

Caractérisation quantitative des flux nationaux et transfrontaliers de produits électroniques usagés

Étude de cas sur les ordinateurs et les écrans usagés
en Amérique du Nord



Commission de coopération environnementale



Pour citer cette publication, prière d'utiliser l'énoncé suivant :

CCE. 2016. *Caractérisation quantitative des flux nationaux et transfrontaliers de produits électroniques usagés. Étude de cas sur les ordinateurs et les écrans usagés en Amérique du Nord*. Montréal, Canada. Commission de coopération environnementale. 130 pp.

Le présent document a été rédigé par T. Reed Miller, Jeremy Gregory, Huabo Duan et Randolph Kirchain, assistés de Jason Linnell, Ramzy Kahhat et Eric Williams, en collaboration avec le Massachusetts Institute for Technology's Materials Systems Laboratory, le National Center for Electronics Recycling, la Pontificia Universidad Católica del Peru et le Golisano Institute for Sustainability du Rochester Institute of Technology, pour le compte du Secrétariat de la Commission de coopération environnementale (CCE). La responsabilité de l'information qu'il contient incombe aux auteurs, et cette information ne reflète pas nécessairement les vues de la CCE ni du gouvernement du Canada, du Mexique et des États-Unis.

Ce document peut être reproduit en tout ou en partie sans le consentement préalable du Secrétariat de la CCE, à condition que ce soit à des fins éducatives et non lucratives et que la source soit mentionnée. La CCE souhaiterait néanmoins recevoir un exemplaire de toute publication ou de tout écrit inspiré du présent document.

Sauf indication contraire, le contenu de cette publication est protégé en vertu d'une licence Creative Common : Paternité – Pas d'utilisation commerciale – Pas de modification.

© Commission de coopération environnementale, 2016



Renseignements sur la publication :

Type de publication : rapport de projet

Date de parution : septembre 2016

Langue d'origine : anglais

Processus d'examen et d'assurance de la qualité :
examen final par les Parties : décembre 2015

QA12.17/182

Projet : Plan opérationnel pour 2011 et 2012 / Gestion rationnelle des déchets électroniques en Amérique du Nord

ISBN (versions électroniques):

Français: 978-2-89700-136-0; *english*: 978-2-89700-134-6; *español*: 978-2-89700-135-3

Available in English – Disponible en español

Dépôt légal — *Bibliothèque et Archives nationales du Québec*, 2016

Dépôt légal — *Bibliothèque et Archives Canada*, 2016

Renseignements supplémentaires :

Commission de coopération environnementale

393, rue Saint Jacques Ouest, bureau 200

Montréal (Québec) Canada H2Y 1N9

Tél. : 514 350 4300; téléc. : 514 350 4314

Courriel : <info@cec.org> Site Web : <www.cec.org>

Caractérisation quantitative des flux nationaux et transfrontaliers de produits électroniques usagés

Étude de cas sur les ordinateurs et les écrans usagés
en Amérique du Nord

Principaux auteurs :

T. Reed Miller, Jeremy Gregory, Huabo Duan et Randolph Kirchain



Contributeurs : Jason Linnell, Ramzy Kahhat et Eric Williams





Table des matières

Résumé	1
Remerciements	8
1. Introduction	9
1.1 Précédents travaux	10
1.2 Portée de l'étude	12
1.3 Aperçu comparatif national	13
2. Méthodes	15
2.1 Comparaison des méthodes utilisées	16
2.2 Aperçu des sources de données	19
2.3 Génération de matériel électronique usagé	20
2.4 Collecte	26
2.5 Exportations	31
2.6 Incertitudes	35
3. Résultats	37
3.1 Principales observations	38
3.2 Au Canada	39
3.3 Au Mexique	45
3.4 Aux États-Unis	50
3.5 Comparaison des pays	57
4. Conclusions et recommandations	59
4.1 Conclusions quantitatives	60
4.2 Conclusions méthodologiques	60
4.3 Recommandations	61
5. Bibliographie	62
<hr/>	
Annexes	65
Annexe 1 – Aperçu comparatif national	66
Annexe 2 – Collecte de données sur les modèles nationaux d'utilisation des ordinateurs et de leur gestion de fin de vie	68
Annexe 3 – Génération et collecte de données d'enquête	81
Annexe 4 – Génération de données sur les exportations d'ordinateurs et de produits électroniques connexes : hypothèses et calculs	89
Annexe 5 – Résultats des données sur l'approvisionnement et les exportations d'ordinateurs et de produits électroniques connexes	95

Liste des tableaux

Tableau ES-1 : Sources d'incertitude dans les estimations	3
Tableau ES-2 : Quantité d'ordinateurs et d'écrans usagés exportés vers cinq principales destinations en 2010, en appliquant les méthodes d'exportation NVEM et doc. publiée fondées sur la MHCDOPC	6
Tableau ES-3 : Poids des ordinateurs et des écrans usagés exportés vers cinq principales destinations en 2010, en appliquant les méthodes d'exportation NVEM et doc. publiée fondées sur la MHCDOPC	6
Tableau 1 : Matrice des méthodes quantitatives en fonction de l'effort requis et de la qualité de l'information obtenue	11
Tableau 2 : Sommaire comparatif des méthodes utilisées	
Tableau 3 : Détails des enquêtes	19
Tableau 4 : Sources de données de vente	19
Tableau 5 : Poids unitaire des produits électroniques usagés	20
Tableau 6 : Sources des données commerciales	20
Tableau 7 : Comparaison, dans le cadre de trois scénarios, du chemin pris par les produits en fin de vie tel que l'a prévu leur utilisateur et du chemin qu'ils ont réellement pris	28
Tableau 8 : Codes d'exportation par produit	31
Tableau 9 : Disponibilité des données quantitatives dans les données commerciales canadiennes	33
Tableau 10 : Sources d'incertitudes dans les estimations	36
Tableau 11 : Taille de l'échantillon et niveau de confiance à l'égard des répondants par région géographique au Mexique	71
Tableau 12 : Déclaration de panne, de génération et de collecte par type de mise au rebut	81
Tableau 13 : Paramètres de la répartition de Weibull donnant la durée moyenne de la période de propriété (λ)	85
Tableau 14 : Classification des types de mise au rebut dans les secteurs public et privé	87
Tableau 15 : Aperçu des facteurs d'échelle de 2010 par pays et par secteur	87
Tableau 16 : Facteurs d'échelle relatifs aux produits ayant servi à obtenir l'ensemble des facteurs moyens par pays et par secteur en 2010	88
Tableau 17 : Symboles et termes figurant dans les données sur les exportations commerciales	91
Tableau 18 : Ensembles de données utilisés pour estimer les exportations américaines	91
Tableau 19 : Exemple des résultats approximatifs obtenus à partir des données portuaires sur les exportations d'ordinateurs portables américaines vers l'Argentine en 2010	93
Tableau 20 : Quantités d'ordinateurs et d'écrans générés, collectés et exportés au Canada en 2010, en moyenne et avec les limites minimales et maximales de l'intervalle de confiance de 95 %	95
Tableau 21 : Poids des ordinateurs et des écrans générés, collectés et exportés au Canada en 2010, en moyenne et avec les limites minimales et maximales de l'intervalle de confiance de 95 %	96
Tableau 22 : Les 20 principaux pays destinataires des ordinateurs et des écrans usagés canadiens	97
Tableau 23 : Les 19 principaux pays destinataires des ordinateurs et des écrans usagés canadiens	97
Tableau 24 : Quantités d'ordinateurs et d'écrans générés, collectés et exportés au Canada en 2010, en moyenne et avec les limites minimales et maximales de l'intervalle de confiance de 95 %	98
Tableau 25 : Quantification des flux canadiens en appliquant la méthode du bilan massique	98
Tableau 26 : Poids des ordinateurs et des écrans générés, collectés et exportés au Canada en 2010, en moyenne et avec les limites minimales et maximales de l'intervalle de confiance de 95 %	100
Tableau 27 : Quantités d'ordinateurs et d'écrans générés, collectés et exportés au Mexique en 2010, en moyenne et avec les limites minimales et maximales de l'intervalle de confiance de 95 %	101
Tableau 28 : Poids des ordinateurs et des écrans générés, collectés et exportés au Mexique en 2010, en moyenne et avec les limites minimales et maximales de l'intervalle de confiance de 95 %	102
Tableau 29 : Les 28 principaux pays destinataires des ordinateurs et des écrans usagés mexicains, en quantités moyennes exportées et avec une fourchette de seuils obtenus en fonction de chaque méthode	103
Tableau 30 : Les 27 principaux pays destinataires des ordinateurs et des écrans usagés mexicains, en quantités moyennes exportées et avec une fourchette de seuils obtenus en fonction de chaque méthode	104
Tableau 31 : Quantités d'ordinateurs et d'écrans générés, collectés et exportés au Mexique en 2010, en moyenne et avec les limites minimales et maximales de l'intervalle de confiance de 95 %	105
Tableau 32 : Quantification des flux mexicains, en milliers d'unités, en appliquant la méthode du bilan massique	106
Tableau 33 : Poids des ordinateurs et des écrans générés, collectés et exportés au Mexique en 2010, en moyenne et avec les limites minimales et maximales de l'intervalle de confiance de 95 %	108
Tableau 34 : Quantités d'ordinateurs et d'écrans générés, collectés et exportés aux États-Unis en 2010, en moyenne et avec les limites minimales et maximales de l'intervalle de confiance de 95 %	109
Tableau 35 : Poids des ordinateurs et des écrans générés, collectés et exportés aux États-Unis en 2010, en moyenne et avec les limites minimales et maximales de l'intervalle de confiance de 95 %	110
Tableau 36 : Les 100 principaux pays destinataires des ordinateurs et des écrans usagés américains	111
Tableau 37 : Les 90 principaux pays destinataires des ordinateurs et des écrans usagés américains	113

Tableau 38 : Quantités d'ordinateurs et d'écrans générés, collectés et exportés aux États-Unis en 2010, en moyenne et avec les limites minimales et maximales de l'intervalle de confiance de 95 %	115
Tableau 39 : Quantification des flux américains, en milliers d'unités, en appliquant la méthode du bilan massique	116
Tableau 40 : Poids des ordinateurs et des écrans générés, collectés et exportés aux États-Unis en 2010, en moyenne et avec les limites minimales et maximales de l'intervalle de confiance de 95 %	118

Liste des figures

Figure ES-1 : Analyse par pays du flux de matériel exporté	2
Figure ES-2 : Comparaison, par produit et par méthode, de la quantité et du poids d'ordinateurs et d'écrans générés, collectés et exportés d'un pays à un autre	4
Figure ES-3 : Proportions à chaque étape en aval comparativement à chaque étape en amont, et comparaison des proportions collectées et générées et exportées et collectées par pays, par produit et par méthode	5
Figure 1 : Hiérarchie des méthodes de caractérisation quantitative	10
Figure 2 : Comparaison des ventes d'ordinateurs et d'écrans neufs et usagés	13
Figure 3 : Comparaison de la démographie au fil du temps	13
Figure 4 : Comparaison du revenu national brut	13
Figure 5 : Comparaison du revenu national brut par habitant	14
Figure 6 : Balance commerciale relative aux ordinateurs et aux écrans neufs et usagés	14
Figure 7 : Analyse des flux de matériel exportés par un pays	17
Figure 8 : Répartition de la durée de la période de propriété (λ) de chaque produit au Canada, au Mexique et aux États-Unis	22
Figure 9 : Étapes méthodologiques d'établissement d'un diagnostic national des déchets électroniques au Mexique	25
Figure 10 : Tendances dans le poids de certains produits électroniques grand public générés, mis au rebut et récupérés	26
Figure 11 : Estimation des taux moyens de collecte de produits électroniques usagés dans le secteur résidentiel au Canada	26
Figure 12 : Estimation des taux moyens de collecte de produits électroniques usagés dans le secteur résidentiel au Mexique	27
Figure 13 : Estimation des taux moyens de collecte de produits électroniques usagés dans le secteur résidentiel aux États-Unis en fonction de cinq enquêtes	27
Figure 14 : Chemins pris par les produits électroniques usagés en fin de vie au Mexique	30
Figure 15 : Détermination d'une valeur seuil pour les produits usagés et neufs en recourant à des données hypothétiques	32
Figure 16 : Exemple d'histogramme comportant une plage de seuils pour les exportations que les États-Unis ont effectuées vers la tranche supérieure des pays à revenu moyen d'Amérique latine et des Caraïbes	32
Figure 17 : Valeurs seuils de chacun des produits usagés et neufs établies en recourant aux seuils tirés des données publiées	32
Figure 18 : Comparaison de la génération et de la collecte au Canada dans le secteur résidentiel et les secteurs public et privé en fonction de la quantité de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée	40
Figure 19 : Comparaison de la génération et de la collecte au Canada dans le secteur résidentiel et les secteurs public et privé en fonction du poids de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée	40
Figure 20 : Comparaison de la génération et de la collecte au Canada en fonction du poids de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée	41
Figure 21 : Comparaison de la génération, de la collecte et de l'exportation au Canada dans le secteur résidentiel et les secteurs public et privé en fonction de la quantité de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée	41
Figure 22 : Comparaison de la génération, de la collecte et de l'exportation au Canada dans le secteur résidentiel et les secteurs public et privé en fonction du poids de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée	42
Figure 23 : Proportions canadiennes à chaque étape en aval comparativement à chaque étape en amont, et comparaison des proportions collectées et générées à celles exportées et collectées en fonction de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée	42
Figure 24 : Comparaison des exportations canadiennes de produits électroniques à destination des groupes de pays selon leur revenu et des régions, et en fonction de chaque produit	43
Figure 25 : Comparaison des exportations canadiennes d'ordinateurs et d'écrans usagés vers des groupes de pays selon leur revenu et des régions	44
Figure 26 : Les 20 principaux pays destinataires des exportations canadiennes d'ordinateurs et d'écrans usagés	44
Figure 27 : Comparaison de la génération et de la collecte au Mexique dans le secteur résidentiel et les secteurs public et privé en fonction de la quantité de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée	45
Figure 28 : Comparaison de la génération et de la collecte au Mexique dans le secteur résidentiel et les secteurs public et privé en fonction du poids de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée	46
Figure 29 : Comparaison de la génération et de la collecte au Mexique, en fonction du poids de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée	46
Figure 30 : Comparaison de la génération, de la collecte et de l'exportation au Mexique dans le secteur résidentiel et les secteurs public et privé en fonction de la quantité de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée	47

Figure 31 : Comparaison de la génération, de la collecte et de l'exportation au Mexique dans le secteur résidentiel et les secteurs public et privé en fonction du poids de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée	47
Figure 32 : Proportions mexicaines à chaque étape en aval comparativement à chaque étape en amont, et comparaison des proportions collectées et générées à celles exportées et collectées en fonction de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée	48
Figure 33 : Comparaison des exportations mexicaines de produits électroniques à destination des groupes de pays selon leur revenu et des régions, et en fonction de chaque produit	48
Figure 34 : Comparaison des exportations mexicaines d'ordinateurs et d'écrans usagés vers des groupes de pays selon leur revenu et des régions	49
Figure 35 : Les 20 principaux pays destinataires des exportations mexicaines d'ordinateurs et d'écrans usagés déterminés en appliquant la MHCDOPC et en triant les seuils avec la NVEM	49
Figure 36 : Les 20 principaux pays destinataires des exportations mexicaines d'ordinateurs et d'écrans usagés déterminés en appliquant la MHCDOPC et en triant les seuils avec la NVEM	50
Figure 37 : Comparaison de la génération et de la collecte aux États-Unis dans le secteur résidentiel et les secteurs public et privé en fonction de la quantité de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée	51
Figure 38 : Comparaison de la génération et de la collecte aux États-Unis dans le secteur résidentiel et les secteurs public et privé en fonction du poids de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée	52
Figure 39 : Comparaison de la génération, de la collecte et de l'élimination dans les lieux d'enfouissement aux États-Unis en fonction de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée	52
Figure 40 : Comparaison de la génération, de la collecte et de l'élimination dans les lieux d'enfouissement aux États-Unis en fonction du poids de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée	53
Figure 41 : Proportion de la quantité collectée dans le secteur résidentiel et dans les secteurs public et privé en fonction de la méthode utilisée	53
Figure 42 : Comparaison de la génération, de la collecte et de l'exportation aux États-Unis dans le secteur résidentiel et les secteurs public et privé en fonction de la quantité de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée	54
Figure 43 : Comparaison de la génération, de la collecte et de l'exportation aux États-Unis dans le secteur résidentiel et les secteurs public et privé en fonction du poids de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée	54
Figure 44 : Proportions américaines à chaque étape en aval comparativement à chaque étape en amont, et comparaison des proportions collectées et générées à celles exportées et collectées en fonction de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée	55
Figure 45 : Comparaison des exportations américaines de produits électroniques à destination des groupes de pays selon leur revenu et des régions et en fonction de chaque produit	55
Figure 46 : Comparaison des exportations américaines d'ordinateurs et d'écrans usagés à destination des groupes de pays selon leur revenu et des régions	56
Figure 47 : Les 20 principaux pays destinataires des exportations américaines d'ordinateurs et d'écrans usagés déterminés en appliquant la MHCDOPC et en triant les seuils avec la NVEM	56
Figure 48 : Comparaison des quantités exportées par les États-Unis en fonction de chaque produit et de la méthode utilisée dans la présente étude avec les résultats de l'ITC	57
Figure 49 : Comparaison des quantités générées, collectées et exportées par chaque pays en fonction de chaque produit et de la méthode utilisée	57
Figure 50 : Comparaison de la génération, de la collecte et de l'exportation dans chaque pays en fonction du poids de chaque produit et de la méthode utilisée	58
Figure 51 : Comparaison des ventes par pays et par produit	66
Figure 52 : Comparaison des ventes de produits neufs par pays et par produit	66
Figure 53 : Balance commerciale des ordinateurs et des écrans neufs et usagés	67
Figure 54 : Comparaison des niveaux socioéconomiques au Mexique avec ceux des répondants aux deux enquêtes sur lesquelles se fonde la présente étude	71
Figure 55 : Degré de précision des répondants américains dans l'estimation de l'âge et de la durée d'utilisation des ordinateurs portables dans leur foyer	82
Figure 56 : Courbe de survie de Kaplan-Meier relative aux ordinateurs portables dans le secteur résidentiel américain	82
Figure 57 : Analyse de la régression de Weibull avec le logiciel Stata® relativement aux ordinateurs portables dans le secteur résidentiel américain	82
Figure 58 : Graphique du modèle de régression de Weibull relativement aux ordinateurs portables dans le secteur résidentiel américain	83
Figure 59 : Comparaison des courbes de K-M avec les courbes de régression de Weibull situant les moyennes et les limites inférieures et supérieures de l'intervalle de confiance de 95 % en ce qui concerne les ordinateurs portables dans le secteur résidentiel américain	83
Figure 60 : Répartition de la durée de la période de propriété λ des ordinateurs portables dans le secteur résidentiel américain	83
Figure 61 : Histogramme et répartitions lognormales ajustées de la durée de la période (δ) pendant laquelle le propriétaire d'un ordinateur portable le conserve jusqu'à sa réutilisation informelle dans le secteur résidentiel américain	84
Figure 62 : Répartitions de la durée de la période de propriété (λ) des ordinateurs aux États-Unis (échantillon aléatoire)	84

Sigles et abréviations

Sigles et abréviations	Description
ACL	Affichage à cristaux liquides
CAF	Coût, assurance et fret
CCE	Commission de coopération environnementale
Ciprec	<i>Centro Interdisciplinario para la Prevención de la Contaminación</i> (Centre interdisciplinaire de prévention de la pollution)
Codes d'exportation	Codes d'exportation du Système harmonisé de désignation et de codification des marchandises
Convention de Bâle	<i>Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontaliers de déchets dangereux et de leur élimination</i>
Doc. publiée	Méthode se fondant sur la documentation publiée
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i> (Agence de protection de l'environnement) des États-Unis
FAB	Franco à bord
Fin de vie	Fin de vie utile d'un produit
ITC	<i>International Trade Commission</i> (Commission du commerce international des États-Unis)
MHCDOPC	Méthode hybride de collecte de données sur l'obsolescence des produits commerciaux
NVEM	<i>Neighborhood Valley Emphasis Method</i> (méthode algorithmique de mise en relief des creux de voisinage [dans un histogramme])
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
ORCR	<i>Office of Resource Conservation and Recovery</i> (Bureau de la conservation et de la récupération des ressources) de l'EPA
OSW	<i>Office of Solid Waste</i> (Service des déchets solides) de l'EPA
q	Quantité exportée
Sicex	Base de données commerciales en ligne (sicex.com)
StatCan	Statistique Canada
u	Valeur unitaire d'un produit exporté
v	Valeur d'une exportation
w	Poids d'une exportation



Résumé

Le présent rapport expose la portée, les méthodes, les données et les conclusions d'une analyse exhaustive des mouvements transfrontaliers de produits électroniques usagés entre les pays nord-américains, soit le Canada, le Mexique et les États-Unis. Il a été établi pour le compte de la Commission de coopération environnementale (CCE) avec le soutien financier des trois pays, et fait partie d'une démarche comportant plusieurs phases et visant à connaître le flux d'ordinateurs et d'écrans que l'Amérique du Nord expédie vers le reste du monde.

Précédents travaux : La première phase de ces travaux a consisté à déterminer la faisabilité d'activités de modélisation, alors que la deuxième a donné lieu à l'élaboration et à la validation d'une méthode d'établissement du bilan massique. La phase en cours est destinée à appliquer cette méthode ainsi qu'une méthode hybride de collecte de données sur l'obsolescence des produits commerciaux (MHCDOPC) élaborée dans le cadre d'une étude menée en 2013 dans le cadre de l'initiative *Solving the e-Waste Problem* (StEP, Résolution des problèmes que posent les déchets électroniques).

Portée : Les travaux réalisés en 2010 ont eu trait aux ordinateurs de bureau et aux ordinateurs portables, de même qu'aux écrans plats, mais la CCE a plus particulièrement voulu mener une étude des flux de produits électroniques usagés entre les trois pays ainsi qu'à destination d'autres pays à l'échelle mondiale. En plus des flux exportés, le présent rapport évalue la génération et la collecte de ces produits usagés dans les trois pays, ce qui permet de comparer plus adéquatement ceux qui sont exportés. En raison de moyens limités, divers types de produits et de déchets électroniques ne sont pas visés par la présente étude, dont les circuits imprimés entiers ou broyés, les imprimantes, le verre transformé des écrans cathodiques, les serveurs, les appareils de jeu, les câbles, les appareils d'imagerie numérique et le matériel audiovisuel.

Bien que l'expression « produits électroniques usagés » fasse largement référence aux produits dont la fin de vie utile survient avec leur premier propriétaire, l'expression « déchets électroniques » est devenue courante et caractérise un sous-ensemble de produits électroniques que l'on ne peut réutiliser, réparer ou reconditionner afin de prolonger leur durée de vie utile avec un nouveau propriétaire. Conséquemment, ces déchets électroniques sont soit éliminés soit récupérés pour réutiliser des pièces et des matériaux par démontage ou recyclage. Tous les ans, à l'échelle mondiale, les appareils électroniques s'achètent par millions, mais des millions d'entre eux atteignent la fin de leur vie utile. Bien qu'un certain pourcentage des appareils provenant des résidences, des entreprises et des institutions soit séparé des ordures grâce aux programmes de collecte, la consommation de plus en plus grande de nouveaux produits électroniques à l'échelle mondiale fait en sorte que la quantité de ceux qui sont collectés et leur sous-ensemble de déchets électroniques ne cessent eux aussi d'augmenter.

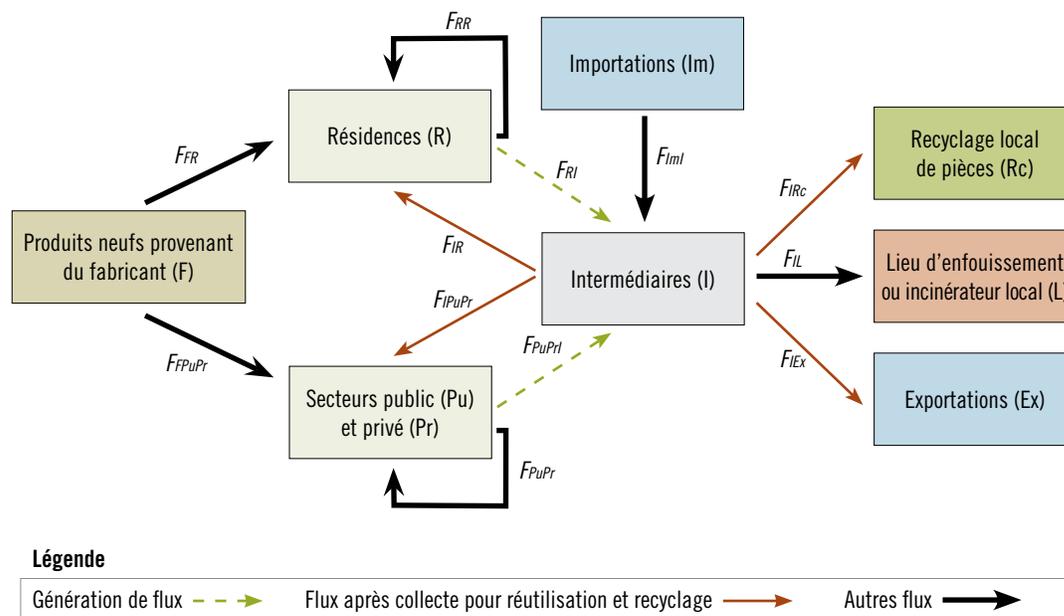
Contexte et limites : Pour le moment, les codes d'exportation du Système harmonisé de désignation et de codification des marchandises servant à connaître l'ampleur du commerce mondial ne font pas de distinction entre les produits électroniques usagés et neufs. Quelques pays, dont le Pérou et le Japon, enregistrent volontairement ces données relativement à leurs importations et exportations. Dans le présent rapport, le flux des exportations de produits électroniques usagés ne donne pas lieu à une distinction en fonction de la manière dont ils sont éliminés. En revanche, le rapport vise le matériel exporté qui est en état de fonctionner et qui est vraisemblablement destiné aux marchés des produits réutilisés, ainsi que le matériel qui n'est pas en état de fonctionner et qui sera démonté, recyclé ou éliminé.

Méthodes : Étant donné le manque de données précises sur les flux nationaux et les exportations de produits électroniques usagés, il a fallu entreprendre deux démarches distinctes pour comparer les résultats obtenus et arriver à établir une fourchette de quantités par voie d'estimation. L'étude a délibérément consisté à tenir compte des incertitudes au cours de cette estimation. La rareté des données a complexifié la détermination exacte de la quantité de tout flux de produits électroniques, et fait en sorte qu'il est important de trouver des réponses en recourant à diverses méthodes afin que les valeurs de ladite fourchette soient vraisemblables. Les simulations obtenues au moyen de la méthode de Monte Carlo ont servi à modéliser l'incertitude dans chaque ensemble de données et à chaque étape. Chacune des milliers de simulations a permis d'obtenir des résultats de façon aléatoire en recourant à une combinaison de valeurs, tout en restant dans les limites d'hypothèses raisonnables pour chaque variable.

La méthode hybride de collecte de données sur l'obsolescence des produits commerciaux (MHCDOPC) permet de quantifier la génération en se servant d'un modèle d'obsolescence de ces produits qui se fonde sur des données d'enquête et des données commerciales, dont la collecte des tendances dans les taux de réponse aux enquêtes, mais aussi sur les exportations à partir de données commerciales détaillées. La méthode d'établissement du bilan massique consiste à produire et à recueillir des données d'enquête extrapolées pour quantifier les flux de produits électroniques, et à évaluer les trois scénarios suivants : utilisation finale prévue, diminution de la réutilisation et accroissement des exportations, afin de déterminer quelle proportion des produits électroniques collectés est subséquemment exportée, et à dresser un bilan de tous les flux avec les exportations. La figure ES-1 illustre les flux de produits électroniques usagés ayant fait l'objet d'une estimation dans le cadre de la présente étude. On les a en outre comparés à des estimations réalisées à l'externe afin de les valider. Les conclusions de cette étude ont correspondu en grande partie aux estimations d'autres études, ce qui donne à penser que les méthodes sont valables.

La MHCDOPC est avantageuse parce que les données commerciales sur tous les types de produits électroniques sont largement disponibles (y compris d'abondantes données historiques); elles sont aussi assez fréquemment mises à jour et donnent un aperçu de la destination des produits. Au nombre des désavantages, il faut compter le fait que les produits

Figure ES-1 : Analyse par pays du flux de matériel exporté



Source : Kahhat et Williams, 2012 (adapté et modifié) [13].

