225> (Page consultée le 5 septembre 2011).

- Pelletier, P. (2010). *ASIE (Géographie humaine et régionale)*. In Encyclopédie Universalis. *Site Web de l'Encyclopédie Universalis*, [En ligne]. <http://www.universalis.fr/encyclopedie/asia-geographie-humaine-et-regionale-espaces-et-societes/> (Page consultée le 2 novembre 2010).
- Potelle, D. (2009). Les résidus des technologies de l'information et des communications. In Recyc-Québec. *Site Web de Recyc-Québec*, [En ligne]. <http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/Upload/Publications/Fiche-tic.pdf> (Page consultée le 4 janvier 2011).
- Programme des Nations Unies pour le Développement (2010). *Indicateurs des objectifs du millénaire pour le développement : données par pays*, [En ligne] <http://unstats.un.org/unsd/mdg/Data.aspx> (Page consultée le 26 octobre 2010)
- Programme des Nations Unies pour l'Environnement (1989). Convention de Bâle sur le contrôle des mouvement transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination. In Secrétariat de la convention de Bâle. *Site Web de la convention de Bâle*, [En ligne]. <http://www.basel.int/Portals/4/Basel%20Convention/docs/text/BaselConventionText-f.pdf> (Page consultée le 3 septembre 2011).
- Programme des Nations Unies pour l'Environnement (1995). Ban Amendment. In Secrétariat de la convention de Bâle. *Site Web de la convention de Bâle*, [En ligne]. <http://www.basel.int/Implementation/LegalMatters/BanAmendment/tabid/1484/Default.aspx> (Page consultée le 10 septembre 2011).
- Recyc-Québec (2009). Bilan 2008 de la gestion des matières résiduelles au Québec. In Recyc-Québec. *Site Web de Recyc-Québec*, [En ligne]. <http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/Upload/Publications/MICI/Rendez-vous2009/Bilan2008.pdf> (Page consultée le 15 novembre 2010).
- Recyc-Québec (2010). Caractérisation des matières résiduelles du secteur résidentiel au Québec 2006-2010 : document complémentaire. In Recyc-Québec. *Site Web de Recyc-Québec*, [En ligne]. http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/Upload/Publications/doc_comp.pdf (Page consultée le 17 aout 2011).
- Recyc-Québec (2011). Répertoire québécois des récupérateurs, recycleurs et valorisateurs. In Recyc-Québec. *Site Web de Recyc-Québec*, [En ligne]. <http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/client/fr/repertoires/rep-recuperateurs.asp> (Page consultée le 4 septembre 2011).
- Renaissance Numérique (2010). Le livre blanc de la commission sur le reconditionnement des ordinateurs. In Renaissance Numérique. *Site Web de Renaissance Numérique*, [En ligne]. <http://renaissancenumerique.typepad.fr/files/lbro---vdef2.1.pdf> (Page consultée le 13 aout 2011).

- Réseau des CFER (2010). *Réseau des CFER*, [En ligne]. <http://www.reseaucfer.ca/> (Page consultée le 4 septembre 2011)
- Rhodain, F., et Fallery, B. (2010). Après la prise de conscience écologique, les T.I.C. en quête de responsabilité sociale. *Systèmes d'Information et Développement Durable : regards croisés et contributions*. 15^{ème} Congrès de l'AIM. La Rochelle. 19-21 mai 2010. Paris, Association Information et Management.
- Roberge, J. (2010). Les piles domestiques. *In Recyc-Québec. Site Web de Recyc-Québec*, [En ligne]. <http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/Upload/Publications/Fiche-piles.pdf> (Page consultée le 4 janvier 2011).
- Secrétariat de la convention de Bâle (2011). Ratifications of the Ban amendment. *In* Secrétariat de la convention de Bâle. *Site Web de la convention de Bâle*, [En ligne]. <http://www.basel.int/ratif/ban-alpha.htm> (Page consultée le 10 septembre 2011).
- Service du répertoire toxicologique (2006). Fiche Signalétique – Le Cadmium. *In* Service du répertoire toxicologique. *Site Web du répertoire toxicologique de la commission de la santé et de la sécurité au travail (CSST)*, [En ligne]. http://www.reptox.csst.qc.ca/Produit.asp?no_produit=4440&nom=Cadmium (Page consultée le 4 janvier 2011).
- Service du répertoire toxicologique (2007). Fiche Signalétique – Le plomb et ses composés inorganiques. *In* Service du répertoire toxicologique. *Site Web du répertoire toxicologique de la commission de la santé et de la sécurité au travail (CSST)*, [En ligne]. http://www.reptox.csst.qc.ca/Produit.asp?no_produit=1614947&nom=Plomb+%5B7439%2D92%2D1%5D+et+ses+compos%E9s+inorganiques+%28exprim%E9e+en+Pb%29 (Page consultée le 4 janvier 2011).
- Service du répertoire toxicologique (2008). Fiche Signalétique – Le Mercure. *In* Service du répertoire toxicologique. *Site Web du répertoire toxicologique de la commission de la santé et de la sécurité au travail (CSST)*, [En ligne]. http://www.reptox.csst.qc.ca/Produit.asp?no_produit=4309&nom=Mercure (Page consultée le 4 janvier 2011).
- Service du répertoire toxicologique (2009a). Fiche Signalétique - L'antimoine. *In* Service du répertoire toxicologique. *Site Web du répertoire toxicologique de la commission de la santé et de la sécurité au travail (CSST)*, [En ligne]. http://www.reptox.csst.qc.ca/Produit.asp?no_produit=737&nom=Antimoine (Page consultée le 4 janvier 2011).
- Service du répertoire toxicologique (2009b). Fiche Signalétique – L'oxyde de chrome VI. *In* Service du répertoire toxicologique. *Site Web du répertoire toxicologique de la commission de la santé et de la sécurité au travail (CSST)*, [En ligne].