Note : Le cheminement du processus se fait d'un indice à un autre. Par exemple, F_{RI} illustre les flux de produits électroniques du secteur résidentiel (R) vers les intermédiaires (I), et F_{IR} illustre les flux de produits électroniques des intermédiaires (I) vers le secteur résidentiel (R).

électroniques usagés ne faisant pas l'objet de codes commerciaux précis, les exportateurs peuvent se servir de codes qui ne correspondent pas à ceux utilisés dans la présente étude pour caractériser ces exportations*. La méthode du bilan massique permet d'évaluer l'ampleur de plusieurs flux de produits électroniques usagés au moyen d'un nombre restreint de données. Elle ne permet toutefois pas d'évaluer les exportations au moyen de données qui y ont directement trait, ce qui fait qu'il n'est pas possible de connaître leurs pays de destination. L'évaluation des flux à l'aide de ces deux méthodes donne la possibilité de constater à quel point elles diffèrent l'une de l'autre, et d'avoir une idée des seuils minimaux et maximaux de ces flux.

Incertitudes : Tel que cela est mentionné dans la section *Méthodes*, on relève des incertitudes à chaque stade d'une estimation et elles proviennent des sources énumérées dans le tableau ES-1.

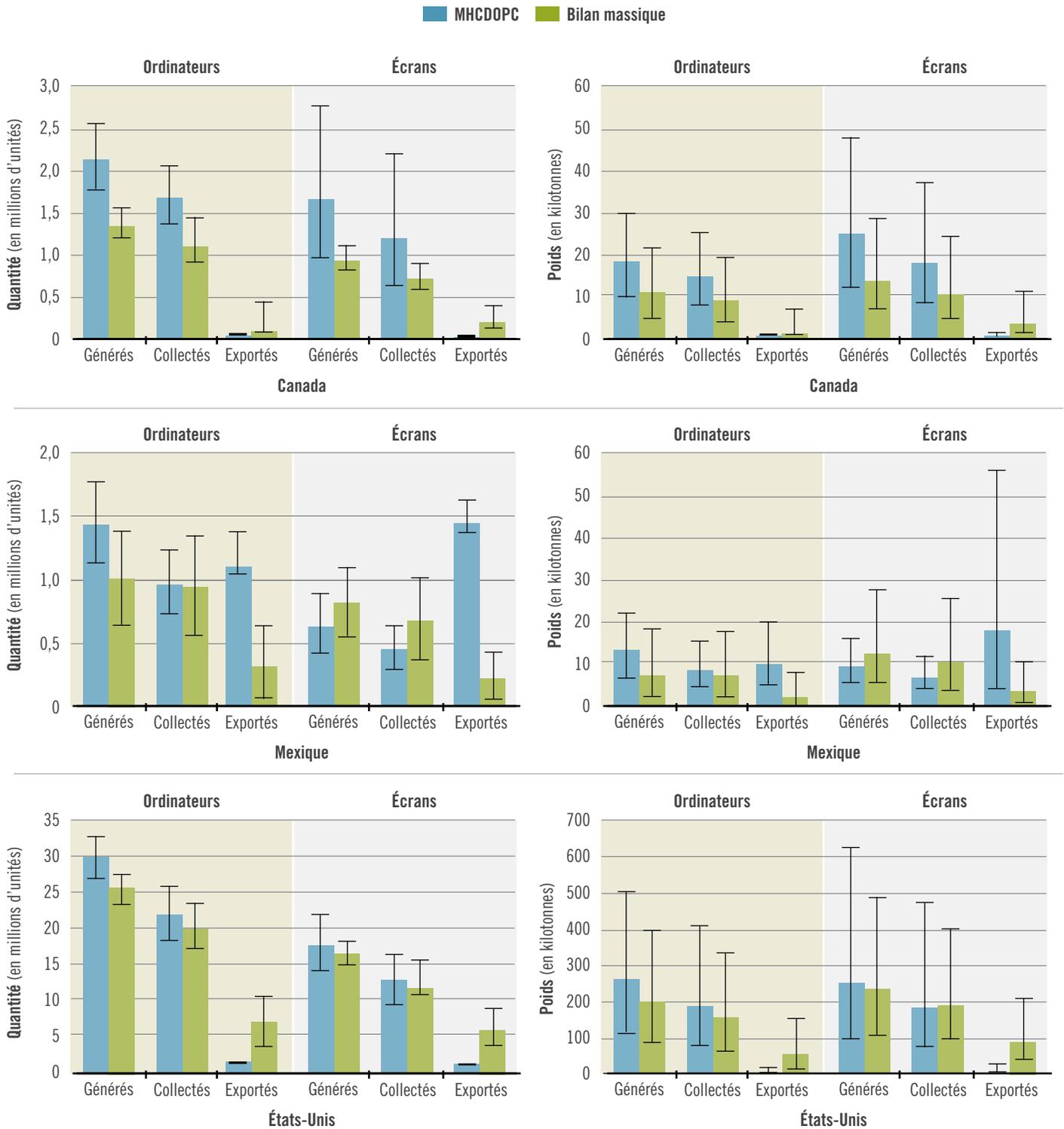
Résultats : La figure ES-2 (voir page suivante) illustre la quantité et le poids des flux d'ordinateurs et d'écrans usagés générés, collectés et exportés par chaque pays, quantité et poids que l'on a obtenus à l'aide des deux méthodes. Par ailleurs, la figure ES-3 (voir page 5) compare les étapes en amont et en aval en ce qui concerne la proportion collectée et générée et ainsi qu'exportée et collectée, et ce, par pays, par produit et par méthode. Étant donné que le poids calculé dans ce rapport consiste à multiplier la quantité par le poids de chaque unité, les proportions ont la même valeur moyenne que la quantité et le poids évalués. Toutefois, les proportions découlant de l'évaluation du poids ont de plus longs intervalles de confiance en raison de l'incertitude que suscite le poids unitaire. Les tableaux ES-2 et ES-3 (voir page 6) font respectivement état de la quantité et du poids des exportations d'ordinateurs et d'écrans usagés des trois pays nord-américains vers cinq principaux pays. Il faut noter qu'il existe deux manières d'appliquer la MHCDOPC afin de différencier les exportations de produits usagés et neufs, à savoir la *Neighborhood Valley Emphasis Method* (NVEM, méthode algorithmique de mise en relief des creux de voisinage [dans un histogramme]) et la documentation publiée (doc. publiée). Les estimations obtenues en appliquant la NVEM aux exportations canadiennes se fondent en partie sur les données commerciales des États-Unis en raison de l'insuffisance des données canadiennes, ce qui a pour conséquence de ne pouvoir estimer les exportations canadiennes vers les États-Unis.

Tableau ES-1 : Sources d'incertitude dans les estimations

Source d'incertitude	Génération	Collecte	Exportation
Exactitude des données d'enquête et de leur extrapolation.	MHCDOPC et bilan massique	MHCDOPC et bilan massique	Bilan massique
Hypothèses concernant les scénarios suivants : utilisation finale prévue, diminution de la réutilisation et accroissement des exportations.	Bilan massique	Bilan massique	Bilan massique
Estimation de la durée de vie utile des produits en fonction des réponses aux enquêtes et de la documentation.	MHCDOPC		
Estimation des taux de collecte en fonction des réponses aux enquêtes et de la documentation.		MHCDOPC	
Exactitude des données sur les ventes de produits commerciaux neufs.	MHCDOPC et bilan massique	MHCDOPC et bilan massique	
Exactitude de l'estimation du poids des produits.	MHCDOPC et bilan massique	MHCDOPC et bilan massique	
Exactitude des données commerciales, dont les codes de produit dont se servent les Exportateurs et la destination finale des produits comparativement à celle qui est déclarée.			MHCDOPC

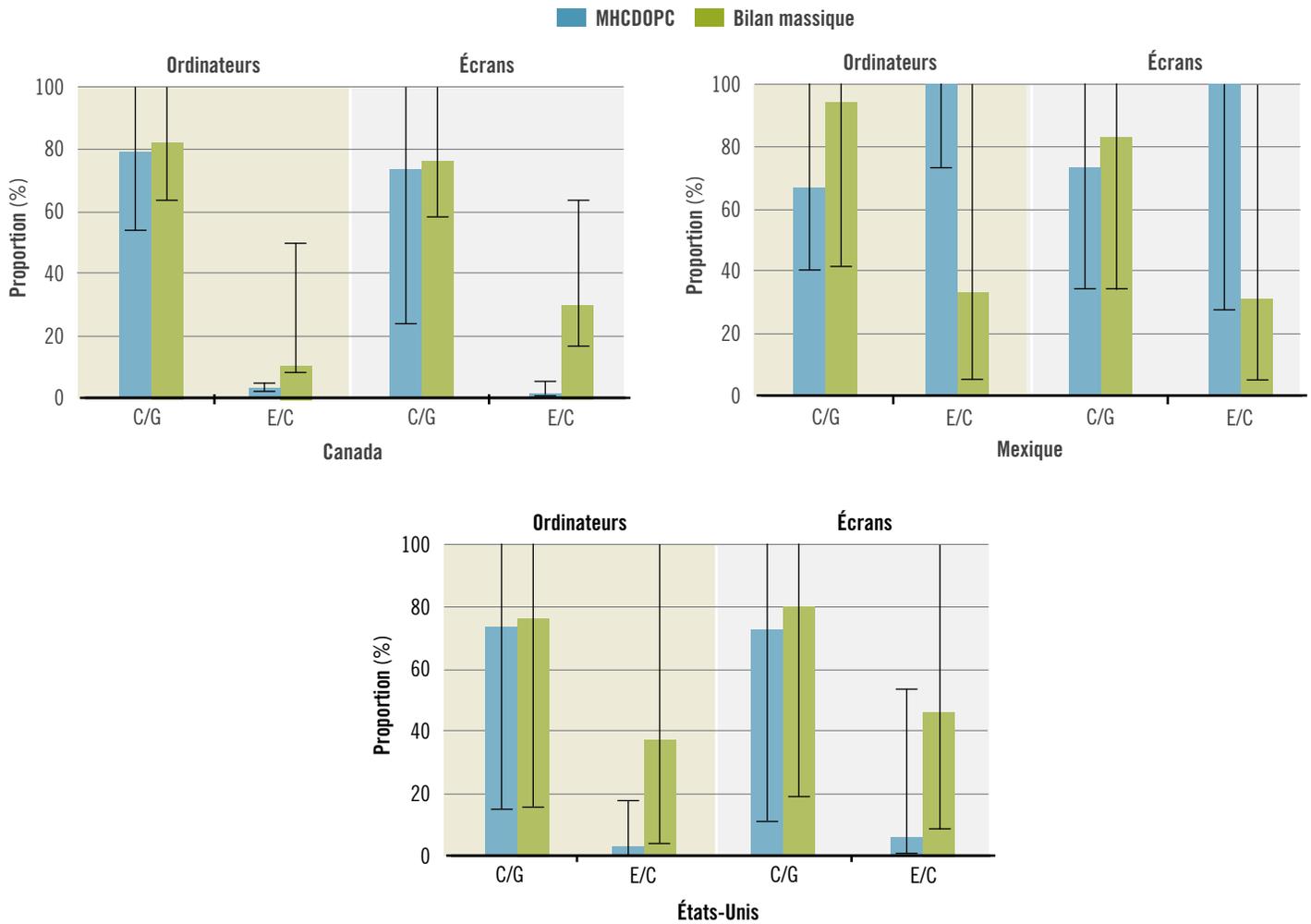
* On doit noter que le *Customs and Border Protection* (Service des douanes et de protection des frontières) des États-Unis gère le *Customs Rulings Online Search System* (CROSS, Système en ligne de recherche de décisions douanières) permettant de trouver les décisions rendues à l'égard des codes de classification des marchandises qui sont commercialisées à l'échelle mondiale. Par ailleurs, la réglementation de l'exportation des tubes cathodiques relève de l'*Environmental Protection Agency* (EPA, Agence de protection de l'environnement) des États-Unis.

Figure ES-2 : Comparaison, par produit et par méthode, de la quantité (à gauche) et du poids (à droite) d'ordinateurs et d'écrans générés, collectés et exportés d'un pays à un autre



Note : En appliquant la MHCDOPC, on a estimé les quantités exportées en recourant à l'une des deux méthodes, la NVEM (*Neighborhood Valley Emphasis Method*, une méthode algorithmique de mise en relief des creux de voisinage). Les colonnes illustrent les valeurs moyennes, et les barres d'erreur représentent les intervalles de confiance de 95 %.

Figure ES-3 : Proportions à chaque étape en aval comparativement à chaque étape en amont, et comparaison des proportions collectées et générées et exportées et collectées par pays, par produit et par méthode



Note : En appliquant la MHCDOPC, on a estimé les quantités exportées en combinant les deux méthodes. Les colonnes illustrent les valeurs moyennes, et les barres d'erreur représentent les intervalles de confiance de 95 % en matière de quantité. Le poids est exprimé par les mêmes valeurs fractionnaires moyennes, mais les intervalles de confiance sont plus longs en raison de l'incertitude à l'égard du poids unitaire.

Tableau ES-2 : Quantité d'ordinateurs et d'écrans usagés exportés vers cinq principales destinations en 2010, en appliquant les méthodes d'exportation NVEM et doc. publiée fondées sur la MHCDOPC (en milliers d'unités)

Pays exportateur	Rang	Pays destinataire	Méthode appliquée aux exportations : NVEM (incertitude moyenne)		Méthode appliquée aux exportations : doc. publiée (incertitude moyenne)	
Canada	1	États-Unis	S.O.	S.O.	25	± 5,2
	2	France	8	Négligeable	8	± 0,3
	3	Italie	8	Négligeable	4	± 3,9
	4	Émirats arabes unis	4	± 1,1	5	± 1,4
	5	Sri Lanka	4	Négligeable	4	Négligeable
Mexique	1	États-Unis	2 151	± 102,9	1 210	± 436,4
	2	Pays-Bas	161	Négligeable	161	Négligeable
	3	Colombie	29	Négligeable	65	± 49,7
	4	Canada	40	± 0,1	11	± 11
	5	Venezuela	23	Négligeable	24	± 24,1
États-Unis	1	Mexique	274	± 3,4	312	± 239,4
	2	Canada	229	± 2,4	180	± 63,9
	3	Hong Kong	91	± 1	162	± 69,7
	4	Émirats arabes unis	80	± 3	119	± 13,3
	5	Liban	114	Négligeable	83	± 23,4

Note : On sait que plusieurs pays destinataires réexportent couramment des produits à l'échelle régionale, notamment Hong Kong, les Émirats arabes unis et le Liban, et qu'ils ne constituent probablement pas des destinations finales.

Tableau ES-3 : Poids des ordinateurs et des écrans usagés exportés vers cinq principales destinations en 2010, en appliquant les méthodes d'exportation NVEM et doc. publiée fondées sur la MHCDOPC (en tonnes métriques)

Pays exportateur	Rang	Pays destinataire	Méthode appliquée aux exportations : NVEM (incertitude moyenne)		Méthode appliquée aux exportations : doc. publiée (incertitude moyenne)	
Canada	1	États-Unis	S.O.	S.O.	156	+ 363 / - 115
	2	Italie	84	+ 102 / - 43	42	+ 100 / - 42
	3	Sri Lanka	59	+ 47 / - 21	59	+ 27 / - 21
	4	Émirats arabes unis	40	+ 138 / - 33	43	+ 113 / - 35
	5	Chili	41	+ 77 / - 25	30	+ 64 / - 18
Mexique	1	États-Unis	23 555	+ 42 243 / - 16 917	12 390	+ 38 069 / - 9 299
	2	Pays-Bas	1 707	+ 1 194 / - 883	1 707	+ 1 194 / - 883
	3	Colombie	270	+ 897 / - 208	710	+ 2 191 / - 645
	4	Canada	496	+ 895 / - 393	137	+ 1 192 / - 136
	5	Venezuela	275	+ 495 / - 217	293	+ 1 226 / - 293
États-Unis	1	Mexique	3 088	+ 7 042 / - 2 192	3 655	+ 13 454 / - 3 158
	2	Canada	2 250	+ 2 743 / - 1 087	2 003	+ 2 377 / - 1 141
	3	Colombie	967	+ 1 936 / - 612	706	+ 1 641 / - 458
	4	Venezuela	940	+ 1 955 / - 623	622	+ 1 657 / - 436
	5	Italie	952	+ 1 154 / - 489	493	+ 1 130 / - 475

Note : On sait que plusieurs pays destinataires réexportent couramment des produits à l'échelle régionale, notamment Hong Kong, les Émirats arabes unis et le Liban, et qu'ils ne constituent probablement pas des destinations finales.

Conclusions : Les deux méthodes, à savoir la MHCDOPC et la méthode du bilan massique, peuvent fournir des fourchettes d'estimations raisonnables en ce qui a trait à la génération et à la collecte de produits électroniques usagés si on les compare aux estimations découlant d'autres études. À quelques exceptions près, les méthodes appliquées dans le cadre de la présente étude semblent raisonnablement illustrer l'éventail d'ordinateurs et d'écrans usagés exportés à partir du Canada, du Mexique et des États-Unis. La juxtaposition de la MHCDOPC et de la méthode du bilan massique s'est avérée utile pour estimer les seuils minimaux et maximaux de la quantité exportée, et la comparaison avec les estimations de collecte permet de valider les chiffres des exportations. Étant donné que la MHCDOPC a recours aux données commerciales, elle offre l'avantage d'avoir un aperçu de la destination de ces exportations. Il faut toutefois noter que la caractérisation des expéditions illicites de matériel électronique ne cadre pas avec la présente étude.

En comparant la génération et la collecte de produits dans les trois pays nord-américains, on note qu'un peu plus d'ordinateurs que d'écrans usagés ont été générés et collectés. Le poids de ces écrans était toutefois supérieur à celui des ordinateurs en raison d'un poids unitaire plus élevé. En comparant également la génération et la collecte d'ordinateurs et d'écrans usagés dans chaque pays, on constate qu'elles sont sensiblement proportionnelles à la population et au revenu par habitant dans chaque pays; les États-Unis comptent, par exemple, la plus forte population et de loin le plus important volume de produits électroniques usagés générés et collectés. Par ailleurs, bien que la population du Mexique soit plus grande que celle du Canada, le revenu par habitant de ce dernier est plus élevé et permet d'y avoir un pouvoir d'achat supérieur, ce qui explique probablement que l'on y trouve la même quantité de matériel usagé.

La quantité et le poids des exportations d'ordinateurs et d'écrans usagés en 2010 à partir du Canada, du Mexique et des États-Unis ont été estimés à l'aide des deux méthodes, la MHCDOPC et la méthode du bilan massique. Elles ont permis d'estimer que le Canada exportait entre 55 000 et 114 000 ordinateurs usagés et entre 22 000 et 218 000 écrans usagés. Tenant seulement compte des résultats du bilan massique pour le Mexique parce que ceux de la MHCDOPC étaient douteux, ce pays a exporté 315 000 ordinateurs usagés et 215 000 écrans usagés. En dernier lieu, une comparaison des résultats des deux méthodes fait en sorte qu'en moyenne les États-Unis ont exporté entre 1 122 000 et 6 992 000 ordinateurs usagés et entre 779 000 et 5 669 000 écrans usagés.

En se fondant à nouveau sur les deux méthodes, la comparaison de la quantité totale (ou du poids total) des exportations d'ordinateurs et d'écrans usagés à la quantité (ou au poids) collectée est en moyenne de 1 à 30 % au Canada et de 3 à 47 % aux États-Unis. En ce qui concerne le Mexique, l'application de la MHCDOPC donne un résultat supérieur à 100 %, mais avec la méthode du bilan massique, on obtient une estimation de 31 à 33 %. Les problèmes connus que posent la surestimation dans les données commerciales mexicaines, et ce, dans toutes les catégories [1], ainsi que la collecte de données sur des marchandises bon marché nouvellement fabriquées peut donner lieu à une surestimation de la proportion d'exportations mexicaines lorsqu'on applique la MHCDOPC. Les autres estimations s'avèrent raisonnables lorsqu'on tient compte d'autres solutions de traitement des produits électroniques usagés sur le plan national, tels que ceux qui sont réutilisés et recyclés.

En appliquant la MHCDOPC, on a constaté que les États-Unis représentaient la principale destination des ordinateurs et des écrans canadiens et mexicains usagés. Au même titre que les pays nord-américains à revenu élevé, dont les États-Unis, figurant sur la liste de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), pour ce qui est du Canada et du Mexique, les pays à revenu moyen et élevé ainsi que les pays européens constituent la deuxième destination la plus populaire de leurs exportations. Il faut noter que les pays destinataires de produits électroniques usagés situés en Asie, en Amérique latine et en Afrique, et qui sont les plus souvent cités, ne figurent pas dans la liste des principaux destinataires. Il est cependant probable que certaines des destinations énumérées précédemment aient un caractère provisoire avant que les produits soient réexpédiés vers un pays de destination finale. Par exemple, plusieurs des pays figurant parmi les cinq principales destinations des États-Unis en fonction de la quantité, à savoir Hong Kong, les Émirats arabes unis et le Liban, sont connus comme étant des centres d'échanges commerciaux et donnent à croire qu'ils réexportent les produits vers des destinations régionales dès qu'ils sont importés. Ces destinations ne figurent pas dans la liste des cinq premières en fonction du poids, car les produits qui y sont exportés ont un poids relativement faible. Il est impossible de déterminer le degré de réexportation à l'aide des données disponibles.

Recommandations : Plusieurs recommandations découlent de ces travaux et visent à améliorer les estimations des exportations de matériel électronique produit et collecté tout en diminuant l'incertitude de ces estimations :

- L'analyse des flux devrait porter sur plusieurs années afin de distinguer les tendances. Les méthodes suggérées dans cette étude peuvent servir à modéliser la génération, la collecte et l'exportation sur plusieurs années.
- Des données commerciales plus précises, notamment pour le Mexique, permettraient d'estimer la génération avec une plus grande exactitude.
- D'autres enquêtes détaillées menées annuellement dans les secteurs public et privé permettraient d'améliorer la fiabilité des estimations relativement à la génération et à la collecte.
- L'instauration de codes commerciaux pour les produits usagés favoriserait un suivi explicite de ces produits, dans la mesure où ces codes sont utilisés adéquatement.
- L'élargissement de l'accès aux données canadiennes et américaines sur les expéditions commerciales permettrait d'analyser les flux d'exportations avec davantage de précision.
- L'Agence des services frontaliers du Canada pourrait enregistrer la quantité de tous les produits électroniques exportés afin que l'analyse de ces flux soit plus précise.
- Il serait de mise de recourir à d'autres approches pour estimer les exportations de produits électroniques usagés afin de connaître l'incidence des limites de toutes les approches sur les estimations quantitatives.
- Bien que cela soit fastidieux à enregistrer, l'accroissement des déclarations des destinations visées par la réexportation des produits améliorerait grandement la connaissance de la destination finale des flux de ces produits en donnant une image plus réaliste des transactions. L'actuel système de codification des produits commerciaux ne s'applique qu'à deux partenaires commerciaux.

Remerciements

Ces travaux ont reçu le soutien financier de la Commission de coopération environnementale de l'Amérique du Nord. Les principaux auteurs désirent remercier Jason Linnell, Ramzy Kahhat et Eric Williams pour leur importante contribution à ces travaux. Ils désirent également remercier les personnes suivantes pour leur aide, leur soutien et leurs précieuses observations au cours de l'une ou des trois phases de ce projet : Rick Picardi et Margaret Gérardin (Environmental Protection Agency des États-Unis); Frineé Kathia Cano Robles, Arturo Gavilán García et Víctor Alcántara Concepción (Instituto Nacional de Ecología); Michael Vanderpol (Environnement Canada); Nathalie Daoust, Simonetta Ferrante et Geneviève Cournoyer-Proulx (Commission de coopération environnementale); Sofia Chávez (Proyecto Ecovía-Vías Verdes A.C.); Joshua Wolfe et Panate Manomaivibool (Lund University); John Bizimana et Chris Capablanca (Opinionology), Ben Alley et Erik Jan Nekeman (Research Now) pour leurs conseils et leur aide dans le cadre de la planification et du travail sur le terrain de la deuxième phase de la présente étude, ainsi qu'Israel Rodríguez Casio et Jorge Franco (Grupo IDM) pour leur coordination des enquêtes téléphoniques au Mexique, de même que les participants à ces enquêtes pour le précieux temps qu'ils y ont consacré. Les auteurs tiennent en outre à remercier Miguel Ángel Gómez Cabrera et les personnes interviewées au Mexique et en Inde (représentant notamment des démonteurs, des récupérateurs et des recycleurs de matériel électronique, des fonderies, des exportateurs, des éboueurs, des spécialistes en lieu d'enfouissement et des fabricants de matériel électronique) pour leur aide et leur soutien appréciables ainsi que pour le temps qu'ils ont généreusement consacré aux entrevues de la deuxième phase.



1. Introduction

Cette étude vise à procéder à une caractérisation quantitative des flux transfrontaliers (exportations) et des flux nationaux de produits électroniques usagés en Amérique du Nord. Elle a donné lieu à l'application de méthodes rigoureuses en vue de quantifier et de saisir l'incertitude que suscitent les flux transfrontaliers de ces produits qu'exportent les pays nord-américains, à savoir le Canada, le Mexique et les États-Unis, et elle fait également état des résultats de l'année 2010. On a aussi comparé l'estimation de ces quantités de produits exportées aux estimations de la génération et de la collecte des mêmes produits.

Une diversité d'intervenants porte un intérêt notable à la quantité de matériel électronique usagé produit, collecté et exporté. Mais en dépit de cet intérêt, on constate un manque évident de données, notamment sur les flux transfrontaliers. Par exemple, l'*Interagency Task Force on Electronics Stewardship* (Groupe de travail interorganisme sur l'intendance des produits électroniques) du gouvernement fédéral américain [2] a déclaré :

« Il existe très peu d'informations vérifiables sur les flux commerciaux de matériel électronique usagé, notamment les quantités exportées et importées. Il faut disposer de meilleures données pour brosser un tableau plus complet de l'ensemble de ces flux, et à cette fin, les pays pourraient se servir de ces données pour gérer ce matériel usagé conformément à leurs politiques nationales connexes. Des renseignements précis sur les quantités, les types de matériel et les destinations des produits électroniques usagés qui sont exportés constitueront des données précieuses pour le gouvernement fédéral, le secteur privé et les autres intervenants. » [Traduction] [2]

Bien que l'expression « produits électroniques usagés » fasse largement référence aux produits dont la fin de vie utile

survient avec leur premier propriétaire, l'expression « déchets électroniques » est devenue courante et caractérise un sous-ensemble de produits électroniques que l'on ne peut réutiliser, réparer ou remettre en état afin de prolonger sa durée de vie utile avec un nouveau propriétaire. Conséquemment, ces déchets électroniques sont soit éliminés soit récupérés pour réutiliser des pièces et des matériaux par démontage ou recyclage. Tous les ans, dans le monde entier, les appareils électroniques s'achètent par millions et des millions d'entre eux atteignent la fin de leur vie utile. Bien qu'un certain pourcentage des appareils provenant des résidences, des entreprises et des organismes soit séparé des ordures grâce aux programmes de collecte, la consommation de plus en plus grande de nouveaux produits électroniques à l'échelle mondiale fait en sorte que la quantité de ceux qui sont collectés et leur sous-ensemble de déchets électroniques ne cessent eux aussi d'augmenter. Dans la présente étude, le précédent terminologique établi par l'*Interagency Task Force on Electronics Stewardship* [2] est le suivant :

« L'utilisation de l'expression "déchets électroniques" est délibérément réduite au minimum dans le présent document afin de faire tout simplement valoir à quel point il est important de procéder à la réutilisation ainsi qu'au recyclage respectueux de l'environnement. La réutilisation du matériel électronique usagé diminue la quantité de déchets produits, et un recyclage adéquat de ce matériel permet de récupérer des matières premières (p. ex., l'or, le cuivre, le verre et l'aluminium) et peut offrir des avantages économiques en se retrouvant dans la chaîne d'approvisionnement à titre de matériau, et réduire ainsi la masse globale de déchets. On doit noter que de nombreux pays disposent de leurs propres définitions, politiques et lois concernant la gestion du matériel électronique usagé et des déchets électroniques, y compris des restrictions en matière d'importation et d'exportation. » [Traduction] [2]

Selon le Groupe de travail du *Partnership for Action on Computing Equipment* (PACE, Partenariat d'action sur le matériel informatique), mis sur pied dans le cadre de la Convention de Bâle, « le matériel informatique contient plusieurs types de métaux, de plastiques et d'autres substances, dont certaines sont dangereuses et d'autres constituent de précieuses ressources, sans compter celles qui sont à la fois précieuses et dangereuses. Pour éviter que la population et les collectivités soient exposées aux substances dangereuses et réduire l'utilisation des ressources, il faudrait réutiliser le matériel informatique en fin de vie utile dans la mesure du possible. Si ce n'était pas possible, il faudrait le diriger vers des établissements de récupération et de recyclage des matériaux dont les activités de gestion sont respectueuses de l'environnement, et ne penser à les éliminer qu'en tout dernier recours. » [Traduction] [3].

1.1 Précédents travaux

1.1.1 Phase I, II et III des travaux menés sous la direction de la CCE

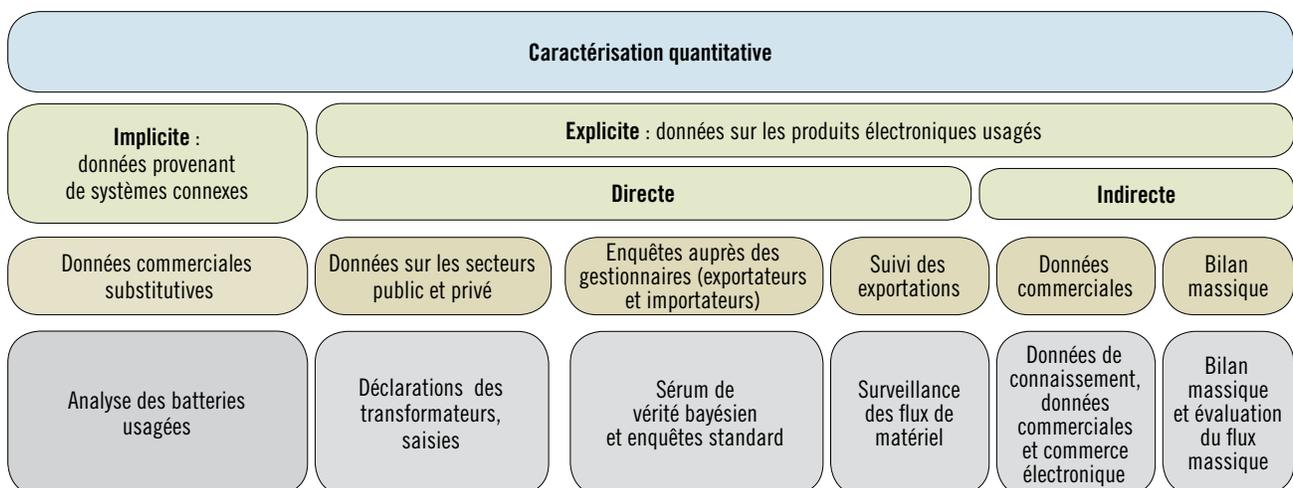
Le présent rapport a été établi pour le compte de la Commission de coopération environnementale (CCE) avec le soutien financier du Canada, du Mexique et des États-Unis, et cadre avec des travaux comportant plusieurs phases afin de connaître les flux d'ordinateurs et d'écrans usagés exportés d'Amérique du Nord vers le reste du monde. La phase I de l'étude de faisabilité a permis de conclure qu'il serait possible de caractériser et de quantifier ces flux. La phase II, qui s'est déroulée sur plus de neuf mois, a consisté à élaborer et à valider la méthode du bilan massique. Quant à la présente étude, elle constitue la troisième et dernière phase et représente la mise en application des méthodes élaborées.

1.1.2 Aperçu des méthodes de caractérisation

Les méthodes permettant d'effectuer une caractérisation quantitative et qualitative adéquate sont exposées plus en détail dans un récent ouvrage des auteurs de la présente étude, intitulé *Characterizing Transboundary Flows of Used Electronics: Summary Report*, qui a été rédigé aux fins de l'initiative *Solving the E-Waste Problem* (StEP, Résolution des problèmes que posent les déchets électroniques) [4]. Ces méthodes ont été adoptées à la suite de l'examen d'une documentation pertinente, de discussions avec des intervenants au cours d'un atelier tenu en juin 2011 et des discussions subséquentes entre les auteurs du rapport. La figure 1 donne un aperçu de la hiérarchie des méthodes pouvant contribuer à une caractérisation quantitative, et cette figure est suivie d'une description de chaque catégorie de méthodes.

- Les **méthodes implicites** donnent lieu à des inférences fondées sur les données qui sont disponibles dans des systèmes connexes et qui ont des effets similaires aux produits électroniques usagés.
 - Les **données commerciales substitutives** peuvent servir à obtenir des inférences sur des flux inconnus de produits électroniques usagés en analysant les données commerciales relatives à ces produits. Par exemple, il est possible d'obtenir des inférences sur les flux d'ordinateurs portables à partir de données sur les circuits imprimés, les disques durs et les écrans à cristaux liquides. Lepawsky et McNabb [5] ont étudié les données sur les batteries usagées.
- Les **méthodes explicites** découlent d'estimations portant sur les données qui ont trait aux produits électroniques usagés que l'on a ciblés.

Figure 1 : Hiérarchie des méthodes de caractérisation quantitative



- Les **méthodes directes** ont recours aux données sur les exportations de produits électroniques usagés en cours d'examen.
 - Les **données sur les secteurs public et privé** sont utiles aux fins de l'analyse des déclarations obligatoires ou volontaires des exportateurs, de l'extrapolation des rapports de saisie établis par le gouvernement et de la surveillance des importations dans les ports, ainsi que de l'échange volontaire d'informations provenant des fabricants de matériel d'origine et des organismes d'établissement des normes volontaires d'exportation, dont les organismes de certification tels que e-Stewards et R2.
 - Les **enquêtes auprès des gestionnaires** comprennent celles auprès des recycleurs et des récupérateurs dans les pays importateurs et exportateurs. Il est possible de recourir à des enquêtes classiques et à celles du sérum de vérité bayésien. Le terme « gestionnaire » désigne les collecteurs et les transformateurs de produits électroniques usagés.
 - Les **données commerciales** renseignent sur les flux de matériel ou de produits importés ou exportés. Quant aux données des connaissances, elles fournissent des détails sur chaque expédition, alors que d'autres types de données commerciales donnent lieu à un

certain degré d'agrégation. Les plateformes d'échange sur Internet donnent également une idée de la quantité et du prix des produits électroniques usagés qui sont offerts et demandés dans le monde entier.

- Les **méthodes indirectes** ont recours aux données sur les flux qui sont connexes aux produits électroniques usagés exportés et consistent à déduire les flux de ces derniers des autres flux.
 - La méthode du **bilan massique** s'appuie sur le principe voulant que les exportations représentent la partie inexpliquée des flux, mais les **données commerciales** servent à expliquer ces flux.

Une approche idéale exigerait un faible effort, mais en obtenant de l'information d'une très grande qualité (comme l'illustre la matrice du tableau 1), et fournirait également de l'information permettant de procéder à des caractérisations qualitatives. Afin d'estimer le degré d'effort (de faible à important) exigé pour que les chercheurs appliquent une approche et que l'information découlant des résultats ait une certaine qualité (de faible à très bonne), il a fallu évaluer brièvement les quatre critères suivants : *l'incertitude*, la *représentativité*, la *disponibilité* et le *coût*. *L'incertitude* a trait à la fiabilité des données recueillies et tient compte de toute source d'erreur dans le cadre d'une estimation; la *représentativité* a trait à la capacité des données d'échantillonnage recueillies d'illustrer l'éventail des exportations de

Tableau 1 : Matrice des méthodes quantitatives en fonction de l'effort requis et de la qualité de l'information obtenue (les méthodes utilisées dans le cadre de cette présente étude sont en caractères gras)

	Effort faible	Effort moyen	Effort important
Faible qualité de l'information	<ul style="list-style-type: none"> • Données commerciales substitutives 		
Qualité moyenne de l'information	<ul style="list-style-type: none"> • Surveillance des échanges sur Internet • Données étatiques • Données sur l'application des lois : déclaration obligatoire 	<ul style="list-style-type: none"> • Données commerciales • Bilan massique • Enquêtes standard auprès de gestionnaires • Données de connaissance • Données sur l'application des lois : saisies 	
Bonne qualité de l'information		<ul style="list-style-type: none"> • Sérum de vérité bayésien et enquêtes auprès de gestionnaires • Données sur les normes d'exportation volontaires • Collaboration avec les fabricants de matériel électronique d'origine 	
Très bonne qualité de l'information			<ul style="list-style-type: none"> • Surveillance des flux de matériel

produits électroniques usagés; la *disponibilité* représente l'existence et l'accessibilité des données; le *coût* représente les ressources financières que nécessite la recherche ou le prix politique de la collaboration diplomatique.

L'*exhaustivité* constitue une autre dimension qui ne figure pas dans le tableau, mais qui permet de quantifier la génération, la collecte et l'exportation tout en permettant l'évolution des données sur l'ensemble d'un pays. Dans la présente étude, les données commerciales ont été utilisées dans le cadre de la MHCDOPC au même titre que dans celui de la méthode du bilan massique. Bien que ces méthodes soient censées fournir de l'information de qualité moyenne, elles apportent toutes deux de l'exhaustivité comparativement à celles figurant dans la catégorie où la qualité de l'information est moyennement bonne.

La MHCDOPC et les résultats obtenus aux États-Unis sont également exposés dans le rapport publié en 2013 dans le cadre de l'initiative *Solving the E-Waste Problem* (StEP), intitulé *Quantitative Characterization of Transboundary Flows of Used Electronics: Methodology and Analysis of Generation, Collection, and Export in the United States*. La méthode relative aux données commerciales a été élaborée et appliquée aux ordinateurs portables dans le cadre d'un récent mémoire de maîtrise [6]¹.

1.2 Portée de l'étude

1.2.1 Produits étudiés

Ce rapport a donné lieu à l'étude des ordinateurs et des écrans usagés et neufs, mais pas de leurs produits dérivés. L'étude a porté sur les ordinateurs de bureau et les ordinateurs portables, mais pas sur les appareils les plus récents, dont les tablettes électroniques comme le iPad. Les écrans d'ordinateur sont classés en deux catégories, à savoir les écrans à tube cathodique et les écrans plats. Les données commerciales ont trait à une catégorie d'écrans de contrôle vidéo visés par cette étude, c'est-à-dire des écrans spéciaux qui sont en interface avec des caméras de sécurité par l'intermédiaire d'un dispositif informatique. En raison de ressources limitées, une variété de produits électriques usagés et de déchets électroniques exportés ne font pas l'objet de cette étude, notamment les circuits imprimés entiers et déchiquetés, les imprimantes, le verre transformé des écrans

cathodiques, les serveurs, les appareils de jeu, les câbles, les appareils d'imagerie numérique et le matériel audiovisuel.

1.2.2 Échéancier

Différentes raisons ont dicté le choix de l'année 2010 pour centrer cette étude. Bien que les données sur les ventes et les données commerciales soient rapidement accessibles, l'accès à d'autres types d'informations sur les flux de produits électroniques accuse habituellement un retard de plusieurs mois, voire de plusieurs années. De récentes études étant axées sur les données de l'année 2010, le choix de la même année pour la présente étude a été motivé par la possibilité de comparer ses conclusions à celles de ces autres études. En outre, les deux méthodes utilisées dans la présente étude ont permis de fonder certaines analyses sur un ensemble d'enquêtes concernant le comportement des utilisateurs d'ordinateur en 2010, ce qui rendait logique le fait de se cantonner à cette année-là.

1.2.3 Zone géographique

La CCE s'intéresse particulièrement à l'étude des flux de produits électroniques usagés qui sont exportés de l'un des pays nord-américains à un autre, et de ces pays vers d'autres à l'échelle mondiale. Les réexportations, qui représentent un sous-ensemble d'exportations qui ne proviennent pas originellement du pays exportateur [7], sont considérées comme ne faisant pas partie des flux de produits électroniques exportés à partir du pays exportateur et en sont exclues dans la mesure du possible².

1.2.4 Flux des produits électroniques usagés évalués dans la présente étude

Cette étude consiste à évaluer la génération, la collecte et l'exportation des produits électroniques usagés. Le terme « génération » désigne les produits qui sont devenus hors d'usage, qui sont entreposés après usage ou dont la réutilisation informelle vise leur recyclage et leur réutilisation ou leur élimination. La « réutilisation informelle » comprend les échanges à petite échelle de produits électroniques entre des particuliers, sans donner lieu à une interaction avec une entreprise qui collecte et rassemble des produits électroniques usagés en vue de les recycler ou de les réutiliser officiellement. La génération est conséquemment compatible avec l'expression « gestion de produits en fin de vie utile » [8 et 9]. Les transformateurs qui collectent des produits électroniques

1. Dans le précédent rapport, il était indiqué que l'information fournie par les données commerciales était de « faible qualité », alors que dans le présent rapport, cette qualité est considérée comme « moyenne ». Ce changement résulte de deux avancées inattendues : 1) l'accès des chercheurs à des données commerciales plus détaillées; 2) l'élaboration de la méthode d'exportation exposée dans ce rapport, laquelle permet d'évaluer ce qui distingue les produits usagés des nouveaux produits grâce à ces données commerciales détaillées.
2. Les exportations totales se composent des exportations nationales et des réexportations. La Division de la statistique de l'Organisation des Nations Unies (2010) a déclaré que « les marchandises qui ne sont pas "en transit" ou "en transbordement et qui changent de propriétaire lorsqu'elles entrent dans le territoire économique d'un pays doivent être enregistrées comme des importations, et aussi comme des réexportations si elles quittent ledit pays dans le même état que lorsqu'elles y sont entrées ». [Traduction] [7. U.N. Statistics Division, *International Merchandise Trade Statistics: Concepts and Definitions 2010*, in *Statistical Papers*, 2010]. Afin de pouvoir relever les exportations de produits usagés à partir des États-Unis, il faut exclure la portion de ceux qui sont réexportés dans le même état après avoir été importés. Les données commerciales mexicaines ne font pas une telle distinction en ce qui concerne les réexportations.

usagés complets choisissent soit de les réparer pour qu'un nouvel utilisateur s'en serve, soit de récupérer les pièces et les matériaux afin de les revendre à un fournisseur en aval (dont certains peuvent se trouver dans un pays étranger), soit d'exporter ce produit usagé comme une seule et même unité.

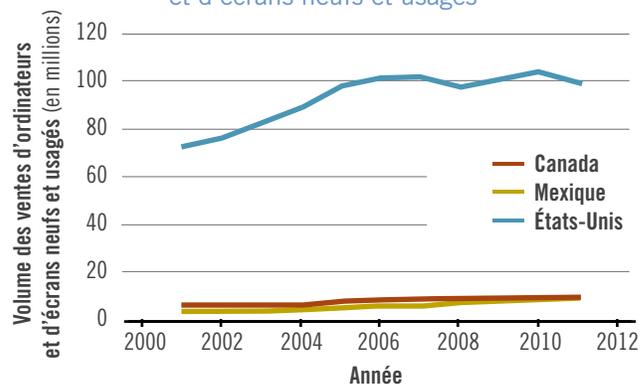
1.3 Aperçu comparatif national

Aux fins de leur commerce, les déchets électroniques peuvent faire l'objet d'un contrôle afin de déterminer s'il s'agit de « déchets dangereux » ou « d'autres déchets » en vertu de la *Convention de Bâle sur le Contrôle des mouvements transfrontaliers de déchets dangereux et de leur élimination* (Convention de Bâle). Jusqu'à présent, 183 pays en sont signataires, dont le Canada et le Mexique, et selon ses dispositions, une Partie à cette convention ne peut exporter vers un pays ou importer d'un autre pays des déchets considérés dangereux lorsque ce pays n'est pas signataire de ladite Convention, sauf s'il a conclu une entente bilatérale distincte régissant de tels mouvements. C'est le cas avec les mouvements transfrontaliers de déchets dangereux et d'autres déchets entre les Parties à la Convention et les États-Unis, car ces derniers en sont signataires, mais n'ont pas encore ratifié cette adhésion de par l'adoption d'une loi nationale (voir l'annexe 1 pour obtenir de plus amples détails). Bien que cette recherche ait consisté à évaluer les exportations d'ordinateurs et d'écrans usagés à partir de l'Amérique du Nord, la caractérisation des expéditions illicites éventuelles de ces produits et matériaux ne cadre pas avec la portée des travaux auxquels a donné lieu la recherche.

Pour donner une idée de la manière dont les trois pays visés peuvent être comparés, les figures 2 à 5 exposent différents paramètres concernant la consommation et le commerce des ordinateurs et écrans neufs ainsi que de ceux qui sont usagés. La figure 2 présente les ventes d'ordinateurs et d'écrans neufs au fil du temps, tel qu'elles ont été évaluées aux fins de la présente étude (voir l'annexe 1 pour consulter un tableau des ventes plus détaillé). La figure 3 montre les tendances sur le plan démographique [10], alors que la figure 4 illustre le revenu national brut (RNB)³ et la figure 5 le RNB par habitant. Comme on pouvait s'y attendre, la démographie, le RNB et le RNB par habitant sont en corrélation positive avec les ventes d'ordinateurs et d'écrans neufs [11]. Les États-Unis sont en tête dans toutes les catégories, et bien que le Canada et le Mexique aient un RNB similaire, celui du Canada par habitant est beaucoup plus proche de celui des États-Unis, car sa population est moins dense que celle du Mexique.

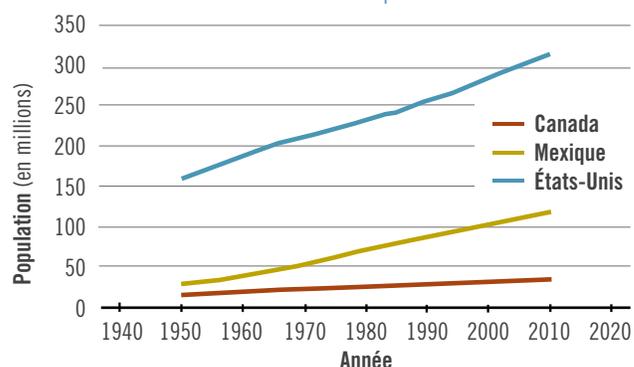
3. « Le RNB (anciennement désigné "produit national brut") est la somme de la valeur ajoutée par tous les producteurs résidents majorée des taxes (subventions en moins) non incluses dans l'évaluation des produits finaux, ainsi que des recettes nettes des revenus primaires provenant de l'étranger (rémunération des employés et revenus de propriété). Les données chiffrées sont exprimées en dollars américains ». [Traduction] (11. La Banque mondiale, *World Development Indicators*, 2013, p. 25).

Figure 2 : Comparaison des ventes d'ordinateurs et d'écrans neufs et usagés



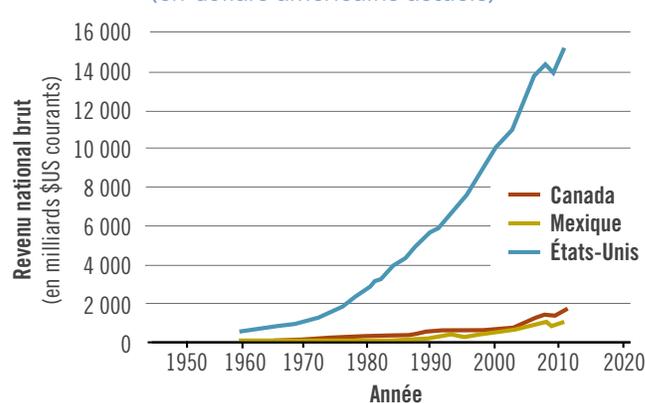
Source : International Data Corporation (IDC) (voir le tableau 4).
Note : Le volume des ventes aux États-Unis est plus élevé qu'au Canada et au Mexique, ces derniers ayant un volume similaire.

Figure 3 : Comparaison de la démographie au fil du temps



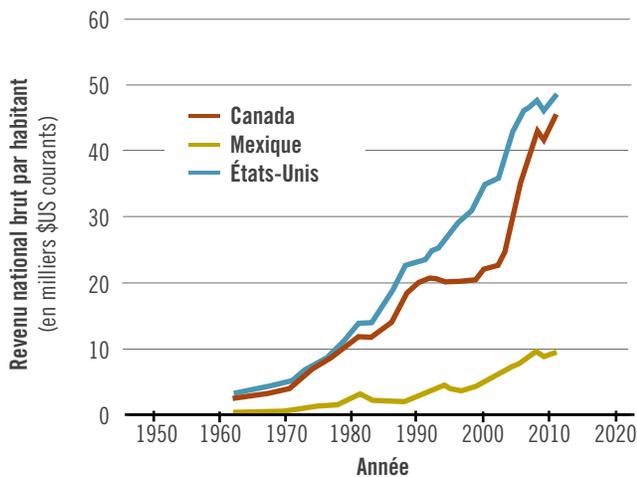
Source : Département des affaires économiques et sociales de l'ONU, 2012 [10].
Note : Les États-Unis ont une population beaucoup plus dense que le Mexique, et celle de ce dernier est plus dense que celle du Canada.

Figure 4 : Comparaison du revenu national brut (en dollars américains actuels)



Source : La Banque mondiale, 2013 [11].
Note : Le revenu national brut des États-Unis est beaucoup plus élevé que celui du Canada et du Mexique, et celui de ces derniers est similaire.

Figure 5 : Comparaison du revenu national brut par habitant (en dollars américains actuels)

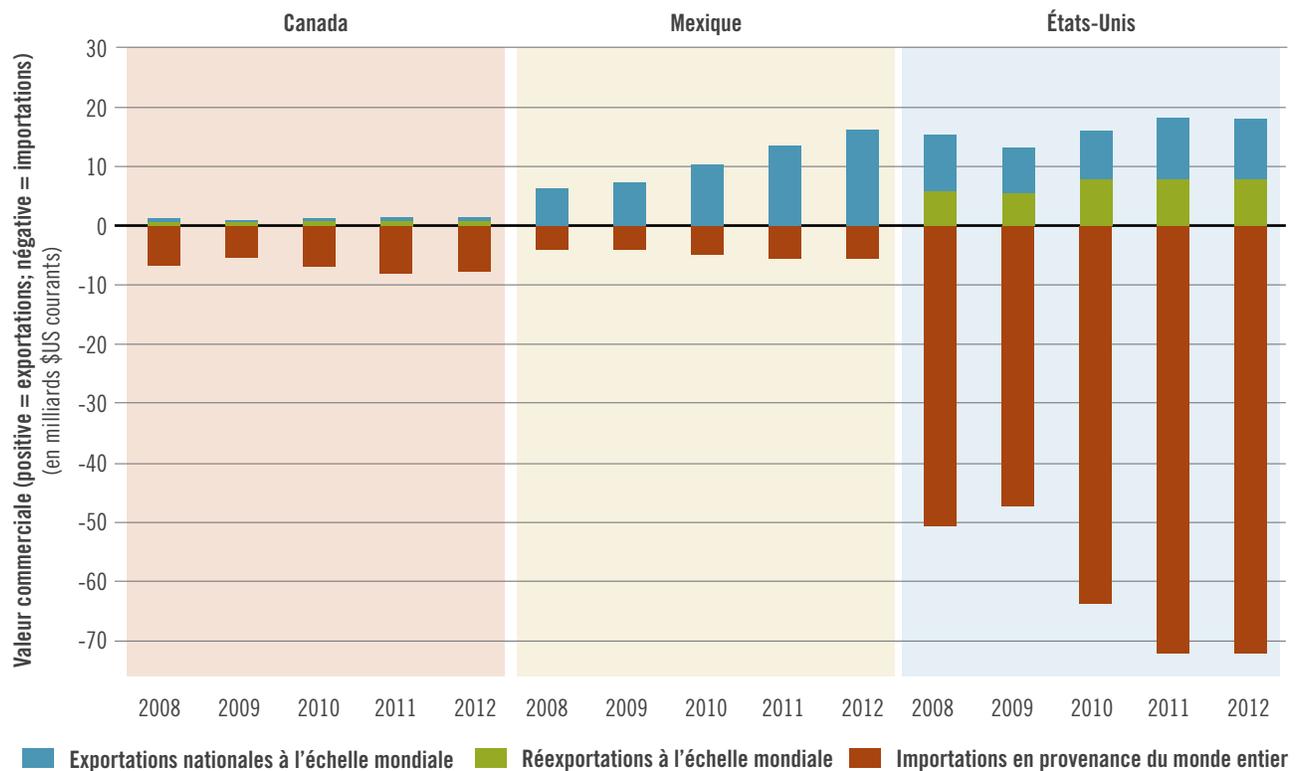


Source : La Banque mondiale, 2013 [11].

Note : Aux États-Unis, le revenu national brut par habitant est légèrement plus élevé qu'au Canada, mais celui de ce dernier a augmenté et dépasse maintenant celui du Mexique.

Les données commerciales agrégées peuvent apporter quelques éclaircissements sur la consommation et les flux de produits électroniques. La figure 6 montre quelle est la balance commerciale du Canada, du Mexique et des États-Unis de 2008 à 2012, et on y constate que les exportations totales sont égales à la somme des exportations nationales (provenant d'un pays donné) et des réexportations (que l'on peut considérer comme traversant un pays sans être utilisé ou sans que leur état soit modifié). On constate que les États-Unis importent le plus grand nombre d'ordinateurs et d'écrans même s'ils procèdent à une grande quantité de réexportations, et ces réexportations sont comprises dans les données sur les importations, ce qui signifie que le nombre d'importations destinées à la consommation est moins élevé que les importations totales. Ces conclusions cadrent avec le constat voulant que les États-Unis aient le plus grand volume de ventes d'ordinateurs et d'écrans parce qu'ils importent la plupart des ordinateurs et des écrans neufs qui y sont vendus. Comme le montre un tableau plus détaillé figurant dans l'annexe 1, les exportations du Mexique sont notablement similaires à celles des États-Unis.

Figure 6 : Balance commerciale relative aux ordinateurs et aux écrans neufs et usagés



Source : Division de la statistique de l'ONU, 2010 [12].

Note : La valeur commerciale des produits a été évaluée à l'aide de la base de données Comtrade des Nations Unies. Les valeurs positives illustrent les exportations et les valeurs négatives les importations.

2. Méthodes





2.1 Comparaison des méthodes utilisées

Étant donné qu'il n'existe pas d'ensembles de données idéaux pour quantifier les flux de produits électroniques usagés, il a fallu appliquer deux méthodes distinctes pour comparer les résultats et obtenir une fourchette d'estimations. Le tableau 2 compare sommairement ces deux méthodes. La méthode hybride de collecte de données sur l'obsolescence des produits commerciaux (MHCDOPC) quantifie la génération à l'aide d'un modèle modifié d'obso-

lescence qui se fonde sur des données d'enquête et de vente. Elle quantifie également la collecte en se fondant sur les tendances relevées dans le cadre d'enquêtes, ainsi que les exportations en recourant à des données commerciales détaillées. Quant à la méthode du bilan massique, elle se sert des données d'enquête extrapolées afin de quantifier les flux de produits générés et collectés, et permet d'évaluer ensuite, dans le cadre de trois scénarios, les proportions de produits électroniques collectés qui sont subséquemment exportés tout en mettant en équilibre l'ensemble des flux.

Tableau 2 : Sommaire comparatif des méthodes utilisées

Flux	MHCDOPC	Bilan massique
Génération	<i>Secteur résidentiel :</i> Associe les données de vente des produits avec des modèles de durée de vie en se fondant sur des données d'enquête. <i>Secteurs public et privé :</i> Similaire au bilan massique.	<i>Secteur résidentiel et secteurs public et privé :</i> Augmentation des habitudes de Génération des répondants à des enquêtes menées en 2010 en se fondant sur les données de vente et les habitudes d'achat.
Collecte	<i>Secteur résidentiel :</i> Associe les résultats sur la Génération à des modèles de taux de collecte en se fondant sur des données d'enquête. <i>Secteurs public et privé :</i> Similaire au bilan massique.	<i>Secteur résidentiel et secteurs public et privé :</i> Augmentation des habitudes de collecte des répondants à des enquêtes menées en 2010 en se fondant sur les données de vente et les habitudes d'achat.
Exportations	Utilise des données commerciales détaillées sur les exportations et différencie les exportations de produits neufs et usagés en se fondant sur leur valeur unitaire. Donne lieu à une estimation du seuil inférieur.	Balance massique des flux combinée aux estimations des destinations postcollecte en se fondant sur les habitudes de collecte.
Limites	Erreurs inhérentes dans les données de vente et d'enquête; la durée de vie est approximative; les produits électroniques usagés sont généralement classés différemment des exportations.	Erreurs inhérentes dans les données d'enquête et les facteurs d'extrapolation; les estimations des proportions de produits électroniques collectés qui sont exportés suscitent une forte incertitude.