http://www.reptox.csst.qc.ca/Produit.asp?no_produit=8706&nom=Oxyde+de+chrome+%28VI%29 (Page consultée le 4 janvier 2011).

Silicon Valley Toxic Coalition (2004). Poison PCs and toxic TVs. *In* Silicon Valley Toxic Coalition. *Site Web de la Silicon Valley Toxic Coalition*, [En ligne]. <http://svtc.org/wp-content/uploads/ppc-ttv1.pdf> (Page consultée le 4 janvier 2011).

Statistique Canada (2010). Les habitudes de dépenses au Canada (2009). *In* Statistique Canada. *Site Web de Statistique Canada*, [En ligne]. <http://www.statcan.gc.ca/pub/62-202-x/62-202-x2008000-fra.pdf> (Page consultée le 24 janvier 2011).

Tjänstemännens Central Organisation (2011). *TCO Certified is more than an eco-label for IT products*, [En ligne]. <http://www.tcodevelopment.com> (Page consultée le 31 juillet 2011)

Union Européenne (1993). Règlement (CEE) n° 259/93 du Conseil, du 1er février 1993, concernant la surveillance et le contrôle des transferts de déchets à l'entrée et à la sortie de la Communauté européenne. *Journal officiel de l'Union européenne 1993*, L 030 p. 1-28.

Union européenne (2003a). Directive 2002/95/CE de l'union européenne et du conseil du 27 janvier 2003 relative à la limitation de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques. *journal officiel de l'Union européenne 2003*, L17 p.19-23.

Union Européenne (2003b). Directive 2002/96/CE du parlement européen et du conseil du 27 janvier 2003 relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE). *Journal officiel de l'union européenne 2003*, L 37 p. 24-38.

Union européenne (2009). Décision 2009/300/CE de la commission du 12 mars 2009 établissant les critères écologiques révisés pour l'attribution du label écologique communautaire aux téléviseurs. *Journal officiel de l'union européenne 2009*, L 82 p. 3-8.

Union européenne (2011a). Directive 2011/65/UE du parlement européen et du conseil du 8 juin 2011 relative à la limitation de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques. *Journal officiel de l'union européenne*, pp. L 174 p. 88-110.

Union européenne (2011b). Décision 2011/337/CE de la commission établissant les critères écologiques pour l'attribution du label écologique de l'Union européenne aux ordinateurs personnels. *Journal officiel de l'union européenne 2011*, L 151 p. 5-14.

Union européenne (2011c). Décision 2011/330/CE de la commission du 6 juin 2011 établissant les critères écologiques pour l'attribution du label écologique de l'Union

européenne aux ordinateurs portables. *Journal officiel de l'union européenne 2011*, L 148 p. 5-12.

Xerox Corporation (2011). Xerox 2010 annual report. In Xerox Corporation. *Site Web de Xerox Corporation*, [En ligne]. http://www.xerox.com/annual-report-2010/pdfs/2010_Annual_Report.pdf (Page consultée le 3 septembre 2011).