La figure 7 illustre les flux de produits électroniques qui se rendent du fabricant (F) aux utilisateurs du secteur résidentiel (R) et des secteurs public et privé (Pu et Pr), ainsi qu'aux intermédiaires (I). Les habitudes d'achat, d'utilisation et d'élimination étant différentes selon les utilisateurs, la génération et la collecte ont fait l'objet d'une modélisation distincte. Les intermédiaires collectent également les produits usagés importés (Im), et soit les redistribuent aux utilisateurs des secteurs résidentiels (R) et public et privé (Pu et Pr) afin qu'ils soient réutilisés, ou encore les dirigent vers un lieu d'enfouissement ou un incinérateur (L), les vendent à l'échelle nationale pour recycler leurs pièces et leurs matériaux (R) ou les exportent vers un autre pays (Ex). L'application de la MHCDOPC donne lieu à l'estimation des flux au stade de la génération ainsi que de la quantité collectée, à savoir le cumul des flux après collecte en vue de la réutilisation et du recyclage. En ce qui concerne la méthode du bilan massique, elle consiste à estimer chaque flux.

2.1.1 Aperçu de la méthode hybride de collecte de données sur l'obsolescence des produits commerciaux

Cette méthode est exposée de la même manière dans le rapport de 2013 établi dans le cadre de l'initiative *Solving the E-Waste Problem* (StEP), rapport intitulé *Quantitative Characterization of Transboundary Flows of Used Electronics: Methodology and Analysis of Generation, Collection, and Export in the United States*. La méthode hybride de collecte

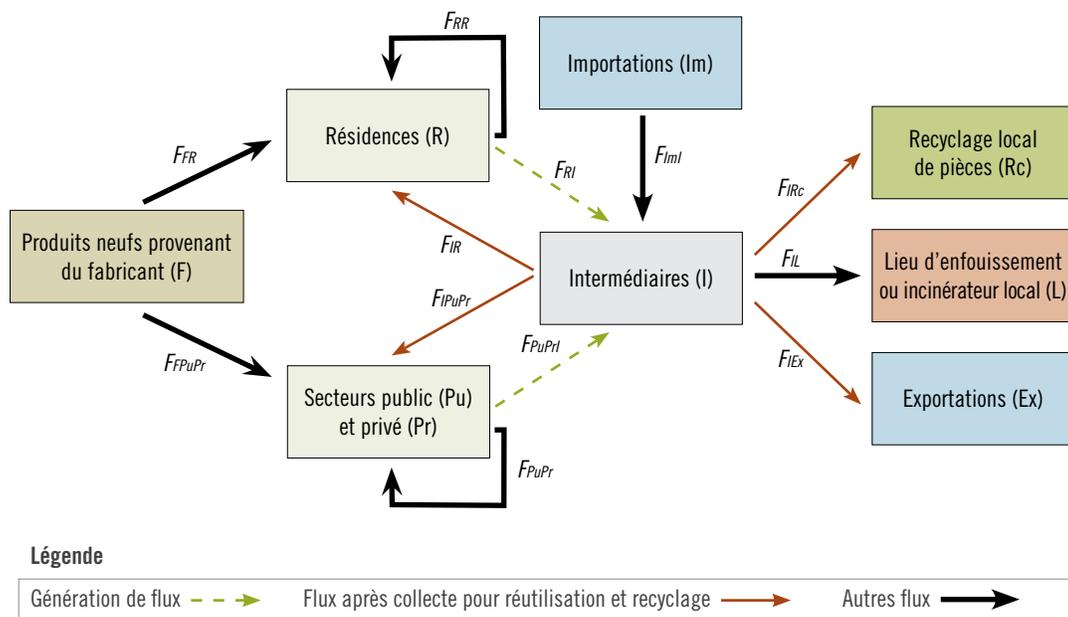
de données sur l'obsolescence des produits commerciaux (MHCDOPC) visant à estimer la génération et la collecte dans le secteur résidentiel comporte la même série d'étapes que celle de nombreuses études qui sont énumérées ci-après. Les estimations concernant les secteurs public et privé font ressortir les habitudes des répondants aux enquêtes en se fondant sur les données commerciales et les achats en 2010. Ces étapes sont les suivantes :

1. Détermination des ventes résidentielles d'un produit dans une région donnée pendant une certaine période.
2. Détermination du taux habituel de durée de vie d'un produit pendant une certaine période.
3. Prévision du nombre de produits qui seront générés au cours d'une année déterminée en se servant des données sur les ventes et la durée de vie.
4. Prévision du nombre de produits qui seront collectés au cours d'une année déterminée en se fondant sur les taux de collecte.
5. Calcul du poids des produits générés et collectés en multipliant le poids unitaire par la quantité.

En ce qui concerne les exportations, la MHCDOPC a recours à des données commerciales détaillées et ventilées afin d'évaluer la quantité de produits électroniques usagés qui sont exportés. Pour ce faire, les étapes sont les suivantes :

1. Collecte et ventilation des données commerciales détaillées sur les exportations.

Figure 7 : Analyse des flux de matériel exportés par un pays



Source : Kahhat et Williams, 2012 (adapté et modifié) [13].

Note : Le cheminement du processus se fait d'un indice à un autre. Par exemple, F_{RI} illustre les flux de produits électroniques du secteur résidentiel (R) vers les intermédiaires (I), et F_{IR} illustre les flux de produits électroniques des intermédiaires (I) vers le secteur résidentiel (R).

2. Estimation du seuil de la valeur unitaire qui différencie les produits neufs et usagés à destination de différentes régions du monde.
3. Somme de la quantité de produits exportés des États-Unis vers des pays partenaires avec un seuil inférieur de la valeur unitaire.

La MHCDOPC est avantageuse parce que les données commerciales sur tous les types de produits électroniques sont largement disponibles (y compris d'abondantes données historiques); elles sont aussi assez fréquemment mises à jour et donnent un aperçu de la destination des produits. Au nombre des désavantages, il faut compter le fait que les produits électroniques usagés ne faisant pas l'objet de codes commerciaux précis, les exportateurs peuvent se servir de codes qui ne correspondent pas à ceux utilisés dans la présente étude pour caractériser ces exportations. Il a fallu réaliser une analyse pour différencier les produits usagés des neufs dans les données commerciales, mais on ne connaît pas l'ampleur des différences dans la classification des exportateurs. Conséquemment, il est pour le moment impossible de dire quelle est l'ampleur des erreurs dans les estimations des exportations à cause de ces différences en matière de classification. On peut quand même présumer que les estimations du nombre d'exportations sont inférieures à celles des exportations actuelles, vraisemblablement en raison de ces différences.

Le recours aux données commerciales pose un autre problème, à savoir que la destination qu'indiquent les données commerciales peut constituer un premier point d'arrêt, c'est-à-dire une escale et non une destination finale. Après cette escale, les produits peuvent être réexportés vers une destination finale, mais il faut noter que la réexportation et la destination finale ne figurent pas toujours dans les données commerciales. L'indication d'une région destinataire dans le présent rapport constitue donc, pour le moins, une indication de cette escale, mais pas de la destination finale. Toutefois, s'il s'agit d'une escale avant la réexportation, la destination finale se trouve sans aucun doute dans la même région.

2.1.2 Aperçu de la méthode du bilan massique

La méthode du bilan massique permet de calculer bon nombre de flux de produits électroniques usagés en disposant de peu de données. Elle a cependant le désavantage de ne pas pouvoir calculer les exportations à l'aide de données qui s'y rapportent directement, ce qui ne permet pas de connaître le pays de destination. On a adapté la description de cette méthode dans l'ensemble du présent rapport après l'avoir tirée de rapports non publiés découlant des précédentes phases de ces travaux et d'un récent article

journalistique [13] cité avec la permission de ses auteurs, Ramzy Kahhat et Eric Williams. Même si les précédents travaux ont eu recours à trois scénarios de fin de vie utile (utilisation finale prévue, diminution de la réutilisation et accroissement des exportations) afin d'évaluer le degré d'incertitude, cette version de la méthode tient compte de l'incertitude des données dans son ensemble. Les résultats de l'enquête sont mis à l'échelle à l'aide de facteurs qui se fondent sur une comparaison des données de vente avec les achats déclarés par les répondants à l'enquête. L'ensemble de l'analyse tient compte de l'incertitude des données dans les facteurs d'échelle.

La figure 7 illustre les étapes des flux nationaux d'ordinateurs et d'écrans provenant du fabricant, lesquels sont ensuite utilisés par différents secteurs, atteignent la fin de leur vie utile ou sont exportés. L'étape de la prise en charge de ce matériel a été mise à part à titre de secteur « intermédiaire » regroupé qui procède à la collecte, au tri du matériel réutilisable ou récupérable, à des activités préparatoires de réutilisation des ordinateurs et des composants (réusinage, reconditionnement, réparation ou mise à niveau), à la revente, à un don, à la préparation des ordinateurs et des écrans en vue de leur recyclage, au transport vers des lieux d'enfouissement, et à leur importation et exportation. De nombreuses entités servent d'intermédiaires au cours de ce processus; il s'agit notamment d'entreprises de gestion des déchets électroniques (dont Intechra), de courtiers, de revendeurs (dont Goodwill), d'organismes de dons (dans le cadre du programme *Des ordinateurs pour les écoles*), des sites de vente par Internet (dont eBay et Mercado Libre) et des municipalités. À partir des intermédiaires, les ordinateurs et les écrans usagés reviennent dans les résidences, les entreprises et les organismes publics, mais sont également dirigés vers des lieux d'enfouissement et des entreprises de recyclage sur le plan local, et sont également exportés. Le flux d'ordinateurs et d'écrans d'un élément vers un autre peut être désigné par l'abréviation F_{PubPr} , laquelle signifie « Flux [de produits électroniques] des secteurs public et privé vers des intermédiaires ».

En résumé, le nombre d'ordinateurs et d'écrans usagés et au rebut qu'exporte un pays ou une région se calcule en soustrayant le flux de ce matériel qui passe des consommateurs aux intermédiaires des flux qui passent des intermédiaires aux consommateurs, aux lieux d'enfouissement et aux centres de recyclage locaux. En outre, dans certains pays, l'importation d'un flux de matériel électronique usagé peut répondre aux besoins des marchés locaux en matière de réutilisation et de recyclage. Il convient de noter que ce flux parvient aux intermédiaires et qu'il est exprimé par l'abréviation F_{Imi} dans l'équation de la figure 7.

Tableau 3 : Détails des enquêtes

Pays	Enquêtes dans le secteur résidentiel	Enquêtes dans les secteurs public et privé
Canada	Année de l'enquête : 2011. Méthode d'enquête : en ligne. Taille de l'échantillon : 600 adultes. Marge d'erreur : ± 4 %.	Année de l'enquête : 2011. Méthode d'enquête : en ligne. Taille de l'échantillon : 345 gestionnaires de service informatique et de biens. Marge d'erreur : $\pm 5,25$ %.
Mexique	Année de l'enquête : 2013. Méthode d'enquête : entrevues par téléphone et entrevues téléphoniques assistées par ordinateur (ETAO). Taille de l'échantillon : 1 200 adultes. Marge d'erreur : ± 3 %.	Année de la tenue de l'enquête : 2011. Méthode d'enquête : en ligne. Taille de l'échantillon : 257 gestionnaires de service informatique et de biens. Marge d'erreur : ± 4 %.
États-Unis	Année de l'enquête : 2011. Méthode d'enquête : en ligne. Taille de l'échantillon : 1 000 adultes. Marge d'erreur : ± 3 %.	Année de l'enquête : 2011. Méthode d'enquête : en ligne. Taille de l'échantillon : 400 gestionnaires de service informatique et de biens. Marge d'erreur : ± 5 %.

2.2 Aperçu des sources de données

2.2.1 Données d'enquête

La conception des enquêtes menées dans le secteur résidentiel et les secteurs privé et public de chaque pays revient à Ramzy Kahhat et à Eric Williams (tableau 3). Celle sur le secteur résidentiel du Mexique a porté à nouveau sur l'année 2013 à la suite d'une légère mise à jour par souci de veiller à ce que l'échantillonnage soit représentatif de la démographie. Celle de 2011 avait été menée en ligne et une portion des utilisateurs d'ordinateur mexicains n'avait pas accès à Internet à ce moment-là. Pour y remédier, l'entreprise mexicaine Grupo IDM s'est chargée de celle de 2013,

et cela a permis de rejoindre un plus vaste public sur le réseau Internet. Les autres enquêtes sur le secteur résidentiel menées au cours des années précédentes par d'autres intervenants ont servi à établir des séries chronologiques de tendances dans les taux de collecte [14]. L'annexe 2 offre de plus amples détails sur les enquêtes.

2.2.2 Données sur les ventes

Les données sur les ventes ont servi aussi bien à l'égard du secteur résidentiel que des secteurs public et privé (tableau 4). Prévoyant que certains produits électroniques seront hors d'usage des décennies après leur achat, les données chronologiques sur les ventes que l'on a retenues sont celles

Tableau 4 : Sources de données de vente

Pays	Produit	Années de vente (source de données)
Canada	Ordinateurs de bureau	1994 à 2011 (IDC)
	Ordinateurs portables	1994 à 2011 (IDC)
	Écrans cathodiques et écrans plats	2000 à 2007 (GIA) 2008 à 2011 (IDC)
Mexique	Ordinateurs de bureau	1994 à 2011 (IDC)
	Ordinateurs portables	1994 à 2011 (IDC)
	Écrans cathodiques et écrans plats	2008 à 2011 (IDC)
États-Unis	Ordinateurs de bureau	1990 à 1994 (IDC par l'intermédiaire de l'EPAa, 2008) 1995 à 2011 (IDC)
	Ordinateurs portables	1990 à 1994 (IDC par l'intermédiaire de l'EPAa, 2008) 1995 à 2011 (IDC)
	Écrans cathodiques et écrans plats	1990 à 1999 (IDC par l'intermédiaire de l'EPAa, 2008) 2000 à 2007 (GIA) 2008 à 2011 (IDC)

des deux décennies précédant l'année de prévision, soit 1990 à 2010. Les ventes d'ordinateurs de bureau et d'écrans ne cadrent pas nécessairement avec de simples modèles de croissance, bien que les ventes d'ordinateurs portables jusqu'en 2010 ont pu donner lieu à une modélisation de croissance exponentielle. L'estimation des données sur les ventes sert toutefois dans les analyses de base, et les erreurs de saisie peuvent varier de $\pm 10\%$ dans la méthode de simulation de Monte Carlo.

Achetées à l'International Data Corporation (IDC), des données sur les ventes de chaque produit étaient disponibles depuis 1996 pour les ordinateurs et depuis 2008 pour les écrans. Toutefois, comme le modèle prenait en compte les ventes à partir de 1990, il a fallu recourir à des sources de données supplémentaires pour combler cet écart. Lorsque les sources de données supplémentaires ne faisaient pas de distinction entre le secteur résidentiel et les secteurs public et privé, la proportion des ventes résidentielles dans les données d'IDC pouvait compter une variation de $\pm 10\%$ d'erreurs de saisie; elle a été ensuite appliquée aux données de ventes supplémentaires.

2.2.3 Données sur le poids unitaire

L'estimation du poids unitaire des ordinateurs et des écrans s'est fondée sur plusieurs milliers d'échantillons de produits usagés collectés dans les États de l'Oregon et de Washington⁴. Bien que les ordinateurs de bureau et les ordinateurs portables étaient enregistrés de façon distincte, les écrans ne l'étaient pas, ce qui fait que l'on a tenu compte de la répartition bimodale apparente pour distinguer les écrans cathodiques des écrans plats. L'ensemble des modèles de mélange fini (MMF) [15] du logiciel Stata de gestion de données a servi à différencier les répartitions logarithmiques normales sous-jacentes⁵. L'application Oracle Crystal Ball a confirmé le fait que la fonction logarithmique normale (lognormale) convenait tout à fait aux répartitions.

Tableau 5 : Poids unitaire des produits électroniques usagés (en kg par unité)

Produits électroniques usagés	Répartition ajustée	Moyenne	Écart type
Ordinateurs de bureau	Lognormale	10,6	3,3
Ordinateurs portables	Lognormale	3,1	1,5
Écrans cathodiques	Lognormale	15,4	1,2
Écrans plats	Lognormale	10,4	2,0

Le tableau 5 expose les poids unitaires qui en ont résulté (kilogramme [kg] par unité).

2.2.4 Données commerciales

Les données commerciales ont servi à estimer la proportion d'exportations au moyen de la MHCDOPC, mais pas avec la méthode du bilan massique. Bien que dans la base de données Comtrade des Nations Unies les données commerciales soient à la disposition du public à partir de la plupart des pays du monde, elles sont trop agrégées pour être exploitables avec cette méthode. On a toutefois déployé des efforts considérables pour localiser les données commerciales qui sont ventilées, comme le montre le tableau 6.

2.3 Génération de matériel électronique usagé

2.3.1 Méthode hybride de collecte de données sur l'obsolescence des produits commerciaux

L'enquête relative au secteur résidentiel a porté sur chaque produit, tandis que celle sur les secteurs public et privé a porté sur des groupes de produits. Toutefois, la méthode hybride de collecte de données sur l'obsolescence des produits

Tableau 6 : Sources des données commerciales

Pays	Source des données	Description des données
Canada	Statistique Canada	Données portuaires indiquant la valeur et la quantité. La quantité d'ordinateurs et de certains écrans exportés n'est pas déclarée.
Mexique	<i>Aduanas Mexico</i> (Douanes mexicaines) par l'entremise d'Infomex	Enregistrements des expéditions indiquant la valeur et la quantité qui ont donné lieu à des vérifications afin de déterminer l'exactitude du code de classification.
États-Unis	USA Trade Online, Quintero Hermanos Ltd. (Sicex.com) et Statistique Canada	Combinaison d'opérations mathématiques relatives aux données des districts indiquant la valeur, la quantité et le poids, ainsi qu'aux données portuaires n'indiquant que la valeur et le poids. Remplacement des données mexicaines et canadiennes sur les importations par celles sur les exportations effectuées à partir de ces deux pays.

4. National Center for Electronics Recycling (NCER). Système de gestion des données de marque. Échange d'échantillons de poids des ordinateurs et des écrans. Données d'échantillonnage des États de l'Oregon et de Washington : <www.electronicrecycling.org/BDMS/AlphaList.aspx?sort=All>.

5. Partha, Deb. 2008. *Finite Mixture Models* : <www.stata.com/meeting/snasug08/deg_fmml_slides.pdf>.

commerciaux (MHCDOPC) appliquée à la génération et à la collecte dans le secteur résidentiel a permis de suivre la même démarche fondamentale pour déterminer si les quantités de matériel générées et collectées étaient les mêmes dans la plupart des études susmentionnées. Pour ce qui est de la méthode appliquée aux secteurs public et privé, elle donne lieu à une amplification plus simple des résultats; il en est question dans le présent chapitre, après la section consacrée à la méthode appliquée au secteur résidentiel.

2.3.1.1 Génération de produits usagés dans le secteur résidentiel

Détermination de la répartition type de la durée de vie des produits électroniques au cours d'une période donnée

Des techniques d'analyse de la survie ont servi à déterminer la répartition de la vie utile de chaque produit dans le secteur résidentiel [16]. Ce type d'analyse est surtout utilisé dans le cadre d'études sur la survie de personnes souffrant d'une maladie ou encore sur la fréquence des défaillances des machines. En adaptant la terminologie de la présente étude afin de savoir pendant combien de temps le propriétaire d'un produit électronique l'utilise et le conserve, le terme « défaillance » signifie la fin de la période de propriété, laquelle est délimitée par le terme « génération » (collecte ou mise au rebut) ou l'expression « réutilisation informelle ». La répartition de la durée de la période de propriété constitue un apport au modèle de prédiction de la génération, ce qui explique pourquoi on recherche cette durée plutôt que le laps de temps qui s'écoule directement jusqu'à la génération comme on pourrait s'y attendre. Idéalement, les estimations auraient dû s'effectuer systématiquement à l'égard de chaque année, mais ce ne fut pas le cas en raison du manque de données. En outre, on aurait dû distinguer les produits achetés à l'état neuf de ceux achetés à l'état usagé, parce que les produits neufs durent probablement plus longtemps que ceux qui sont usagés, mais cela n'a pas été possible avec l'ensemble des données d'enquête. Les étapes de l'estimation de la répartition et de la durée d'une période de propriété (désignée par la lettre *lambda*, « λ ») sont énumérées ci-dessous et exposées dans l'annexe 3.

- i. Traitement des données d'enquête sur le secteur résidentiel à partir des enquêtes exposées dans le tableau 3.
- ii. Détermination de l'âge des produits usagés, soit en fonction du moment où ils sont tombés en panne soit du moment où leur propriétaire les a retirés (mis hors service) s'il les possédait encore lors de l'enquête. Dans la mesure du possible, tri des réponses en tenant compte de la précision du répondant concernant l'année d'achat, et ce, afin d'établir une comparaison avec le temps d'utilisation et d'entreposage estimé (on a considéré qu'un seuil d'un an était acceptable).

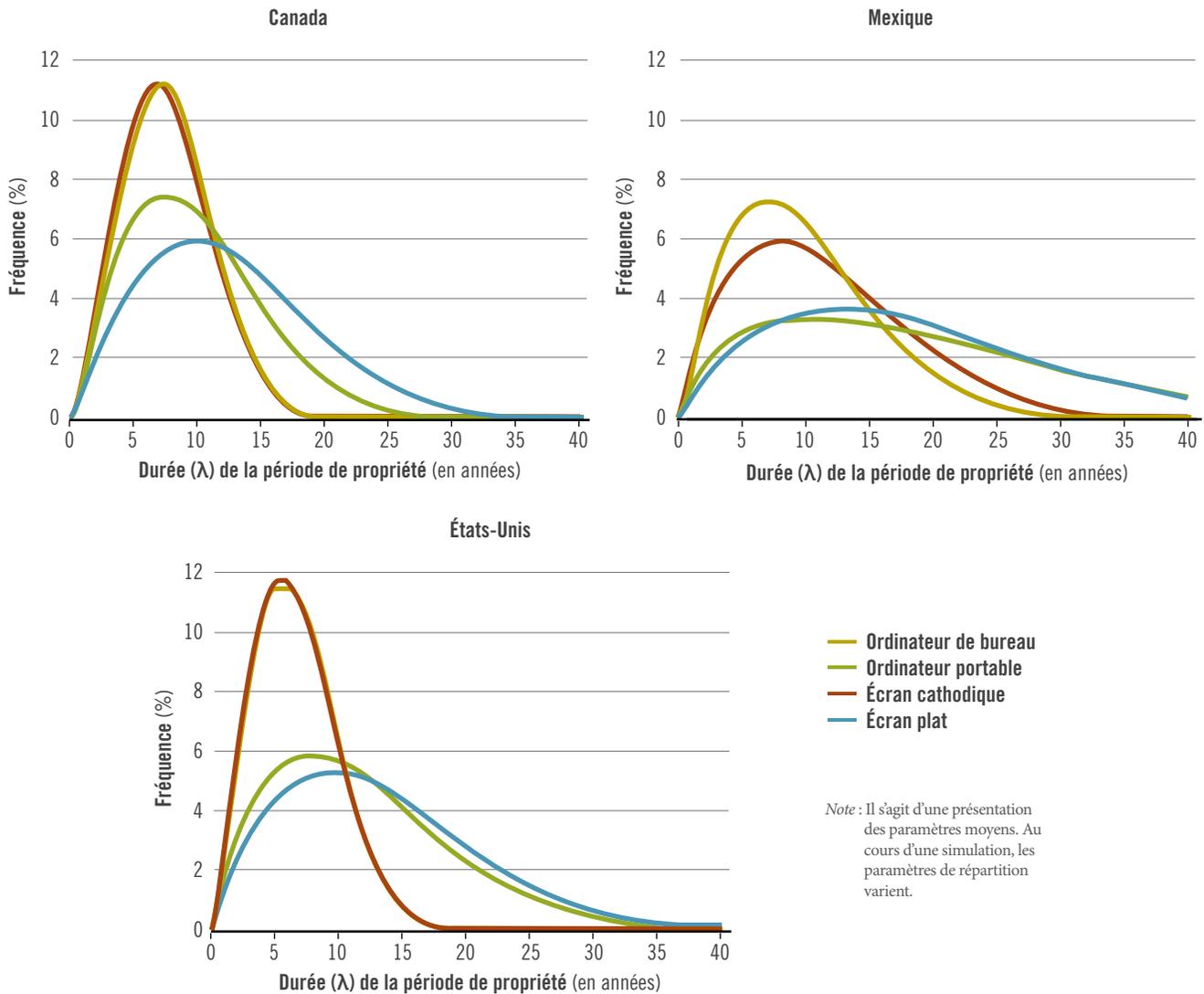
- iii. Détermination de l'année d'achat de chaque produit.
- iv. Utilisation de la version 12.1 du logiciel Stata[®] pour obtenir des courbes de survie Kaplan-Meier (K-M) et, par la suite, des régressions de Weibull à l'égard de tous les produits. Il faut utiliser l'une de ces courbes et une régression de Weibull connexe pour chaque année d'achat.
- v. Application de paramètres de régression de Weibull supplémentaires avec les courbes K-M.
- vi. Conversion des résultats de la régression de Weibull en une fonction de densité de probabilité, laquelle servira de moyen de répartition de la durée d'une période de propriété.
- vii. Variation d'un intervalle de confiance de 95 % des paramètres de régression au cours de la simulation de Monte Carlo, afin que toute la répartition se déplace d'un an vers la gauche ou vers la droite pour mesurer la marge d'erreur acceptable dans le degré de précision des réponses.

La figure 8 (voir page suivante) illustre la durée moyenne de la période de propriété (λ) à l'égard de chaque produit, autant au Canada qu'au Mexique et aux États-Unis. Le tableau 15, à l'annexe 3, expose les paramètres de répartition moyenne. Il faut se rappeler que ces résultats ont été obtenus dans le cadre d'enquêtes indépendantes, et que la similarité de ces résultats confirme la validité de l'enquête et de la méthode de modélisation.

Il faut également noter que la durée moyenne de la période de propriété (λ) au Canada et aux États-Unis est comparable à l'égard de l'ensemble des produits, contrairement au Mexique. C'était à prévoir, compte tenu du fait que l'économie est analogue dans les deux premiers pays, tel que cela est mentionné dans l'introduction. En outre, étant donné que les ordinateurs portables et les écrans plats sont sur le marché depuis moins longtemps que les ordinateurs de bureau et les écrans cathodiques, cela se répercute sur les ensembles de données, de telle manière que la durée (λ) qu'ils expriment est artificiellement un peu plus longue. Une modélisation plus perfectionnée des données peut permettre de corriger cette incidence, le cas échéant.

La modélisation de la prédiction de la génération de produits usagés dans le secteur résidentiel doit aussi tenir compte de la répartition lognormale de la durée (désignée par la lettre *delta* [δ]) jusqu'à ce qu'un produit électronique soit réutilisé. Étant donné que tous les produits ne sont pas réutilisés et que ceux qui le sont ont tendance à être en meilleur état, la période de propriété la plus généralisée est vraisemblablement plus longue que le laps de temps écoulé jusqu'à ce qu'un produit soit réutilisé. Compte tenu de la structure des questions posées dans les enquêtes, la meilleure approximation est celle que donne la modélisation de la répartition de la durée de vie des produits électroniques

Figure 8 : Répartition de la durée de la période de propriété (λ) de chaque produit au Canada, au Mexique et aux États-Unis



préalablement considérés comme « mis au rebut » dans la catégorie de réutilisation informelle (voir l'annexe 3). Cette démarche ne vise pas les produits électroniques que l'on expédie aux recycleurs et qui sont ultérieurement réutilisés, ni les produits qui se trouvent encore dans les résidences et qui ont été achetés usagés. Là encore, il s'agit d'une approximation raisonnable.

Calcul de la quantité de produits qui devraient être générés dans le secteur résidentiel au cours d'une année donnée en recourant à l'information sur les ventes et la durée de vie

Cette étape avait pour but d'estimer la quantité de produits générés dans le secteur résidentiel au cours d'une année

donnée. Il a donc tout d'abord fallu préciser quelles sont les activités d'« élimination » qui donnent lieu à une génération de produits usagés; comme l'indique la méthode tirée de la documentation, la réutilisation informelle ne doit pas être considérée comme de la génération (voir l'annexe 3). Ensuite, il s'agit de modéliser la quantité de produits électroniques qui ne sont utilisés qu'une seule fois avant l'étape de la génération (O), ceux qui sont informellement réutilisés avant cette étape (I), et ceux qui sont formellement réutilisés après un premier cycle de génération et de collecte (C). Dans l'équation 1, la quantité générée chaque année est modélisée, en tenant compte de l'année à laquelle débute la période de propriété des produits achetés pour être réutilisés (I et C), et en fonction de la répartition du laps de

temps pendant lequel un produit est réutilisé. En raison des contraintes liées aux données fournies par les questions de l'enquête, il a fallu appliquer la même période de propriété (λ) aux produits usagés et neufs. Idéalement, il aurait fallu distinguer leur répartition, car la durée de fonctionnement des produits usagés est vraisemblablement plus courte.

Équation 1 : Génération au cours d'une année y en fonction des ventes et des périodes de propriété.

$$\text{Génération}(y) = \sum_s^y \text{Ventes} * \lambda(y - s)$$

Pour déterminer en quelle année (y) chaque groupe (O , I et C) est vraisemblablement généré, on a considéré que les achats de produits réutilisés (I et C) au cours d'une année donnée (s) sont fortement corrélés aux ventes de nouveaux produits au cours de la même année. Il est logique que la popularité des produits usagés avoisine celle des produits neufs. Les taux (β) d'achats de produits usagés et neufs tirés des données d'enquête entre les années 2000 et 2010 ont fait l'objet d'une modélisation afin de mesurer ce phénomène. L'étape suivante a consisté à évaluer approximativement la proportion (α) d'achats de produits usagés ayant eu lieu dans le cadre d'une réutilisation informelle (I), et ce, comparativement à la réutilisation formelle après les stades de la génération et de la collecte subséquente (C). Finalement, on a considéré que tous les achats de produits neufs au cours d'une année donnée ont fait l'objet d'une seule utilisation (O), moins ceux prévus comme allant être informellement réutilisés au cours des années ultérieures (I). Cette méthodologie est exposée en détail dans l'annexe 3. Le total de ces trois groupes est illustré de façon simple dans l'équation 2.

Équation 2 : Génération totale de produits électroniques usagés dans le secteur résidentiel au cours de l'année y .

$$\text{Génération}(y) = \text{Génération}_O(y) + \text{Génération}_I(y) + \text{Génération}_C(y)$$

2.3.1.2 Génération de produits usagés dans les secteurs public et privé

Il faut rappeler que l'enquête relative au secteur résidentiel a porté sur chaque produit, tandis que celle sur les secteurs public et privé a porté sur des groupes de produits. Conséquemment, les étapes de la génération et de la collecte dans ces deux derniers secteurs donnent lieu à une amplification plus simple fondée sur les données d'enquête et de vente. Au cours de cette démarche, on a pris en compte les plus récents achats effectués en 2010 à partir des réponses aux enquêtes. Étant donné que les questions ne portaient que sur les achats les plus récents, il n'a pas été possible d'établir une série chronologique complète. Chaque produit (ordinateur de bureau, ordinateur portable, écran cathodique et écran

plat) a donné lieu à l'établissement d'un facteur d'échelle pour 2010 à l'aide de l'équation 3. Les facteurs d'échelle figurent dans les tableaux 15 et 16, à l'annexe 3.

Équation 3 : Facteur d'échelle relatif à la génération et à la collecte de produits électroniques dans les secteurs public et privé.

$$\text{Facteur d'échelle}(2010) = \frac{\text{Ventes}(2010)}{\text{Achats [tirés des enquêtes]}(2010)}$$

La simulation de Monte Carlo a donné lieu à une variation des données dans l'équation 3, soit $\pm 10\%$ de celles sur les ventes, ainsi que $\pm 5\%$ environ pour ce qui est des intervalles de confiance dans le cadre des enquêtes. Les facteurs d'échelle étant quelque peu différents d'un produit à un autre en raison d'inexactitudes dans les données d'enquête ou de ventes, il a fallu établir un facteur d'échelle moyen pour 2010 et l'appliquer aux estimations de tous les produits.

Pour arriver à effectuer des estimations de la génération et de la collecte de produits en 2010, comme le montre l'équation 4, les produits déclarés cette année-là en fonction des enquêtes ont été multipliés par les facteurs d'échelle. Ces facteurs ont pu varier en fonction d'un intervalle de confiance de 95 % dans la simulation de Monte Carlo. L'annexe 3 expose en détail la compilation des données d'enquête.

Équation 4 : Génération de produits électroniques dans les secteurs public et privé en 2010.

$$\text{Générés}(2010) = \text{Facteur d'échelle}(2010) * \text{Générés [tirés des enquêtes]}(2010)$$

2.3.2 Méthode du bilan massique

Pour arriver à effectuer des estimations de la génération de produits en 2010 dans le secteur résidentiel et les secteurs public et privé, il a fallu prendre en compte les réponses aux enquêtes relatives à ces secteurs dans chaque pays. Comme le montre la figure 7, intitulée *Analyse des flux de matériel exportés par un pays*, en fonction d'une analyse des flux de matériel à l'échelle nationale, la génération est approximativement la même que les flux F_{RI} du secteur résidentiel et F_{PuPri} des secteurs public et privé. Pour mémoire, le flux d'ordinateurs et d'écrans d'un élément à un autre peut se désigner par l'abréviation F_{PuPri} , laquelle signifie « Flux [de produits électroniques] des secteurs public et privé vers les intermédiaires ».

En s'écartant légèrement de la méthodologie appliquée par Kahhat et Williams dans de précédents travaux, au cours de la présente étude, comme le montre l'équation 3, pour évaluer les flux de produits usagés dans les secteurs public et privé, il a fallu comparer les données de vente avec les achats déclarés dans les enquêtes. Dans cette équation, les

facteurs d'échelle relatifs à ces deux secteurs utilisés dans la MHCDOPC l'ont également été dans la méthode du bilan massique. On a précédemment mis le nombre de répondants dans le secteur résidentiel à l'échelle de la démographie parce que les données dont les chercheurs disposaient ne distinguaient pas celles du secteur résidentiel et celles des secteurs public et privé. Une fois le facteur d'échelle établi en fonction de la démographie, on a pu estimer les ventes dans le secteur résidentiel; le reste des ventes constituant celles des secteurs public et privé.

Dans la présente étude, la ventilation des données de vente a permis d'estimer les facteurs d'échelle dans les trois secteurs en recourant directement à ces données. Ces facteurs ont pu varier en fonction d'un intervalle de confiance de 95 %.

2.3.3 Comparaison avec d'autres sources

2.3.3.1 Au Canada

La société PHA Consulting Associates (2006) a appliqué les données commerciales américaines tirées d'un rapport établi en 2003 par l'*International Association of Electronics Recyclers* (IAER, Association internationale des recycleurs de produits électroniques), qui a fusionné depuis avec l'*Institute of Scrap Recycling Industries* (Institut des entreprises de recyclage des rebuts) afin d'élaborer un modèle estimant la quantité de produits électroniques usagés générés au Canada. Bien que les produits collectés aient pu être évalués au moyen de ce modèle, ils n'ont pas été déclarés. Le modèle prenait en compte les données sur les ventes annuelles, la durée escomptée du cycle de vie des produits et leur poids unitaire dans le but d'estimer le poids de ceux qui circulent dans les diverses composantes du système, soit de leur première vie à leur réutilisation, entreposage, recyclage et élimination, comme l'expose en détail la référence [17]. Le modèle suppose que parmi la plupart des produits électroniques, en 2010, 40 % ont été réutilisés de façon informelle (en évitant les collecteurs) et 10 % entreposés. Les 50 % restants ont été répartis entre le recyclage et l'élimination. Les hypothèses de durée de vie au cours de la première utilisation proviennent d'une variété de documents nord-américains, et cette durée était en moyenne de 3,5 ans pour les ordinateurs de bureau et de 3,4 ans pour les ordinateurs portables.

2.3.3.2 Au Mexique

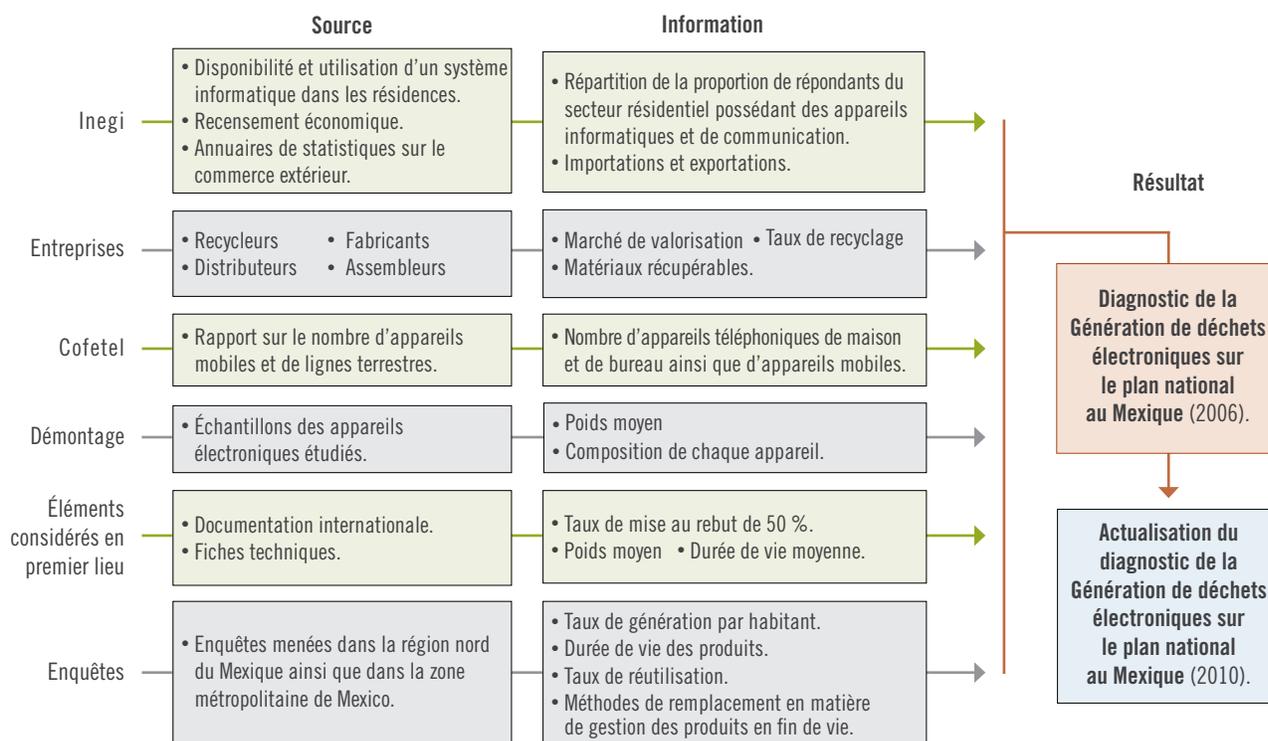
En 2006, l'*Instituto Politécnico Nacional* (IPN, Institut polytechnique national) a évalué la génération des déchets électroniques au Mexique pour le compte de l'*Instituto Nacional de Ecología* (INE, Institut national d'écologie) [18], et son auteur, Guillermo J. Román Moguel, a mis cette évaluation à jour pour l'année 2010 [19].

Étant donné que la génération vise des produits qui vont être réutilisés et entreposés (40 % dans l'ensemble), les chiffres obtenus par comparaison ont été adaptés pour atteindre une proportion se situant jusqu'à 60 % de celle des estimations. La durée de vie était en moyenne de 5 ans pour les ordinateurs de bureau et de 3 ans pour les ordinateurs portables.

La première étape du projet a consisté à analyser l'information tirée des rapports nationaux officiels, et de se servir des données nationales dénotant des comportements similaires et provenant des mêmes enquêtes et sources. Ces données ont permis d'établir des inventaires du matériel électronique usagé mis au rebut. Les principales sources d'information utilisées au Mexique sont énumérées ci-dessous. La figure 9 illustre celles qui ont servi à connaître la quantité de matériel électronique générée dans ce pays. Ces travaux ont également permis de valider la moyenne de poids et de durée de vie de ces déchets ainsi que leur destination.

1. Les rapports officiels des « générateurs » (des hypothèses préalables ont notamment visé l'ampleur du système à analyser, ainsi que les échantillons, les importations, les exportations, les données figurant dans les dossiers gouvernementaux, la durée déclarée et l'omission de produire une déclaration).
2. Les rapports sur les déchets électroniques traités par des entreprises (il a fallu avancer des hypothèses particulières, car les entreprises n'ont pas reçu tout le matériel mis au rebut, sans compter que celles-ci n'ont pas toujours déclaré tout le matériel qu'elles recevaient, comme c'est le cas pour les déchets solides municipaux et d'autres sortes de déchets).
3. Les estimations se sont fondées sur des indicateurs économiques et des comparaisons avec des rapports établis dans les autres pays (le nombre d'employés; les mêmes procédés donnent lieu aux mêmes résidus).
4. Des projections à l'égard de l'ensemble du pays fondées sur de l'information provenant de zones ou de régions géographiques.
5. Les calculs fondés sur des applications informatiques.
6. Les calculs fondés sur la consommation (utilisation) des produits avant leur élimination.
7. Des calculs fondés sur le bilan en matériel dans le pays : production + importations – exportations = potentiel d'accumulation des résidus.
8. Recours aux enquêtes menées auprès de la population sur la consommation et l'élimination des produits électroniques.

Figure 9 : Étapes méthodologiques d'établissement d'un diagnostic national des déchets électroniques au Mexique



2.3.3.3 Aux États-Unis

L'EPA des États-Unis s'est penchée sur la génération et la collecte de produits électroniques usagés à plusieurs reprises. La méthode générale que la société ICF International a appliquée lors de l'élaboration d'un document pour le compte de l'*Office of Resource Conservation and Recovery* (ORCR, Bureau de la conservation et de la récupération des ressources) de l'EPA était destinée à modéliser l'année au cours de laquelle un produit électronique est prêt à faire l'objet d'une gestion en fin de vie, et ce, en fonction de la date de son achat, de l'année au cours de laquelle il a atteint sa limite d'utilisation et de la prévision des habitudes d'entreposage [9]. Ce rapport a consisté à mettre à jour des rapports antérieurs de l'EPA. Les données sur les ventes ont été évaluées approximativement en prenant en compte les données sur les expéditions des fabricants au lieu de celles sur les ventes au détail; ces données sur les expéditions font état de certains produits qui, en fin de compte, n'ont pas été vendus aux consommateurs. Ces chiffres proviennent de l'International Data Corporation (IDC), de la Consumer Electronics Association (CEA) et de sources documentaires connexes. Les rapports de la société Gartner, les données de l'IDC et la documentation ont servi à déterminer la proportion des ventes dans les marchés commercial et résidentiel. Par ailleurs, les guides d'achat de la revue *Consumer Reports* et les fiches techniques des produits provenant

du fabricant ont servi à compiler des données sur le poids moyen de ces produits.

Les estimations de la durée de vie, à savoir l'âge d'un produit lors de sa gestion en fin de vie, ont été effectuées distinctement à l'égard des propriétaires résidentiels et commerciaux. Une étude menée en 2006 par le *Department of Environmental Protection* (DEP, ministère de la Protection de l'environnement) de la Floride a servi, conjointement avec des enquêtes industrielles, des entrevues de spécialistes et des examens documentaires, à estimer la durée de vie des produits et les habitudes d'entreposage dans le secteur résidentiel. En ce qui concerne les ordinateurs de bureau, les ordinateurs portables, les écrans cathodiques et les écrans plats, leur durée de vie moyenne dans ce secteur a été respectivement estimée à 12,25, 5,9, 9 et 9 ans. En ce qui concerne le secteur commercial, ces produits électroniques se sont vu attribuer une durée de vie moyenne de 4,6 ans en fonction de l'hypothèse voulant que « les unités centrales des ordinateurs de bureau, les ordinateurs portables, les imprimantes et les écrans d'ordinateur sont en usage durant 3 à 5 ans, après quoi 20 % d'entre eux sont entreposés pendant pas plus de deux années supplémentaires. [Ils] sont d'avis que cette estimation de deux ans d'entreposage est prudente, mais qu'elle illustre le fait que les entreprises commerciales sont moins susceptibles que les utilisateurs résidentiels d'entreposer des produits pendant de longues périodes » [Traduction] [9].

En outre, une étude exhaustive des déchets solides municipaux menée jusqu'en 2011 par l'Office of Solid Waste (OSW, Service des déchets solides) de l'EPA a fourni des estimations de certains produits électroniques grand public, tels que les téléviseurs, les magnétoscopes à cassette et les ordinateurs personnels qui sont « générés » (sont en fin de vie), mis au rebut et récupérés [20]. Un modèle d'obsolescence des produits a servi à évaluer la durée de vie moyenne de ces produits. La figure 10 illustre les tendances dans la génération de certains produits électroniques grand public par rapport à la mise au rebut et à la récupération (désignée « collecte » dans cette étude).

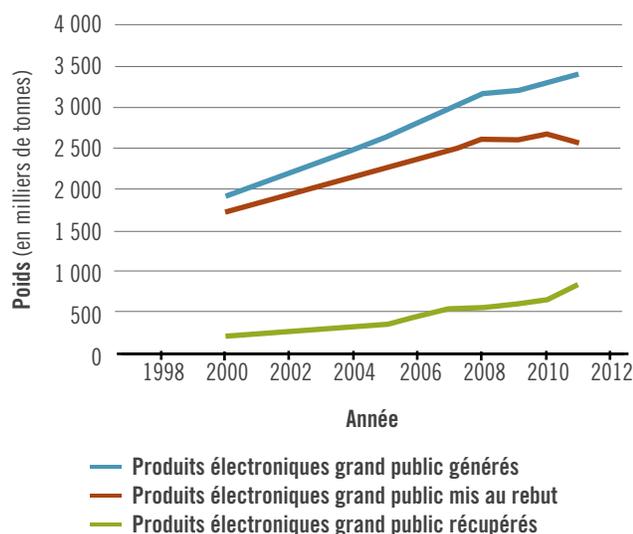
2.4 Collecte

2.4.1 Méthode hybride de collecte de données sur l'obsolescence des produits commerciaux

2.4.1.1 Collecte dans le secteur résidentiel

Afin de calculer la quantité de produits électroniques usagés collectée dans le secteur résidentiel, on a appliqué un taux de collecte à la quantité générée au cours d'une année (y). Ce taux distingue les produits qui sont collectés de ceux qui sont jetés aux ordures. L'équation 5 illustre la simplicité du calcul auquel donne lieu cette méthode, laquelle normalise essentiellement le devenir déclaré des produits en fin de vie qui ne s'applique qu'à la génération. Toutefois, selon la source des données, il est possible de tenir compte de plusieurs autres devenirs, dont l'entreposage ou la réutilisation informelle, mais on n'en tient pas compte dans la présente étude. Dans l'équation 6, le taux est appliqué à la quantité générée la même année pour obtenir la quantité collectée.

Figure 10 : Tendances dans le poids de certains produits électroniques grand public générés, mis au rebut et récupérés



Source : USEPA OSW, 2013 [20].

Équation 5 : Taux de collecte en fonction des données d'enquête.

$$\text{Taux de collecte (y)} = \frac{\% \text{ collectés (y)}}{(\% \text{ collectés (y)} + \% \text{ jetés aux ordures (y)})}$$

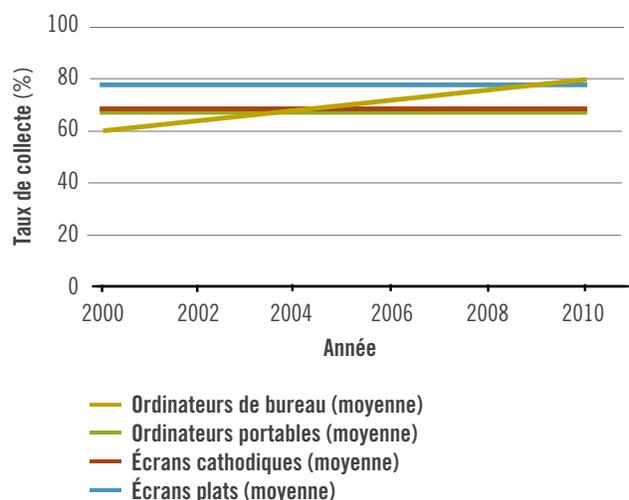
Équation 6 : Quantité collectée.

$$\text{Collectée (y)} = \text{taux de collecte(y)} * \text{générée (y)}$$

Au Canada

Afin d'estimer le taux de collecte relatif à chaque produit au fil du temps, on s'est servi des données d'enquête recueillies sur le secteur résidentiel canadien dans le cadre de la présente étude. En outre, en 2012, la société Samsung Canada a résumé les résultats d'une enquête auprès de 1 004 adultes canadiens choisis au hasard, avec une marge d'erreur de 3,1 %. Ces résultats ont suscité la remarque suivante : « Les Canadiens ne savent peut-être pas exactement quoi faire avec leurs vieux appareils ou déchets électroniques, car 1 répondant sur 3 (35 %) a déclaré que ses vieux produits ne font qu'attirer la poussière qui se trouve dans sa maison, alors que 1 sur 10 a avoué jeter ses déchets électroniques aux ordures » [Traduction] [21]. En recourant aux données de ce résumé d'enquête dans l'équation 5, le taux de collecte en 2012 a été de 85 %. Le nombre de points de données s'est avéré suffisant pour établir une tendance chronologique à l'égard des ordinateurs de bureau, mais lorsque ce nombre n'était pas suffisant, il a fallu recourir à des valeurs moyennes et à un écart type des données pour ce qui est des autres produits. Ce point de données de Samsung ressemble beaucoup au taux de collecte extrapolé à partir des données d'enquête de la présente étude. On a ensuite tenu compte du même point de données de Samsung dans l'estimation du taux de collecte relatif à tous les produits. Pour ce qui est de la série chronologique sur les ordinateurs de bureau, l'estimation du taux de collecte au cours d'une année donnée a varié de ± 10 %. La figure 11 expose les taux moyens estimés.

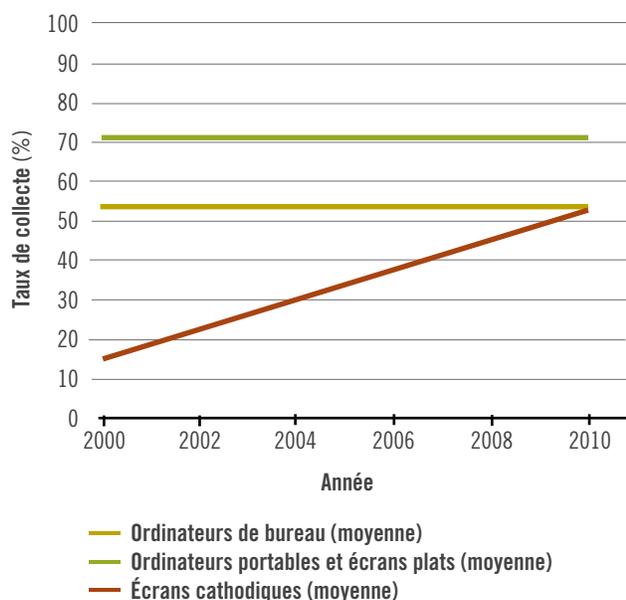
Figure 11 : Estimation des taux moyens de collecte de produits électroniques usagés dans le secteur résidentiel au Canada



Au Mexique

Afin d'estimer le taux de collecte relatif à chaque produit au fil du temps, on s'est servi des données d'enquête recueillies sur le secteur résidentiel mexicain dans le cadre de la présente étude. En 2007, un bilan matériel des produits électroniques usagés au Mexique a permis d'estimer que 3 % de ces produits étaient recyclés et 5 % mis au rebut, ce qui donne un taux de collecte de 60 % dans l'équation 5 [18]. Les estimations de ce taux pour tous les produits ont tenu compte de ce point de données. Bien que les données de collecte de la figure 15 puissent servir à établir des comparaisons, la méthode à cette fin n'étant pas claire, on a choisi de ne pas se servir de ces données. Le nombre de points de données s'est avéré suffisant afin d'établir une tendance chronologique pour les écrans cathodiques, mais lorsque ce nombre ou les tendances n'étaient pas suffisants, il a fallu recourir à des valeurs moyennes et à un écart type des données pour ce qui est des ordinateurs de bureau et des ordinateurs portables, et remplacer le taux de collecte des ordinateurs portables par celui des écrans plats. La figure 12 expose les taux moyens estimés.

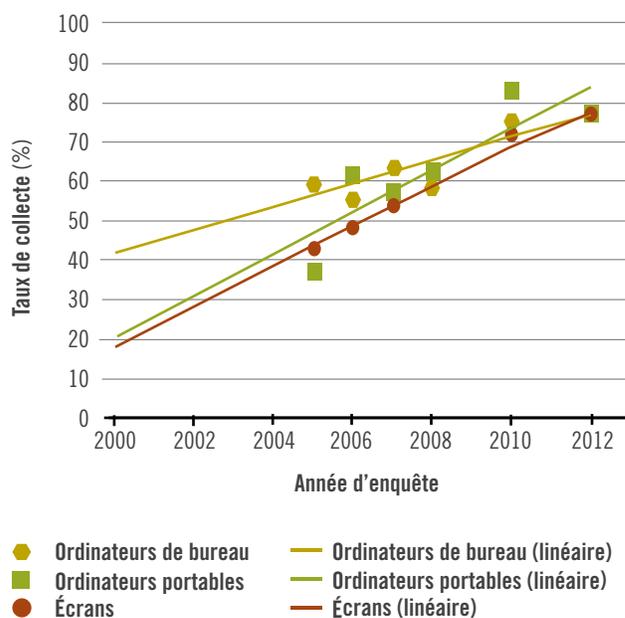
Figure 12 : Estimation des taux moyens de collecte de produits électroniques usagés dans le secteur résidentiel au Mexique



Aux États-Unis

Bien que l'on aurait pu établir directement les taux de collecte à partir des données d'enquête ayant servi à élaborer le modèle de génération, une démarche plus rigoureuse aurait consisté à se servir des résultats de plusieurs enquêtes (dont l'enquête utilisée pour le modèle de génération),

Figure 13 : Estimation des taux moyens de collecte de produits électroniques usagés dans le secteur résidentiel aux États-Unis en fonction de cinq enquêtes



menées, de 2005 à 2012, auprès de différents groupes de propriétaires d'ordinateur américains représentant le secteur résidentiel; certaines enquêtes portaient sur deux ans [14, 22–24].

La figure 13 présente l'estimation des taux de collecte des écrans (sans distinguer les écrans cathodiques des écrans plats), des ordinateurs portables et des ordinateurs de bureau obtenue à partir de toutes les enquêtes. Afin de tenir compte de l'incertitude suscitée par les données d'enquête et la régression, cette estimation au cours d'une année donnée a pu varier de ± 10 % par rapport à la régression linéaire de la simulation de Monte Carlo.

2.4.1.2 Collecte de produits usagés dans les secteurs public et privé

Afin d'obtenir une estimation des taux de collecte en 2010, au même titre que pour la génération et comme l'illustre l'équation 7, on a multiplié par les facteurs d'échelle les produits collectés cette année-là en fonction des réponses données au cours de l'enquête. Ces facteurs ont pu varier de leurs valeurs minimales à leurs valeurs maximales dans la simulation de Monte Carlo.

Équation 7 : Collecte de produits usagés en 2010 dans les secteurs public et privé

$$\text{Collectés (2010)} = \text{Facteur d'échelle (2010)} * \text{Collectés [tirés des enquêtes] (2010)}$$

2.4.2 Méthode du bilan massique

Afin d'obtenir une estimation des taux de collecte, au même titre que pour la génération, on a pris en compte, à partir des enquêtes, les produits générés en 2010 dans le secteur résidentiel et les secteurs public et privé de chaque pays. Comme l'illustre la figure 7, la collecte est sensiblement équivalente à la somme de tous les flux provenant des intermédiaires, à l'exception de ceux dirigés vers les lieux d'enfouissement, comme le montre l'équation 8. Toutefois, étant donné que l'on ne connaissait pas la quantité des flux d'exportation (F_{IEx}), on estime la collecte au moyen de l'équation 9. Il est possible d'obtenir une quantité équivalente en soustrayant les flux vers les lieux d'enfouissement de l'estimation de la quantité générée. Pour mémoire, le flux d'ordinateurs et d'écrans d'un élément vers un autre peut être désigné par l'abréviation F_{PuPr} , laquelle signifie « Flux [de produits électroniques] des secteurs public et privé vers les intermédiaires ».

Équation 8 : Total, par addition, des produits électroniques usagés collectés en appliquant la méthode du bilan massique.

$$Collecte = \sum F_{IR} + F_{IPuPr} + F_{IRc} + F_{IEx}$$

Équation 9 : Total, par soustraction, des produits électroniques usagés collectés en appliquant la méthode du bilan massique.

$$Collecte = Génération - F_{IL}$$

Afin de connaître la proportion de produits électroniques usagés que les intermédiaires dirigent vers les lieux d'enfouissement (F_{IL}), on a analysé les réponses aux enquêtes au sujet de l'élimination de ces produits en fin de vie. Le calcul du flux vers les lieux d'enfouissement a porté sur les secteurs public et privé, tout en donnant la possibilité de calculer distinctement la quantité collectée. L'élaboration de trois scénarios a tenu compte de l'incertitude liée à la destination réelle des produits. Le tableau 7 montre, tel que les répondants aux enquêtes l'ont indiqué, le chemin que les produits ont pris en fin de vie, ainsi que les chemins attribués à chaque scénario. Il faut noter que l'on n'a pas pris en compte l'entreposage, le don à un ami ou à un membre de la famille vivant sous le même toit, et le fait de ne pas mettre un produit au rebut, car ils ne constituaient pas un vrai chemin en fin de vie. Chaque scénario est expliqué ci-dessous en fonction de la figure correspondante. Par ailleurs, la MHCDOPC fait la distinction entre les deux sortes de réutilisation, informelle et formelle, comme le montre l'annexe 3.

Tableau 7 : Comparaison, dans le cadre de trois scénarios, du chemin pris par les produits en fin de vie tel que l'a prévu leur utilisateur et du chemin qu'ils ont réellement pris

Entreposé	Scénario de l'utilisation finale prévue (%)				Scénario de la diminution de la réutilisation (%)				Scénario de l'accroissement des exportations (%)			
	Réutilisé	Recyclé	Enfoui	Exporté	Réutilisé	Recyclé	Enfoui	Exporté	Réutilisé	Recyclé	Enfoui	Exporté
Donné à un ami ou à un membre de la famille (secteur résidentiel)												
N'a pas été mis au rebut												
Éliminé par collecte en bordure de rue			100			20	80				100	
Recyclé dans le cadre d'un programme de collecte en bordure de rue	10	90				100				70		30
Apporté dans un centre de recyclage	10	90				100				70		30
Rapporté au détaillant	10	90				100				70		30
Apporté à la municipalité dans le cadre d'une collecte spéciale	10	90				100				70		30
Réexpédié au fabricant	10	90				100				70		30
Donné à un ami ou à un membre de la famille (habitant ailleurs)	90	10			80	20			80			20
Donné à un organisme de bienfaisance	90	10			60	40			60			40
Autre forme de don	90	10			60	40			60			40
Rapporté au vendeur à la fin d'une location-bail	90	10			70	30			70			30
Vendu en ligne (p. ex., eBay)	90	10			70	30			70			30
Vendu localement	90	10			70	30			70			30
Vendu à une connaissance, à un ami ou à un membre de la famille	90	10			80	20			80			20
Autre				100				100				100

Note : Les couleurs renvoient à la figure 7, qui illustre l'analyse des flux de matériel exportés par un pays.

- 1) Scénario de l'utilisation finale prévue : Se fonde sur un lien direct entre l'intention du consommateur en fin de vie d'un produit et le chemin qu'il a réellement pris.
 - a) On a supposé que les ordinateurs dirigés vers des reconditionneurs, des sociétés de location-bail et des organismes de bienfaisance étaient réutilisés dans une proportion de 90 %; le reste était recyclé.
 - b) 90 % des ordinateurs usagés qui sont vendus sont réutilisés; le reste était recyclé.
 - c) 90 % des ordinateurs usagés rapportés à des détaillants, expédiés à des fabricants, et apportés à des municipalités ainsi qu'à des points de dépôt étaient recyclés et 10 % réutilisés, y compris les pièces.
 - d) Tous les ordinateurs jetés aux ordures prenaient la direction des lieux d'enfouissement (lorsqu'on a assumé qu'ils n'étaient pas collectés de façon informelle en bordure de rue et qu'il n'existait pas de centres de transbordement où les ordinateurs étaient récupérés aux fins du recyclage).

- 2) Scénario de la diminution de la réutilisation : Modifie le précédent scénario de la fin de vie envisagée en assumant un faible taux de reconditionnement et un plus fort taux de recyclage sur le plan national.
 - a) Les ordinateurs dirigés vers des reconditionneurs et des sociétés de location-bail étaient réutilisés dans une proportion de 70 %; le reste était recyclé.
 - b) Les ordinateurs donnés à des organismes de bienfaisance étaient réutilisés dans une proportion de 60 %; le reste était recyclé.
 - c) 80 % des ordinateurs donnés à un membre de la famille, à un ami ou à une connaissance étaient réutilisés; le reste était recyclé.
 - d) 70 % des ordinateurs usagés vendus étaient réutilisés; le reste était recyclé.
 - e) 100 % des ordinateurs rapportés à des détaillants, expédiés à des fabricants, et apportés à des municipalités ainsi qu'à des points de dépôt étaient recyclés.
 - f) 80 % des ordinateurs jetés aux ordures prenaient la direction des lieux d'enfouissement.
 - g) Le reste était recyclé (par l'entremise de centres de transbordement ou de récupérateurs en bordure de rue).

- 3) Scénario de l'accroissement des exportations : Modifie la fin de vie envisagée afin de favoriser les exportations.
 - a) Les ordinateurs dirigés vers des reconditionneurs et des sociétés de location-bail étaient réutilisés sur le plan national, dans une proportion de 70 %; le reste était exporté.
 - b) Les ordinateurs donnés à des organismes de bienfaisance étaient réutilisés dans une proportion de 60 %; le reste était exporté.
 - c) 80 % des ordinateurs donnés à un membre de la famille, à un ami ou à une connaissance étaient réutilisés sur le plan national; le reste était exporté.
 - d) 70 % des ordinateurs usagés vendus étaient réutilisés sur le plan national; le reste était exporté.
 - e) 70 % des ordinateurs rapportés à des détaillants, expédiés à des fabricants, et apportés à des municipalités ainsi qu'à des points de dépôt étaient recyclés; le reste était exporté.
 - f) 100 % des ordinateurs jetés aux ordures prenaient la direction des lieux d'enfouissement.

2.4.3 Comparaison avec d'autres sources

2.4.3.1 Au Canada

Au Canada, la plupart des provinces (l'Alberta, la Colombie-Britannique, le Manitoba, Terre-Neuve, la Nouvelle-Écosse, l'Ontario, l'Île-du-Prince-Édouard, le Québec et la Saskatchewan) ont instauré des programmes de collecte des produits électroniques usagés. Ces programmes impliquent la rémunération des transformateurs de ces produits, ce qui favorise leur collecte et la participation à ces programmes. Plusieurs de ces provinces (l'Alberta, la Colombie-Britannique, Terre-Neuve, l'Ontario et la Saskatchewan) ont entrepris de tels programmes depuis 2010, l'année visée par la présente étude. Les rapports annuels diffèrent quant au début et à la fin des exercices financiers, tout autant qu'à l'égard des quantités qu'ils déclarent (poids par rapport au nombre d'unités) [25–33]. Certains font état du poids total, d'autres du poids par produit et d'autres de la quantité de produits. Pour connaître le nombre total d'ordinateurs et d'écrans collectés, on a formulé des hypothèses raisonnables, dont les suivantes :

- Les quantités déclarées en 2010 ainsi que la moyenne de celles déclarées durant les exercices financiers voisins, dont juin 2009 à juillet 2010 et juin 2010 à juillet 2011.
- La conversion des quantités unitaires en poids en utilisant les mêmes poids unitaires que pour les autres modèles figurant dans le tableau 5, en se fondant sur des données empiriques américaines relatives à la collecte.
- L'hypothèse voulant que le rapport de poids des ordinateurs collectés en fonction de la totalité de ceux collectés dans une province (12 % en Colombie-Britannique) s'applique à toutes les provinces. Avant mars 2011, la Colombie-Britannique était la seule province à inclure aux produits visés quelques autres produits ignorés jusque-là, tels que les antennes paraboliques, les terminaux portables de point de vente et les rétroprojecteurs, ce qui fait que cette hypothèse semble raisonnable [34].
- L'hypothèse voulant que le rapport de poids des ordinateurs collectés en fonction de la moyenne de ceux collectés dans quelques provinces (1,9 en Colombie-Britannique, en supposant qu'un tiers

du poids des appareils figurant dans la catégorie des téléviseurs et des écrans est celui des écrans, 1,3 dans les chiffres redressés de l'Ontario⁶, 1,5 en Saskatchewan) s'applique à toutes les provinces.

- L'hypothèse, à l'instar de celle de l'EPA (2011), que les provinces ne disposant pas d'un programme en 2010 avaient un taux de collecte de 0,45 kg par habitant. On a ensuite multiplié ce taux par le nombre d'habitants [35].

Il faut noter que l'imposante collecte de produits, notamment dans les entreprises, se produit en dehors du cadre officiel des programmes de collecte [36], ce qui fait que les chiffres représentent probablement une sous-estimation du volume collecté.

En outre, plusieurs provinces ont fait état d'études sur les lieux d'enfouissement donnant une estimation de la quantité de produits électroniques qui se trouvent dans les déchets solides municipaux [37–41]. On a appliqué aux provinces dotées d'un programme de collecte en 2010 le taux pondéral des ordinateurs et des écrans par habitant obtenu dans deux provinces par extrapolation rétrospective (0,15 kg en Nouvelle-Écosse et 0,13 kg en Alberta). Étant donné que le taux de collecte de 0,45 kg par habitant dans les provinces disposant d'un tel programme en 2010 était le double de celui des provinces qui n'en disposaient pas, on a attribué à ces dernières un taux représentant environ le double du taux d'enfouissement, soit 0,30 kg par habitant.

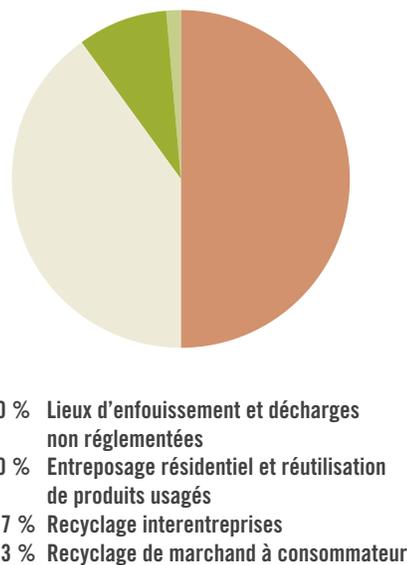
2.4.3.2 Au Mexique

On a estimé la collecte des produits électroniques en associant les estimations de la génération de Román Moguel (2012) à une probabilité quant au chemin que prennent généralement ces produits usagés en fin de vie. À la suite de la définition des termes « génération » et « collecte » utilisés dans la présente étude, on a attribué un taux de recyclage (collecte) de 20 % aux lieux d'enfouissement qui a servi à estimer la génération. La figure 14 illustre les chemins que prendront probablement les produits usagés en fin de vie.

2.4.3.3 Aux États-Unis

Comme précédemment, on s'est servi des rapports de l'EPA pour comparer les quantités de produits usagés générés afin de comparer celles collectées. L'EPA (2011) s'est fondée sur les données provenant d'États qui disposent d'un programme de recyclage de ces produits pour estimer la proportion collectée dans le secteur résidentiel, et ce, par rapport à celle des produits éliminés. On a par ailleurs établi que les

Figure 14 : Chemins pris par les produits électroniques usagés en fin de vie au Mexique



Source : Román Moguel, 2012 [19].

États sans un tel programme montraient un faible taux de collecte (0,5 kg par habitant). Une enquête menée auprès de recycleurs a révélé que les deux tiers des produits collectés provenaient du secteur privé. Étant donné que le programme de la Californie visait aussi les entreprises, on a dû recalculer les chiffres du secteur résidentiel en prenant en compte cette proportion de deux tiers. On a estimé qu'en fonction du poids, le taux général de recyclage des produits électroniques générés pour 2010 était de 27 %, et que celui de recyclage des ordinateurs était de 40 %. Les auteurs ont déclaré que cette estimation suscitait une « forte incertitude » [9].

À l'instar de la génération, on a procédé à une comparaison avec une étude exhaustive menée en 2010 par l'Office of Solid Waste (OSW) de l'EPA. Elle a permis d'estimer les téléviseurs, les magnétoscopes à cassette et les ordinateurs personnels qui sont « générés » (en fin de vie), mis au rebut et récupérés [20]. La figure 10 illustre les tendances en termes de poids au fil du temps.

Daoud (2011) a effectué une enquête représentative des pratiques de 182 recycleurs américains de produits électroniques en 2010 [8] afin d'estimer chacun de ces produits. Cette enquête a aussi visé à connaître la source des produits dirigés vers le recyclage, que ce soit dans le secteur résidentiel ou dans les secteurs public et privé, permettant ainsi de comparer les résultats obtenus.

6. Le nombre d'écrans déclarés dans les rapports était excessivement élevé (constat confirmé par les gestionnaires de programme), alors que le poids total des produits collectés laissait supposer des volumes de collection bien plus faibles. Conséquemment, on a estimé que la collecte d'écrans était équivalente à celle des ordinateurs de bureau.

2.5 Exportations

2.5.1 Méthode hybride de collecte de données sur l'obsolescence des produits commerciaux

Compte tenu du fait que plusieurs organismes ont collecté les données commerciales dans chaque pays, leur contenu et leur degré de ventilation varient. Il sera tout d'abord question de la méthode hybride de collecte de données sur l'obsolescence des produits commerciaux (MHCDOPC) dans son ensemble et, ensuite, de son application en fonction des données disponibles dans chaque pays. À titre de rappel, en ce qui concerne les exportations, la MHCDOPC a recours à des données commerciales détaillées et ventilées afin d'évaluer la quantité de produits électroniques usagés qui sont exportés. Pour ce faire, les étapes sont les suivantes :

1. Collecte et ventilation des données commerciales détaillées sur les exportations.
2. Estimation des seuils de la valeur unitaire qui différencient les produits neufs et usagés à destination de différentes régions du monde.
3. Somme de la quantité de produits exportés des États-Unis vers des pays partenaires avec une valeur unitaire inférieure au seuil.
4. Estimation de la réexportation potentielle des exportations nationales en menant une enquête sur les activités de réexportation des principaux partenaires commerciaux.

2.5.1.1 Collecte et ventilation des données commerciales détaillées sur les exportations

Cette étape donne lieu à la modélisation de la valeur unitaire de chaque produit expédié. Même si l'on connaît chaque dossier d'expédition, seules la valeur totale d'une expédition et la quantité de produits sont déclarées, pas leur valeur unitaire. Afin de modéliser plus précisément la valeur du matériel exporté, il faut trouver des données commerciales détaillées et ventilées sur les exportations. Lorsqu'on ne dispose pas de ces données sur les expéditions, on peut se servir de données portuaires ou de district, comme cela est indiqué à la fin de la présente section. Idéalement, les ensembles de données de remplacement comprendraient celles sur les éléments suivants :

- La déclaration mensuelle des activités commerciales.
- La valeur (v), la quantité (q) et le poids (p).
- La ventilation des exportations nationales (ayant pour origine le pays exportateur) afin de les distinguer de celles réexportées (ayant pour origine un pays partenaire).
- La ventilation des modes de transport.
- La mise à disposition des codes commerciaux à 10 chiffres.

Le tableau 8 indique quels sont les codes des ordinateurs et des écrans. Les codes américains à 10 chiffres ont servi à estimer les quantités d'ordinateurs de bureau accompagnés d'un écran cathodique (codes d'exportation 8471410110 et 8471500110 de la *Schedule B* [annexe B]). Étant donné que l'on a supposé que tous les écrans cathodiques étaient usagés, on a aussi supposé que les ordinateurs exportés accompagnés d'un tel écran étaient eux aussi usagés. Les données sur les exportations mexicaines ne distinguaient pas les ordinateurs de bureau accompagnés d'un écran cathodique des ordinateurs qui n'en étaient pas accompagnés, ce qui donne à penser que les écrans cathodiques sont sous-estimés au Mexique.

Tableau 8 : Codes d'exportation par produit

Produit	Produit particulier	Code d'exportation
Ordinateurs de bureau	Ordinateurs de bureau	847141
	Serveurs	847149
	Autres ordinateurs de bureau	847150
Ordinateurs portables	Ordinateurs portables	847130
Écrans cathodiques	Avec ordinateur de bureau	8471410110 (É.-U.)
	Avec autre ordinateur de bureau	8471500110 (É.-U.)
	Écrans d'ordinateur personnel	852841
	Écrans de contrôle vidéo	852849
Écrans plats	Écrans d'ordinateur personnel	852851
	Écrans de contrôle vidéo	852859

2.5.1.2 Estimation des seuils de la valeur unitaire qui différencient les produits neufs et usagés à destination de différentes régions du monde

À l'instar de celle de Terazono (2008), la présente étude prend en compte les exportations de produits usagés dont la valeur unitaire est inférieure aux seuils, et que celle qui y est supérieure est attribuable à des produits neufs. Il faut cependant noter qu'aucun écran cathodique neuf n'est exporté à partir de l'Amérique du Nord, car très peu d'entre eux sont actuellement fabriqués à l'échelle mondiale et aucun ne l'a été en 2010 selon les auteurs de cette étude. Conséquemment, ils ont assumé que tous les écrans cathodiques exportés sont réutilisés malgré leur valeur unitaire moyenne.

L'application de la notion de seuil suppose que celui relatif à un type de produits, que ceux-ci soient usagés ou neufs, est uniforme dans une région donnée. La Banque mondiale a divisé les régions du monde en groupes de pays selon leur niveau de revenu [42] et les Nations Unies les ont divisées

en régions macrogéographiques⁷ [43]. Les données américaines sont ventilées selon le type de transport, à savoir maritime, aérien ou terrestre. La valeur seuil z constitue le « creux » entre les produits usagés et neufs dans le cadre d'une répartition bimodale, comme le montre la figure 15 à l'aide de données hypothétiques.

On a obtenu les valeurs seuils en appliquant deux méthodes distinctes aux fins de comparaison. La première se fonde sur le point de croisement de deux courbes (la NVEM, acronyme pour *Neighborhood Valley-Emphasis Method*) pour chaque destination dans une région du monde [44]. L'hypothèse retenue veut que le prix des exportations varie en fonction de la destination. Cette méthode permet de trouver la valeur seuil optimale (z^*), laquelle maximise simultanément l'écart entre les deux modes (les produits

usagés et neufs dans la présente étude) et minimise la probabilité que la valeur unitaire se situe au seuil optimal ou alentour de ce seuil. La figure 16 illustre la plage du seuil que l'on trouve avec la NVEM en utilisant les données sur les exportations américaines et les répartitions approximatives (on connaît les moyennes, mais pas les écarts) qui se superposent dans l'histogramme. La gamme de seuils est due à l'incertitude de la démarche de la NVEM.

La seconde méthode utilisant des seuils tire parti des valeurs de référence publiées (doc. publiée) relativement aux produits usagés et applique le même seuil à l'égard de toutes les régions du monde. Les valeurs de référence des États-Unis étant plus rapidement disponibles, on les a appliquées à chaque pays. La figure 17 montre les seuils utilisés.

Figure 15 : Détermination d'une valeur seuil pour les produits usagés et neufs en recourant à des données hypothétiques

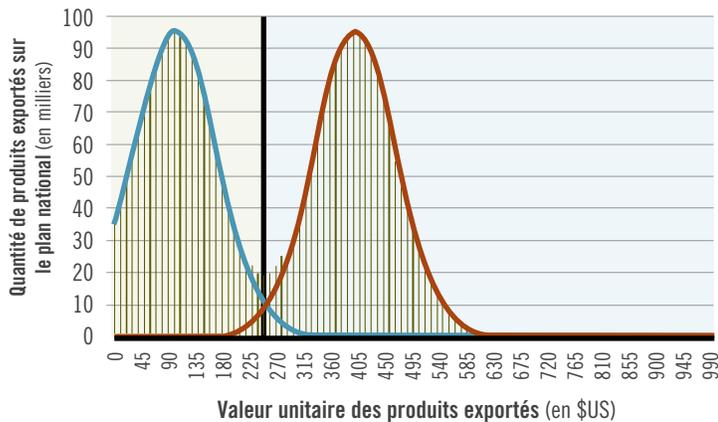
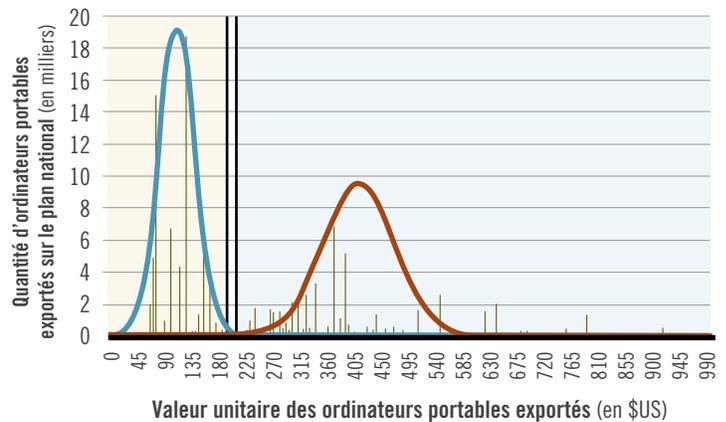
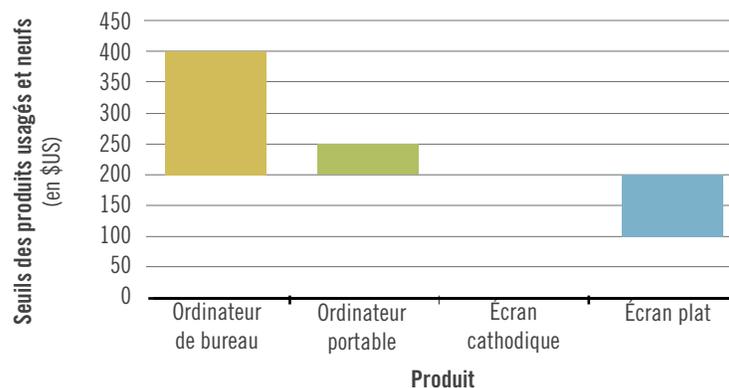


Figure 16 : Exemple d'histogramme comportant une plage de seuils pour les exportations que les États-Unis ont effectuées vers la tranche supérieure des pays à revenu moyen d'Amérique latine et des Caraïbes



— Seuil des produits usagés et neufs — Ensemble des exportations nationales
— Modèle des produits usagés — Modèle des produits neufs

Figure 17 : Valeurs seuils de chacun des produits usagés et neufs (sauf les écrans cathodiques qui sont tous considérés usagés) établies en recourant aux seuils tirés des données publiées (doc. publiée)



7. Le Mexique fait exception dans la présente étude, car les auteurs l'ont intégré à l'Amérique du Nord. Son statut est ambigu dans les classifications des Nations Unies, mais il fait partie de l'Amérique du Nord dans d'autres classifications.

Dans cette étude, on suppose que la portée de l'erreur consistant à inclure les produits neufs dans la somme qui est inférieure au seuil est sensiblement équivalente à la portée de l'erreur consistant à inclure les produits usagés dans la somme qui est supérieure au seuil. Cette erreur variera certainement en raison de l'ampleur et de la forme des répartitions.

2.5.1.3 Somme de la quantité de produits exportés des États-Unis vers des pays partenaires avec une valeur unitaire inférieure au seuil

Cette étape a consisté à faire la somme des quantités d'exportations qui est inférieure au seuil des produits usagés et neufs relativement à chaque région du monde. Elle a aussi servi à identifier les destinataires des exportations.

2.5.1.4 Estimation de la réexportation potentielle des exportations nationales en menant une enquête sur les activités de réexportation des principaux partenaires commerciaux

Les données nationales sur les exportations dont on s'est servi donnent de l'information détaillée sur un partenaire commercial en matière d'exportations, mais pas forcément sur la destination finale, car certains de ces partenaires les réexportent par la suite. Par conséquent, afin d'estimer approximativement le potentiel de réexportation de produits après leur importation à partir de l'Amérique du Nord, on a établi des taux pour les ordinateurs portables seulement en se fondant sur les données de la base de données Comtrade des Nations Unies [12]. Il faut noter que cette méthode se fonde sur le principe que la valeur unitaire de toutes les réexportations est vraisemblablement la même, au lieu de faire une distinction entre les produits usagés et les produits neufs. Peu de pays faisant une telle distinction, il a fallu établir des taux afin de comparer les exportations et les importations pour la plupart des pays. Certains d'entre eux ne transmettent pas leurs données commerciales aux Nations Unies; à l'égard des principales destinations

des exportations américaines, les flux commerciaux ont été déduits des flux d'importations et d'exportations déclarés par ces pays. La Chine a fait l'objet d'un traitement différent, car on sait quelle fabrique et exporte d'importantes quantités de produits. À l'aide des données de ce pays sur ses exportations (HS International Inc., 2012), on a pu déterminer quelles sont les destinations vers lesquelles il réexporte les ordinateurs portables usagés d'une valeur inférieure à 250 \$US.

2.5.1.5 Écarts dans les données et les méthodes selon le pays

Données sur les exportations commerciales canadiennes

Statistique Canada a fourni les données portuaires sur les exportations, mais il est regrettable que l'Agence des services frontaliers du Canada n'enregistre pas les déclarations d'exportation pour la plupart des produits visés par la présente étude, bien qu'elle enregistre les quantités qui sont importées au Canada. Le tableau 9 illustre la disponibilité des données sur les quantités de produits exportés, et ce, à partir des données portuaires de Statistique Canada et des données agrégées de la base de données Comtrade des Nations Unies. Étant donné que la quantité représente un élément d'information important dans le cadre de cette méthode, il a fallu la modifier en ce qui concerne le Canada.

Partant du principe, comme l'indique l'introduction, que le Canada et les États-Unis ont approximativement un revenu similaire par habitant, on a appliqué la structure des exportations américaines à la valeur des exportations canadiennes à l'égard de chaque code commercial et pays de destination, tel que cela exposé ci-dessous.

- 1) En associant la valeur des exportations canadiennes v_{CAN} au pays de destination avec la valeur unitaire moyenne des exportations américaines \bar{u}_{US} vers le même pays de destination n , on a estimé la quantité d'exportations canadiennes q_{CAN} . (équation 10).

Tableau 9 : Disponibilité des données quantitatives dans les données commerciales canadiennes

Produit	Produit particulier	Code d'exportation	Données portuaires de Statistique Canada	Données agrégées de la base de données Comtrade des Nations Unies
Ordinateurs portables	Ordinateurs portables	847141	Aucune quantité exportée	Aucune quantité exportée
	Serveurs	847149	Aucune quantité exportée	Aucune quantité exportée
	Autres ordinateurs portables	847150	Aucune quantité exportée	Aucune quantité exportée
Ordinateurs portables	Ordinateurs portables	847130	Aucune quantité exportée	Quantité exportée
Écrans cathodiques	Écrans d'ordinateur personnel	852841	Quantité exportée	Quantité exportée
	Écrans de contrôle vidéo	852849	Aucune quantité exportée	Aucune quantité exportée
Écrans plats	Écrans d'ordinateur personnel	852851	Quantité exportée	Quantité exportée
	Écrans de contrôle vidéo	852859	Aucune quantité exportée	Aucune quantité exportée

Équation 10 : Estimation de la quantité totale d'exportations canadiennes.

$$q_{n,CAN} = v_{n,CAN} * \overline{u_{n,US}}$$

- a) Si le Canada a déclaré la quantité, c'est d'elle que l'on se sert.
 - b) Pour ce qui des exportations vers les États-Unis, ce sont d'elles que l'on se sert.
- 2) En associant la quantité d'exportations canadiennes estimée ou déclarée q_{CAN} au pays de destination avec la proportion d'exportations américaines vers le même pays de destination $q_{US,usagés}/q_{US}$, on peut estimer la quantité de produits usagés exportés par le Canada $q_{CAN,usagés}$ (équation 11). On calcule la proportion de produits usagés exportés par les États-Unis de la manière exposée ci-dessous.

Équation 11 : Estimation de la quantité de produits usagés exportés par le Canada.

$$q_{n,CAN,usagés} = q_{n,CAN} * q_{n,US,usagés}/q_{n,US}$$

- a) Lorsque le Canada exporte des produits dans un pays vers lequel les États-Unis n'exportent pas, on se sert plutôt des données sur un groupe de pays pertinent (en fonction de la région géographique et du revenu).

Données sur les exportations commerciales mexicaines

L'information sur le commerce de produits et de marchandises importés et exportés par le Mexique est offerte sous deux formes au grand public : des données agrégées et des données sur les expéditions. Le *Secretaría de Economía* (ministère de l'Économie) du Mexique gère une base de données dynamique en ligne sur le commerce (importations et exportations) de divers produits en fonction de leur code, dont les ordinateurs. Cette base de données propose deux ensembles de paramètres à l'égard de chaque code : la valeur des expéditions (en dollars) et le volume des expéditions (unités). Le grand public peut consulter cette information à titre gracieux.

Les données commerciales sur les expéditions mexicaines étaient disponibles pour les besoins de la présente étude. *Aduanas México* (Agence des douanes), qui gère le *Servicio de Administración Tributaria* (Service de l'administration fiscale), détient un nombre considérable de données sur les importations et les exportations de marchandises et de produits, dont les ordinateurs. Toutefois, pour les consulter, il faut présenter une demande spéciale à Infomex, l'or-

ganisme gouvernemental chargé de faciliter l'accès des citoyens mexicains à l'information publique.

En tirant parti des descriptions trouvées dans les données sur les expéditions commerciales, on a trié et classé chacune d'elles en distinguant celles contenant des produits visés par la présente étude de celles contenant d'autres produits. On a par ailleurs utilisé des mots clés tels qu'« accessoires » pour classer une expédition dans la catégorie « autre » lorsqu'une « machine de traitement de données » signifiait un ordinateur de bureau. Voir l'annexe 4 pour de plus amples détails à ce sujet [45].

Malheureusement, les données commerciales mexicaines ne distinguant pas les exportations nationales des réexportations, les exportations sont vraisemblablement surestimées puisqu'elles comprennent ces réexportations. En ce qui concerne le Canada et les États-Unis, on a seulement tenu compte des exportations nationales.

Données sur les exportations commerciales américaines

Après avoir comparé tous les ensembles de données américaines sur les exportations commerciales qui sont à la disposition du public et que l'on a pu trouver, on en a retenu trois. Compte tenu du fait qu'idéalement l'ensemble de ces données détaillant les expéditions n'est pas totalement consultable⁸, au même titre que l'ensemble des données portuaires, on a élaboré une méthode afin d'estimer approximativement la valeur unitaire et la quantité des exportations nationales à partir des données portuaires. Voir l'annexe 4 pour de plus amples détails sur ce mode de calcul.

Les données portuaires sur le poids (ou la quantité) des produits disponibles dans le site Web USA Trade Online permettent d'estimer approximativement la valeur unitaire des exportations. Malheureusement, les ensembles de données utilisés ne renseignant pas sur les expéditions terrestres, il a fallu trouver d'autres sources d'information sur les exportations américaines vers le Canada et le Mexique. « Le Canada et les États-Unis procèdent à un échange de données dans le cadre duquel ils obtiennent des statistiques sur leurs exportations respectives à partir des données de l'autre pays, grâce à quoi leurs statistiques ne donnent pas lieu à des différences inexplicables. Il faut cependant noter des différences assez importantes entre les statistiques commerciales officielles des États-Unis et du Mexique, et celles du Canada et du Mexique. » [Traduction] [1]. En ce qui concerne les ordinateurs portables, on s'est donc servi des données portuaires canadiennes sur les importations en provenance de Statistique Canada pour estimer les exportations nationales des États-Unis vers le Canada. À propos des autres produits, on

8. Il est possible de consulter ce type de données, considérées comme des microdonnées à usage restreint sur les transactions commerciales, dans le site des *Census Research Data Centers* (Centres de données de recherche sur le recensement), à l'adresse <www.census.gov/ces/rdrresearch/>. Il faut toutefois entreprendre une longue démarche pour qu'une demande d'accès aux données aboutisse, soit environ six mois.

a eu recours à la base de données commerciales Sicec [46] qui offre des données sur la quantité d'exportations américaines vers le Mexique, ainsi que d'importations mexicaines provenant des États-Unis, à titre de pays d'origine, et ce, à l'échelle des districts. Étant donné que les données sur les importations mexicaines sont très divergentes, on a dû recourir à celles sur les exportations nationales américaines vers le Mexique à l'échelle des districts.

2.5.2 Méthode du bilan massique

Afin d'estimer les exportations de produits électroniques usagés au moyen de la méthode du bilan massique, on a conservé la quantité de produits expédiés aux intermédiaires qu'ils ont réexpédiés. Se fondant sur la figure 7, l'équation 12 permet de trouver la quantité d'exportations inconnue en soustrayant les flux (F) déjà estimés. Pour mémoire, le flux d'ordinateurs et d'écrans d'un élément à un autre peut se désigner par l'abréviation F_{PuPrI} , laquelle signifie « Flux [de produits électroniques] des secteurs public et privé vers les intermédiaires ».

Équation 12 : Flux des exportations estimé à l'aide de la méthode du bilan massique.

$$\text{Exportations} = F_{\text{IEx}} = F_{\text{RI}} + F_{\text{PuPrI}} + F_{\text{ImI}} - F_{\text{IR}} - F_{\text{IPuPr}} - F_{\text{IH}} - F_{\text{IL}}$$

Comme dans l'estimation de la génération et de la collecte, les facteurs d'échelle relatifs au secteur résidentiel et aux secteurs public et privé ont servi à déterminer si les réponses à l'enquête correspondaient au total national. Ces facteurs d'échelle ont pu varier en fonction d'un intervalle de confiance de 95 %.

2.5.3 Comparaison avec d'autres sources

Il existe peu de comparaisons exhaustives des exportations relativement aux pays visés par la présente étude. En ce qui concerne les États-Unis, on a établi des comparaisons avec les chiffres d'un rapport sur les produits électroniques usagés établi en 2013 par l'*International Trade Commission* (ITC, Commission du commerce international) des États-Unis [47]. Selon le communiqué qu'a publié cet organisme [48] :

« L'ITC a récemment terminé une enquête pour le compte du délégué commercial américain, et le rapport qui en a résulté se fonde sur les données recueillies à l'échelle nationale auprès de 5 200 reconditionneurs, recycleurs, courtiers, gestionnaires de ressources informatiques et d'autres intervenants à l'égard des produits électroniques usagés. Ce rapport vise l'année 2011 et porte sur le matériel audiovisuel, les ordinateurs et leurs périphériques, les appareils d'imagerie numérique, le matériel de télécommunications et les composants de ces produits.

Le rapport donne une vue d'ensemble du secteur des produits électroniques usagés, ainsi que de l'information sur leur collecte à l'échelle nationale, sur l'échange de ceux qui sont reconditionnés comparativement à ceux qui sont recyclés, ainsi que sur les caractéristiques des produits exportés. Il fournit également des renseignements sur les sortes entreprises qui exportent ces produits usagés et celles qui les importent à partir des États-Unis, et examine en outre les facteurs qui influent sur le commerce de tels produits. » [Traduction]

Afin de comparer les résultats de la présente étude sur les exportations d'appareils usagés complets, il a fallu obtenir ceux d'une enquête sur les produits remis à neuf, réusinés et réparés. Cette catégorie comprend les produits électroniques usagés provenant du premier utilisateur qui sont ensuite nettoyés, réparés ou remis en état de fonctionner pour être revendus. Il s'agit de produits qui sont démontés et revendus pour que leurs pièces servent à réparer d'autres produits électroniques. Bien que les appareils complets soient exportés aux fins de recyclage et d'élimination, les résultats de l'enquête ne distinguaient pas les appareils entiers des pièces détachées et des matières destinées à ces fins.

L'étude de l'ITC fait aussi état de statistiques de 2011 sur les exportations commerciales de plusieurs produits. Il faut toutefois mentionner que même si la présente étude est axée sur l'année 2010, on a procédé à une comparaison parce que de nombreux répondants à l'enquête ont déclaré que les exportations en 2011 étaient sensiblement les mêmes qu'au cours des années précédentes [47]. L'étude de l'ITC n'établit pas un seuil pour les produits usagés et neufs, mais elle fournit des statistiques sur les taux les plus faibles (10 %, 25 % et 50 %) des expéditions commerciales en fonction de leur valeur unitaire moyenne. Étant donné que les seuils appliqués dans la présente étude ressemblaient le plus à la valeur unitaire moyenne des 10 % d'expéditions commerciales les plus faibles, on s'en est servi à titre de comparaison, sauf pour celles des écrans cathodiques dont on s'est servi entièrement, car on a supposé qu'aucun de ces écrans n'avait été exporté à l'état neuf. Il faut noter que l'on n'a pas utilisé le code d'exportation des ordinateurs de bureau (847150), contrairement à la démarche que l'on vient d'exposer (voir le tableau 8).

2.6 Incertitudes

À l'instar des sections qui précèdent, on a relevé les incertitudes à chaque étape de l'estimation. Le tableau 10 indique les principales sources d'incertitudes dans les estimations relatives à la génération, à la collecte et à l'exportation, étant donné qu'elles cadrent avec la MHCDOPC et la méthode du bilan massique.

Tableau 10 : Sources d'incertitudes dans les estimations

Source d'incertitude	Génération	Collecte	Exportation
Exactitude des données d'enquête et de leur extrapolation.	MHCDOPC et bilan massique	MHCDOPC et bilan massique	Bilan massique
Hypothèses concernant les scénarios suivants : utilisation finale prévue, diminution de la réutilisation et accroissement des exportations.	Bilan massique	Bilan massique	Bilan massique
Estimation de la durée de vie utile des produits en fonction des réponses aux enquêtes et de la documentation.	MHCDOPC		
Estimation des taux de collecte en fonction des réponses aux enquêtes et de la documentation.		MHCDOPC	
Exactitude des données sur les ventes de produits commerciaux neufs.	MHCDOPC et bilan massique	MHCDOPC et bilan massique	
Exactitude de l'estimation du poids des produits.	MHCDOPC et bilan massique	MHCDOPC et bilan massique	
Exactitude des données commerciales, notamment les codes de produit que choisissent les exportateurs et leur destination finale comparativement à celle qui est déclarée.			MHCDOPC

3. Résultats





Cette section expose les résultats de l'analyse de la génération, de la collecte et de l'exportation des ordinateurs et des écrans en 2010, et les compare avec d'autres estimations. Ils sont présentés à l'égard de chaque pays (Canada, figures 18 à 26; Mexique, figures 27 à 36; États-Unis, figures 37 à 48) pour être ensuite comparés (figures 49 et 50). Les données brutes utilisées pour calculer ces chiffres sont incluses dans l'annexe 5 aux sous-sections 6.3.1.1-2 (Canada); 6.3.2.1-2 (Mexique); et 6.3.3.1-0,2 (États-Unis). Il s'agit tout d'abord des résultats de la génération et de la collecte dans le secteur résidentiel et dans les secteurs public et privé, lesquels sont ensuite comparés avec les exportations dans la section suivante. Ces résultats sont présentés en fonction de la quantité d'unités et de leur poids en tonnes métriques. En outre, on a déterminé la proportion de chaque étape en aval en procédant à une comparaison avec l'étape en amont; autrement dit, la collecte est comparée à la génération, et l'exportation est comparée à la collecte. Dans chaque tableau donnant les résultats obtenus avec la MHCDOPC et la méthode du bilan massique, les barres d'erreur correspondent aux limites d'un intervalle de confiance de 95 %. Les principales observations sont formulées ci-après.

3.1 Principales observations

3.1.1 Comparaison des méthodes

3.1.1.1 Génération et collecte

- La MHCDOPC et la méthode du bilan massique sont similaires en vue de procéder au calcul de la génération et de la collecte dans le secteur résidentiel et les secteurs public et privé, et permettent d'obtenir les mêmes résultats, comme on l'avait prévu.

- La MHCDOPC donnant constamment des résultats plus élevés que la méthode du bilan massique pour ce qui est de la génération et de la collecte dans le secteur résidentiel, et cela a pu se produire parce que ceux de la MHCDOPC se fondent sur les données de vente de chaque produit, alors que ceux de la méthode du bilan massique se fondent sur un facteur d'échelle moyen pour tous les produits. Étant donné que les données de vente font en sorte que les estimations des ventes d'écrans cathodiques sont plus faibles que celles obtenues à partir des enquêtes, le facteur d'échelle moyen est inférieur à celui des ordinateurs et des écrans plats, ce qui doit vraisemblablement causer une sous-estimation des flux de ces produits.

3.1.1.2 Exportations

- On peut s'attendre à ce que les résultats des exportations obtenus avec la MHCDOPC représentent une estimation minimale en raison d'erreurs de classification intentionnelles ou non des produits exportés. Au Canada et aux États-Unis, les estimations obtenues avec cette méthode sont plus faibles que celles obtenues avec la méthode du bilan massique, comme on s'y attendait. La combinaison et la comparaison de ces méthodes sont utiles pour estimer l'ampleur des ordinateurs et des écrans usagés qu'exportent les deux pays. Toutefois, l'application de la MHCDOPC a fait en sorte que la quantité d'exportations à partir du Mexique était supérieure à celle obtenue avec la méthode du bilan massique. Pendant plusieurs années, la quantité totale des exportations mexicaines et leur valeur ont été plus élevées que celles des importations américaines correspondantes. Ce faisant, il se peut que la MHCDOPC ait donné lieu à une sous-estimation de la quantité d'exportations mexicaines.

- La MHCDOPC permet de prévoir les destinations des exportations de produits électroniques usagés, car elle se fonde sur les données commerciales. Les données nationales sur les exportations font état du partenaire commercial qui reçoit des exportations, mais pas nécessairement de la destination finale, car certains partenaires les réexportent. Au sujet des exportations américaines, Miller (2012) a démontré que les principaux pays de destination d'ordinateurs portables usagés sont censés en exporter la plus grande partie, alors que les autres en exportent très peu [6]. On a estimé que les dix principaux pays destinataires de ces ordinateurs portables, à savoir les États-Unis, le Liban, Hong Kong, les Émirats arabes unis, le Royaume-Uni et la Chine, réexportent entre 20 et 48 % de ceux qu'ils importent. En 2010, parmi les autres destinataires faisant partie de ces dix pays qui reçoivent des ordinateurs portables usagés en provenance des États-Unis, de l'Argentine, du Canada, du Chili, de la Bolivie et du Mexique, on a estimé qu'ils n'en réexportaient qu'entre 0,1 et 1,8 %. Ces conclusions correspondent au fait que l'on s'attendait à ce que les centres d'échanges commerciaux connus, notamment ceux comptant une faible population comme Hong Kong, réexportent une partie de leurs importations vers des destinations régionales. Conséquemment, les résultats obtenus à l'égard des pays destinataires connus comme des réexportateurs surestiment probablement la quantité de produits électroniques qui demeurent dans ces pays.

3.1.2 Comparaison des pays

3.1.2.1 Génération et collecte

- La génération et la collecte d'ordinateurs et d'écrans usagés sont sensiblement proportionnelles à la population des pays et de leur revenu par habitant; à titre d'exemple, parmi les trois pays, les États-Unis comptent la plus forte population et, de loin, la génération et la collecte les plus importantes. Bien que la population du Mexique soit plus dense que celle du Canada, ce dernier a un revenu et un pouvoir d'achat par habitant beaucoup plus élevés, ce qui peut expliquer le fait que la génération et la collecte dans ces deux pays soient à peu près les mêmes.

3.1.2.2 Exportations

- Les estimations des exportations obtenues avec la MHCDOPC ne montrent pas de très grands écarts quant aux quantités d'ordinateurs et d'écrans usagés exportés entre les trois pays visés par la présente étude, alors que celles obtenues avec la méthode du bilan massique indiquent que la quantité qu'exportent les États-Unis est bien plus proportionnelle à celle qu'ils génèrent et collectent. Plusieurs facteurs peuvent

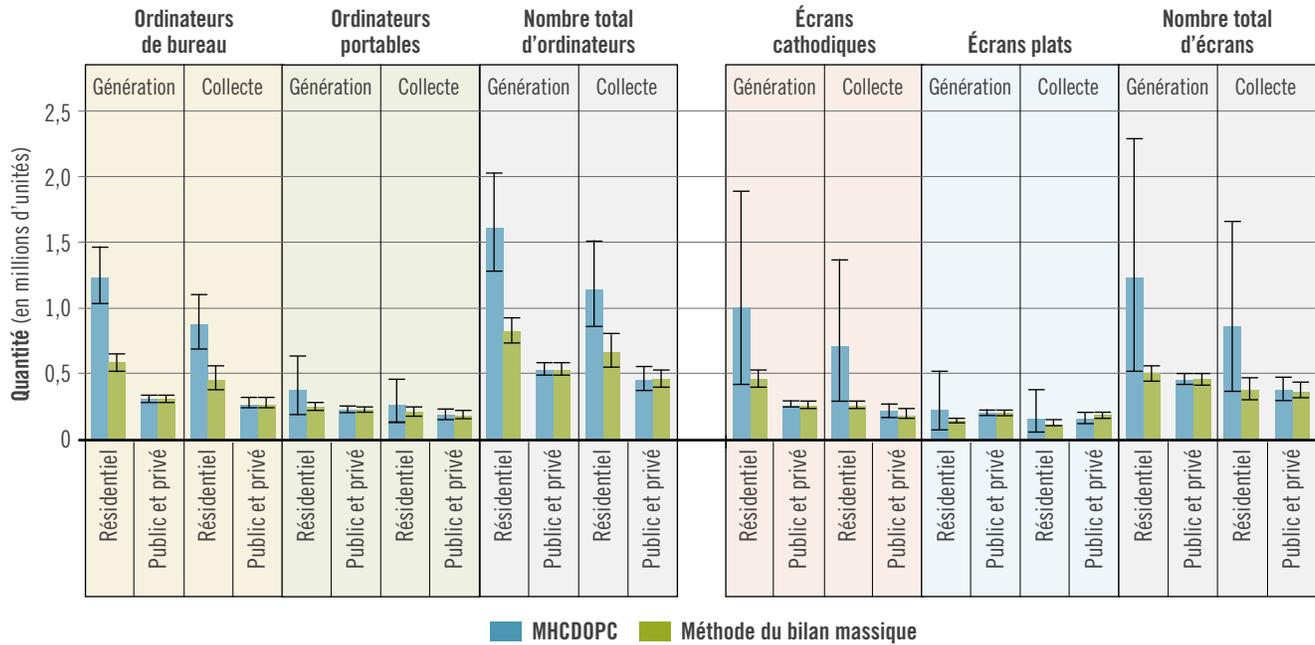
influencer dans ce sens, notamment le fait que certains exportateurs de produits électroniques usagés, particulièrement aux États-Unis et au Canada, qui contreviennent aux restrictions, ont pu mal classer intentionnellement certaines exportations d'ordinateurs et d'écrans usagés, ce qui a donné une estimation plus faible de ces exportations au moyen de la MHCDOPC. Les efforts de recyclage déployés aux États-Unis et au Canada ont pu intensifier le traitement des produits usagés à l'échelle nationale et une diminution de leur exportation, ainsi qu'à des ententes contractuelles ne prescrivant aucune exportation de ces produits.

3.2 Au Canada

- Les quantités d'ordinateurs et d'écrans usagés générés et collectés sont similaires, mais avec un peu plus d'ordinateurs que d'écrans. Le poids des écrans générés et collectés est cependant plus élevé que celui des ordinateurs compte tenu de leur poids unitaire.
- Le poids des ordinateurs usagés générés est inférieur à celui d'une prévision datant de 2006, mais celui des écrans usagés générés coïncide de près avec cette prévision. Quant au poids des ordinateurs et des écrans usagés collectés et éliminés dans un lieu d'enfouissement, il se rapproche beaucoup des estimations approximatives découlant d'une combinaison d'estimations empiriques. Ces estimations comprennent des rapports annuels de plusieurs provinces, établis dans le cadre de programmes de collecte de produits électroniques usagés, et des vérifications menées dans des lieux d'enfouissement.
- La proportion estimée d'ordinateurs et d'écrans usagés collectés est très élevée, de 70 à 80 %, lorsqu'on la compare à la proportion de ceux qui sont générés. Pour ce qui est de la proportion estimée d'ordinateurs qui sont collectés et exportés, elle est en moyenne de 4 à 10 %, tandis que celle des écrans est en moyenne de 1 à 30 %.
- Les pays de l'OCDE à revenu élevé constituent les principales destinations (63 %) des ordinateurs et des écrans usagés, ainsi que les pays à revenu moyen supérieur (14 à 17 %). Les principales régions destinataires comprenaient l'Europe (29 à 32 %) et l'Amérique du Nord (31 à 34 %), suivies de l'Asie (21 à 24 %) et de l'Amérique latine (11 à 13 %).
- Les principaux pays destinataires d'exportations d'ordinateurs et d'écrans usagés comprennent les États-Unis, la France, l'Italie, les Émirats arabes unis, le Sri Lanka, l'Allemagne, le Royaume-Uni, le Chili, la Chine et le Pérou.

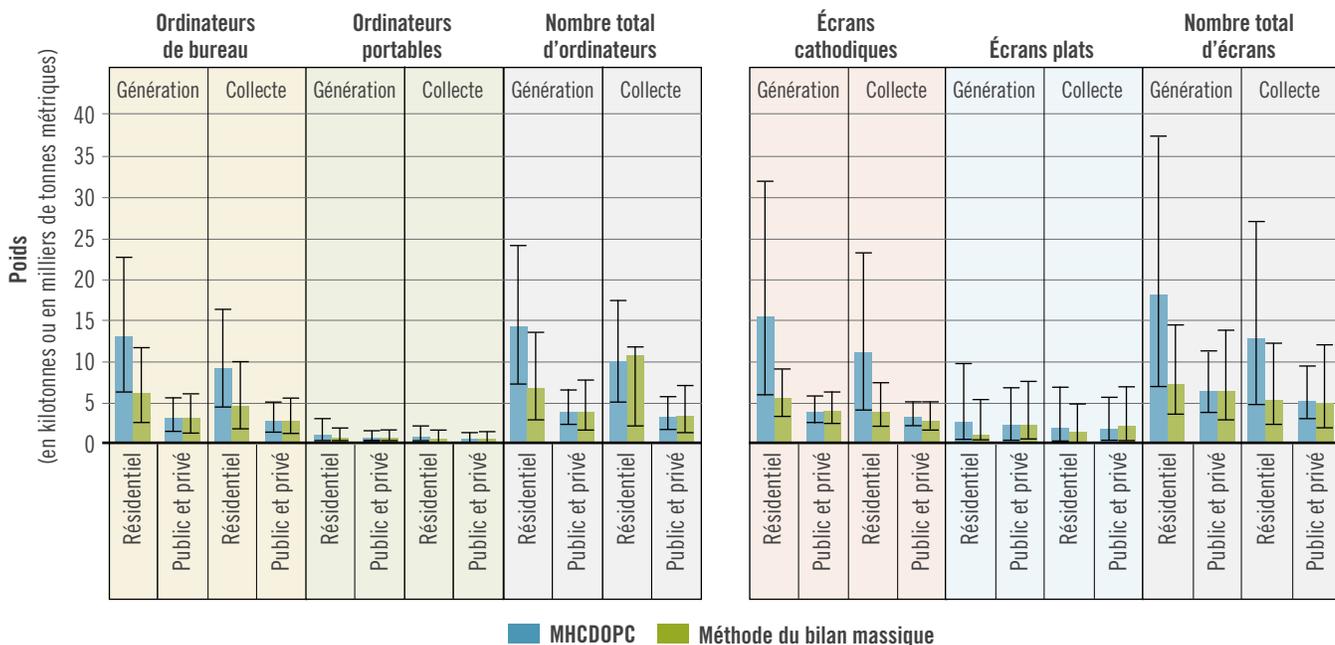
3.2.1 Génération et collecte

Figure 18 : Comparaison de la génération et de la collecte au Canada dans le secteur résidentiel et les secteurs public et privé en fonction de la quantité de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée



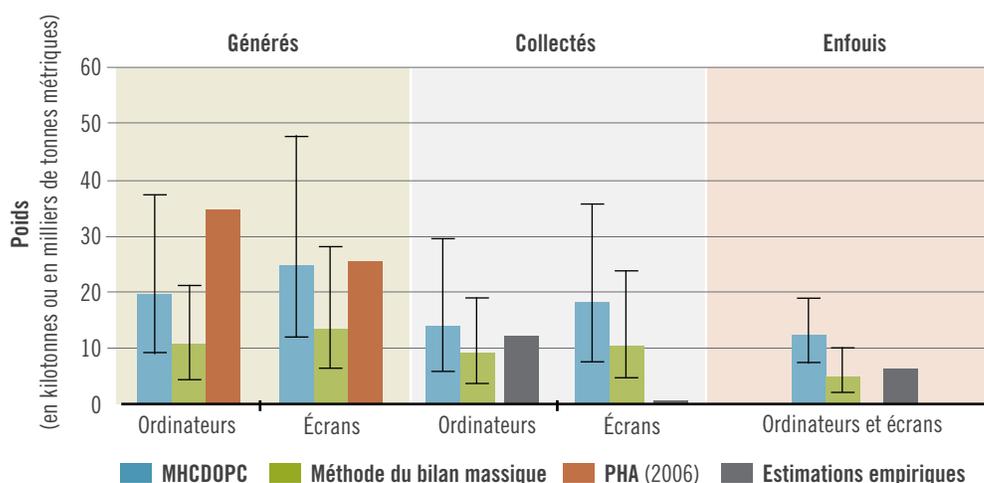
Note : Les colonnes représentent les moyennes et les barres d'erreur l'intervalle de confiance de 95 %.

Figure 19 : Comparaison de la génération et de la collecte au Canada dans le secteur résidentiel et les secteurs public et privé en fonction du poids de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée



Note : Les colonnes représentent les moyennes et les barres d'erreur l'intervalle de confiance de 95 %.

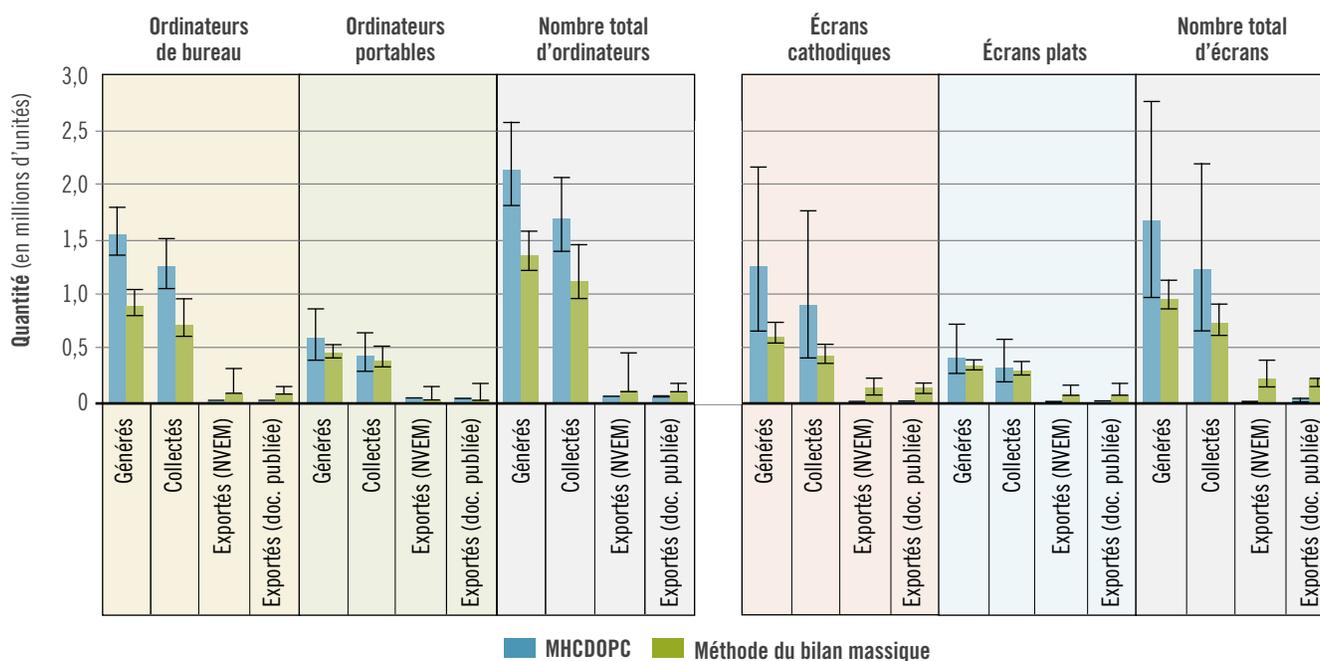
Figure 20 : Comparaison de la génération et de la collecte au Canada en fonction du poids de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée



Source : Les estimations empiriques sont tirées des programmes provinciaux et des prévisions de la société PHA Consulting Associates, 2006 [49].
 Note : Les colonnes représentent les moyennes et les barres d'erreur représentent l'intervalle de confiance de 95 %.

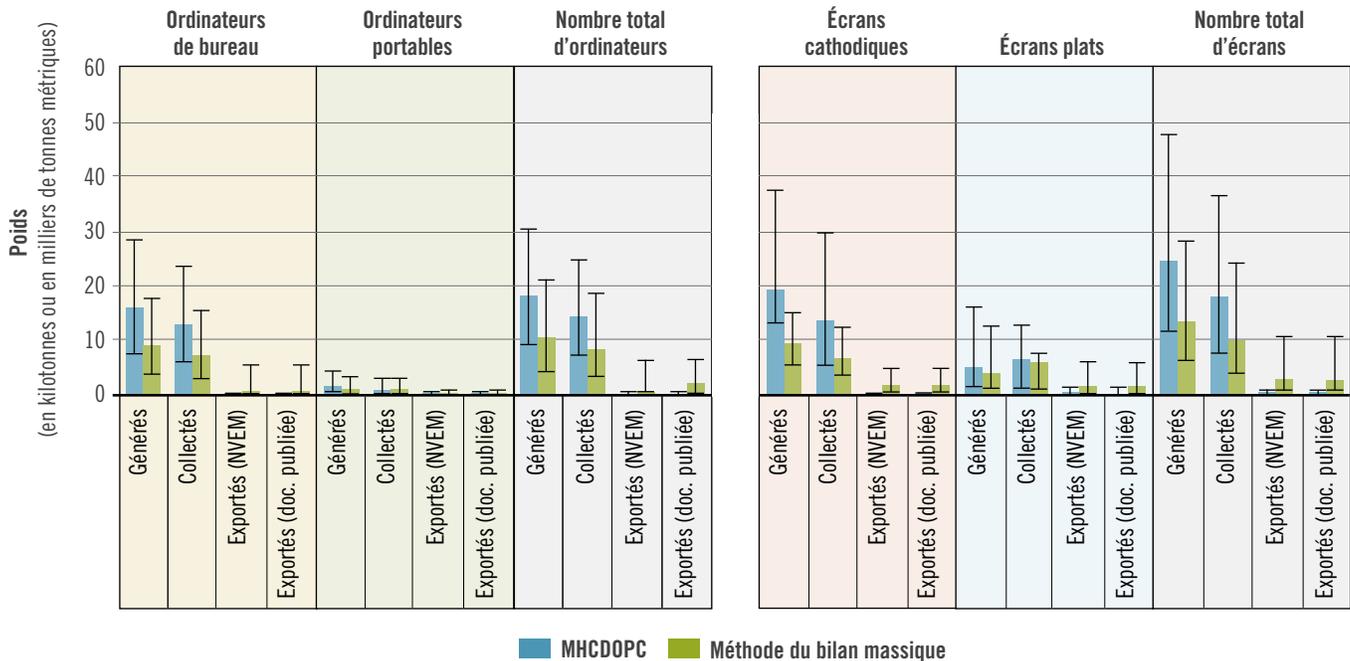
3.2.2 Génération, collecte et exportations

Figure 21 : Comparaison de la génération, de la collecte et de l'exportation au Canada dans le secteur résidentiel et les secteurs public et privé en fonction de la quantité de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée



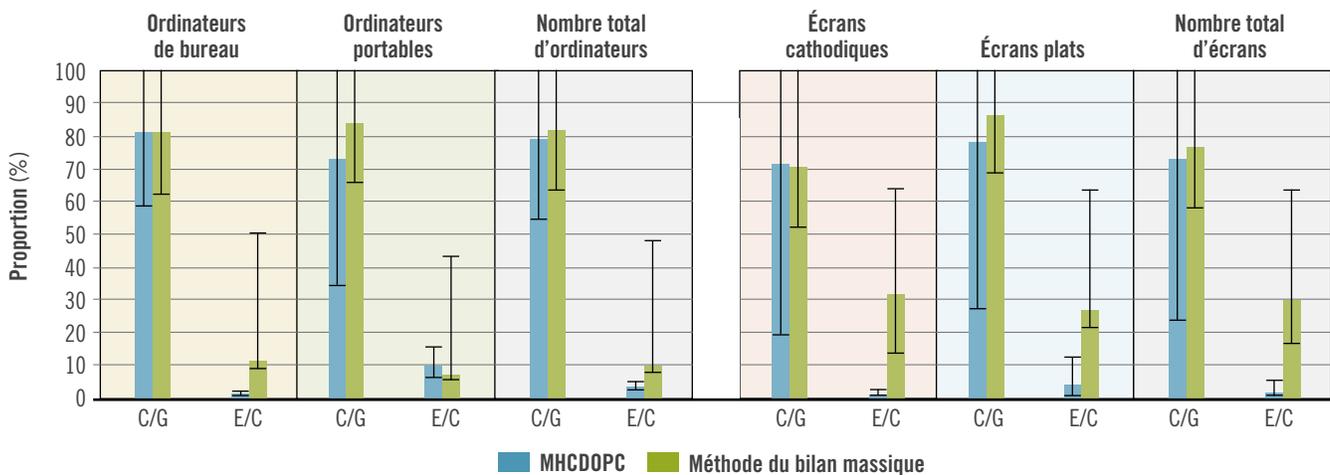
Note : En appliquant la MHCDOPC, on a estimé les quantités exportées en recourant à la NVEM et aux seuils tirés des données publiées. Les colonnes représentent les moyennes et les barres d'erreur l'intervalle de confiance de 95 %.

Figure 22 : Comparaison de la génération, de la collecte et de l'exportation au Canada dans le secteur résidentiel et les secteurs public et privé en fonction du poids de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée



Note : En appliquant la MHCDOPC, on a estimé les quantités exportées en recourant à la NVEM et aux seuils tirés des données publiées. Les colonnes représentent les moyennes et les barres d'erreur l'intervalle de confiance de 95 %.

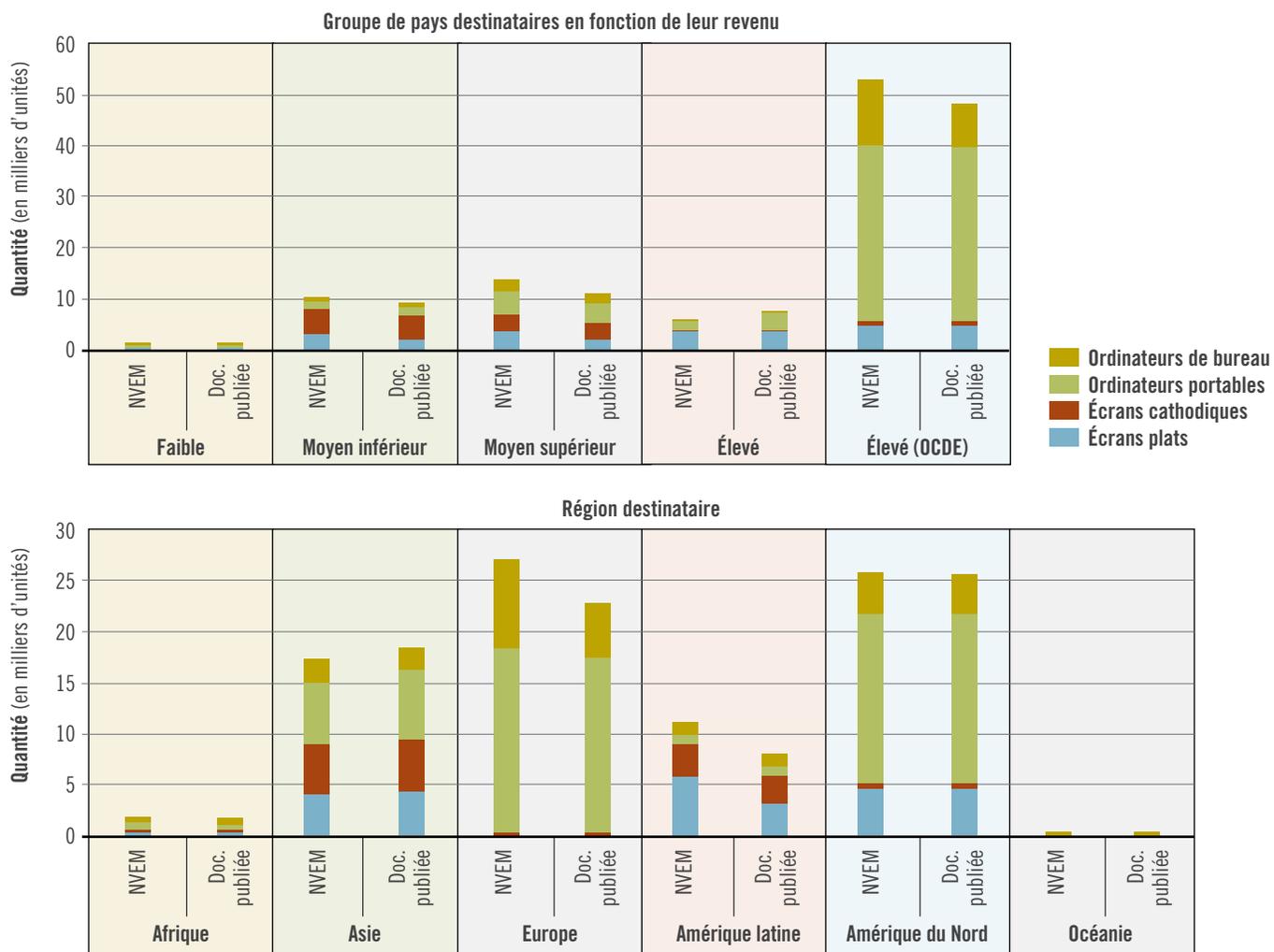
Figure 23 : Proportions canadiennes à chaque étape en aval comparativement à chaque étape en amont, et comparaison des proportions collectées (C) et générées (G) à celles exportées (E) et collectées (C) en fonction de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée



Note : En appliquant la MHCDOPC, on a estimé les quantités exportées en combinant les deux méthodes. Les colonnes représentent les moyennes et les barres d'erreur l'intervalle de confiance de 95 % en fonction de la quantité. Les poids ont les mêmes valeurs fractionnaires moyennes, mais leur intervalle de confiance est plus grand en raison de l'incertitude des poids unitaires.

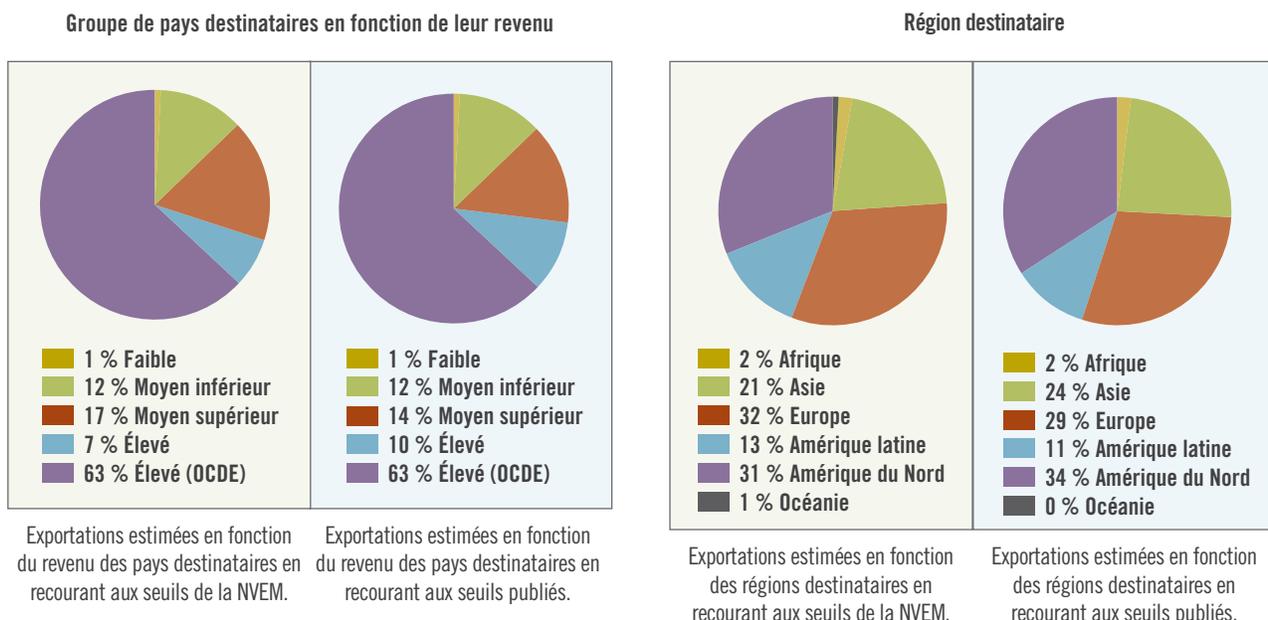


Figure 24 : Comparaison des exportations canadiennes de produits électroniques à destination des groupes de pays selon leur revenu (en haut) et des régions (en bas), et en fonction de chaque produit



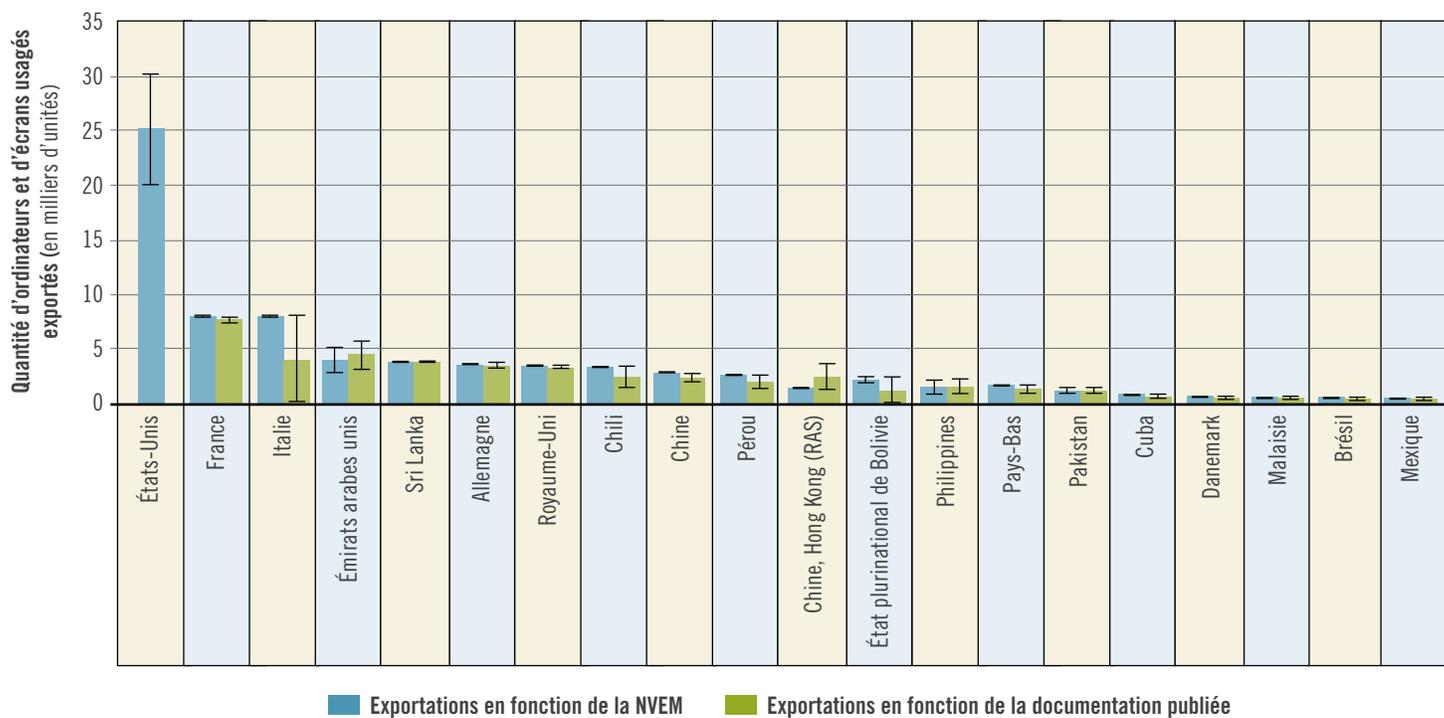
Note : En appliquant la MHCDOPC, on a estimé les quantités exportées en recourant à la NVEM et aux seuils tirés des données publiées (doc. publiée).

Figure 25 : Comparaison des exportations canadiennes d'ordinateurs et d'écrans usagés vers des groupes de pays selon leur revenu (à gauche) et des régions (à droite)



Note : En appliquant la MHCDOPC, on a estimé les exportations en recourant à la NVEM (diagramme à secteurs à gauche dans chaque paire) et aux seuils tirés des données publiées (diagramme à secteurs à droite dans chaque paire).

Figure 26 : Les 20 principaux pays destinataires des exportations canadiennes d'ordinateurs et d'écrans usagés



Note : En raison de données incomplètes, on a appliqué les valeurs obtenues avec la MHCDOPC aux pays destinataires des exportations canadiennes. Les barres d'erreur illustrent l'éventail de seuils obtenu avec chaque méthode, à savoir la NVEM et la documentation publiée.

3.3 Au Mexique

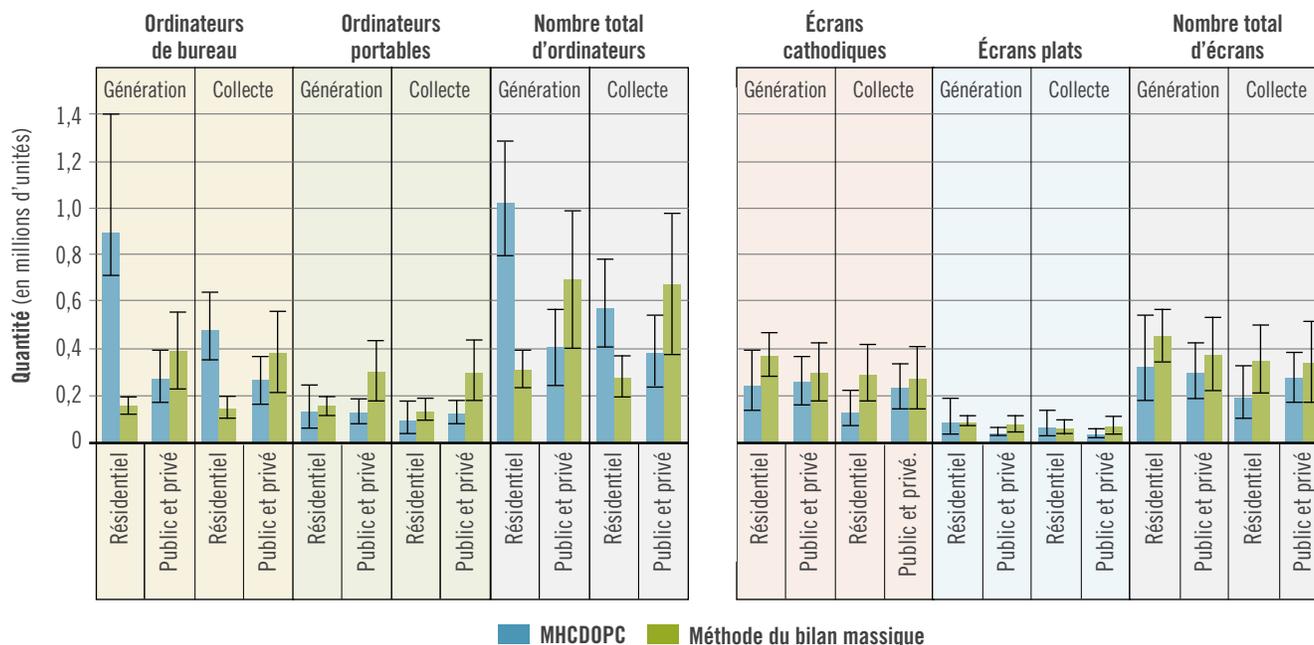
- Les quantités d'ordinateurs et d'écrans générés et collectés au Mexique sont analogues à celles du Canada, mais avec un peu plus d'ordinateurs que d'écrans. Le poids des écrans générés et collectés est cependant plus élevé que celui des ordinateurs compte tenu de leur poids unitaire.
- Bien que les estimations de la génération des ordinateurs de bureau et des ordinateurs portables obtenues à l'aide de la MHCDOPC et de la méthode du bilan massique soient de loin inférieures à celles obtenues par Román (2012) dans le cadre d'une étude, en appliquant aux quantités générées la proportion de produits collectés qu'estime cette étude, cela donne des estimations de la collecte qui correspondent à celles de la présente étude.
- La proportion de produits que Román (2012) a estimée à 20 % est très inférieure à celle de la présente étude, car elle se situe entre 70 et 100 %. La diversité des hypothèses et des méthodes doit expliquer cette importante différence.
- Lorsqu'on a recours à la MHCDOPC, la portion d'ordinateurs et d'écrans usagés collectés et exportés est indûment élevée, soit près de 100 %, mais avec la méthode du bilan massique, elle se situe entre 31 et 33 %.
- En ce qui concerne les exportations d'ordinateurs de bureau et d'écrans plats, la MHCDOPC donne des

estimations qui dépassent largement celles obtenues avec la méthode du bilan massique. Les principaux facteurs de ce dépassement peuvent comprendre les suivants :

- Les données commerciales sur les exportations mexicaines ne permettent pas de distinguer les exportations nationales des réexportations, ce qui signifie que cette activité commerciale pourrait majoritairement compter des réexportations.
- Une question générale mentionnée précédemment est le constat d'une tendance dans toutes les catégories, à savoir que la quantité d'exportations commerciales mexicaines vers les États-Unis est plus forte que celle des importations à partir du Mexique qu'ont déclarées les États-Unis.
- Étant donné que le Mexique se consacre à la fabrication et à l'assemblage d'ordinateurs et d'écrans plats, les seuils utilisés pour les produits neufs et usagés sont peut-être trop élevés et comptent les exportations de produits neufs d'une faible valeur.
- Les États-Unis constituent la principale destination des exportations mexicaines lorsqu'on applique la MHCDOPC, ce qui indique que les pays à revenu élevé de l'OCDE et de l'Amérique du Nord en constituent eux aussi les principales destinations. Les exportations vers les Pays-Bas font de l'Europe la deuxième plus grande destination des exportations.

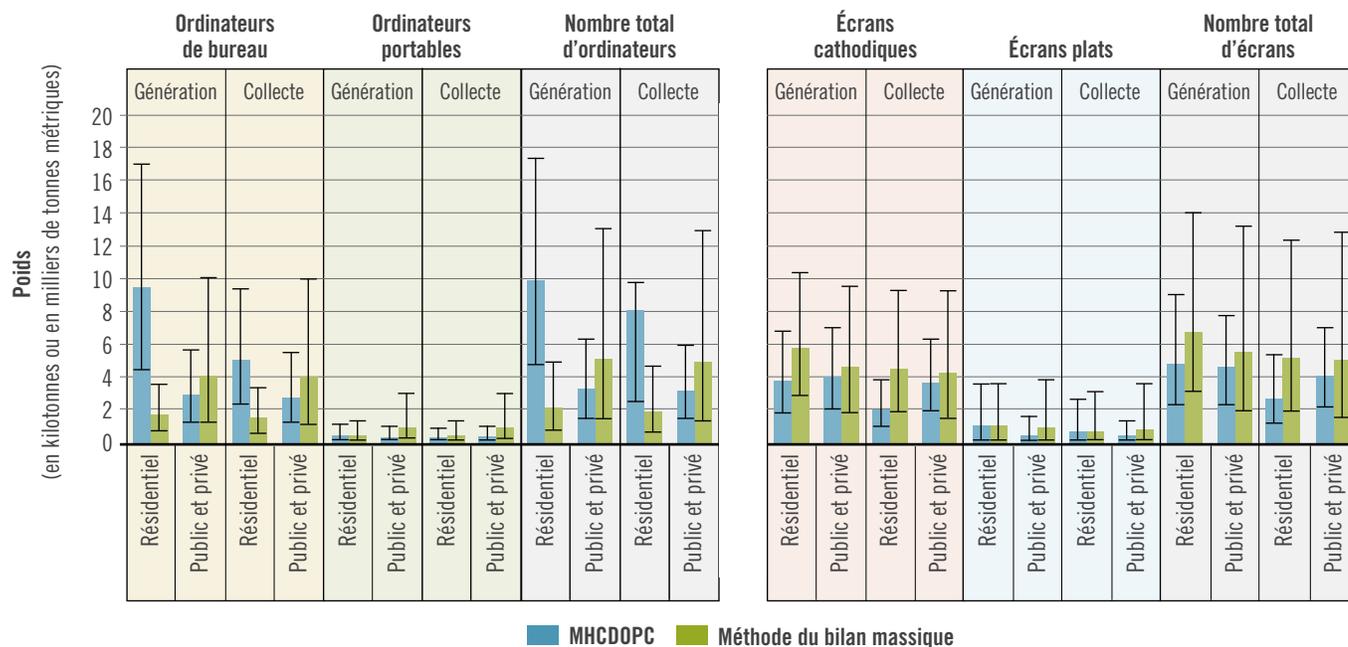
3.3.1 Génération et collecte

Figure 27 : Comparaison de la génération et de la collecte au Mexique dans le secteur résidentiel et les secteurs public et privé en fonction de la quantité de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée



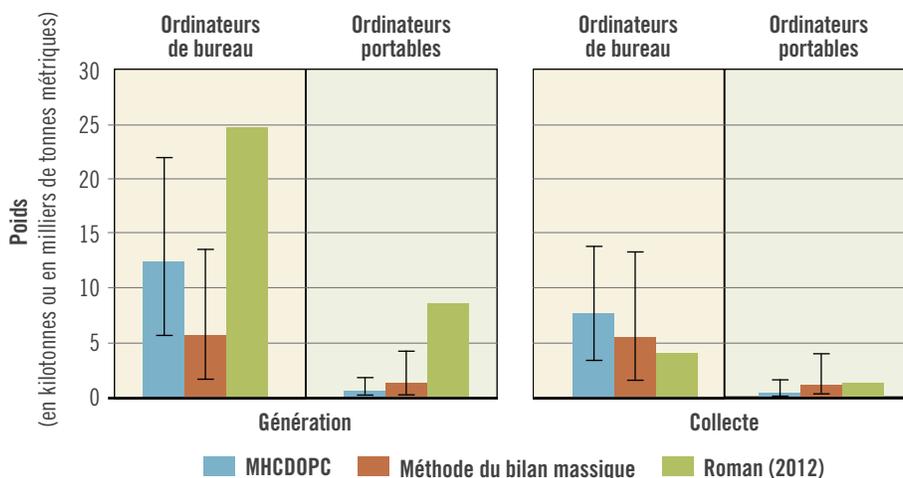
Note : Les colonnes représentent les moyennes et les barres d'erreur l'intervalle de confiance de 95 %.

Figure 28 : Comparaison de la génération et de la collecte au Mexique dans le secteur résidentiel et les secteurs public et privé en fonction du poids de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée



Note : Les colonnes représentent les moyennes et les barres d'erreur l'intervalle de confiance de 95 %.

Figure 29 : Comparaison de la génération et de la collecte au Mexique, en fonction du poids de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée

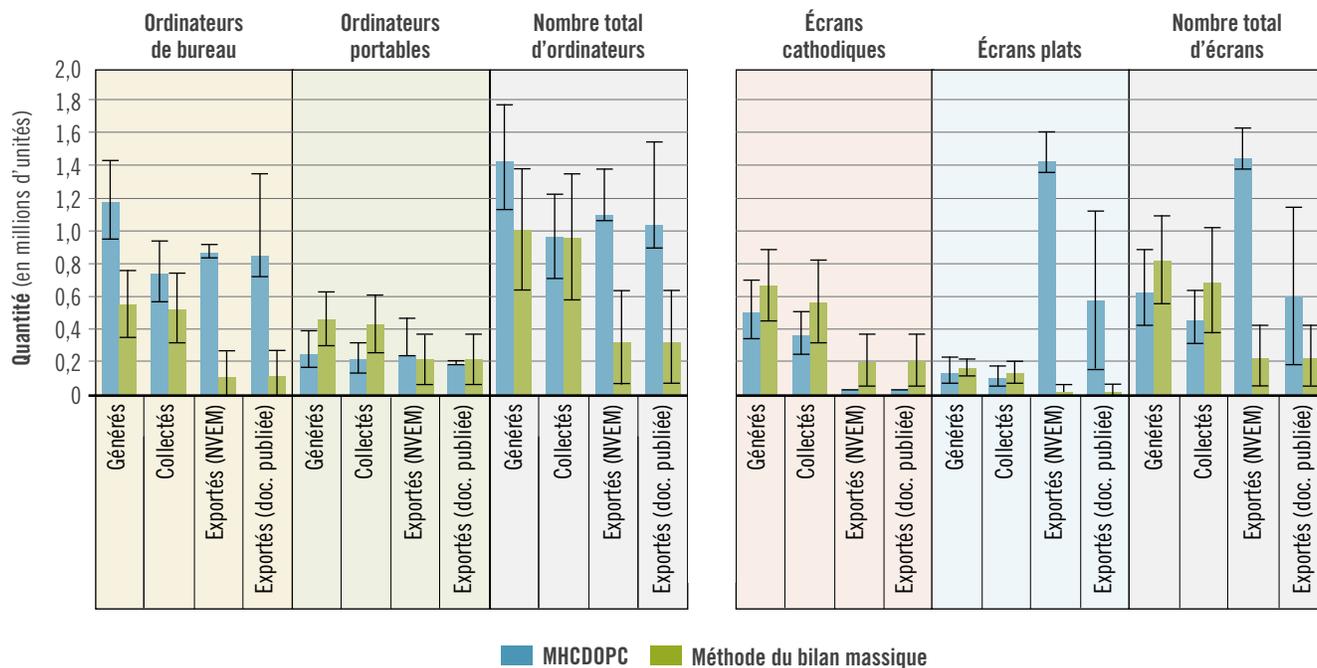


Source : Les estimations se fondent sur les travaux connexes exposés dans la référence [19].

Note : Les colonnes représentent les moyennes et les barres d'erreur l'intervalle de confiance de 95 %.

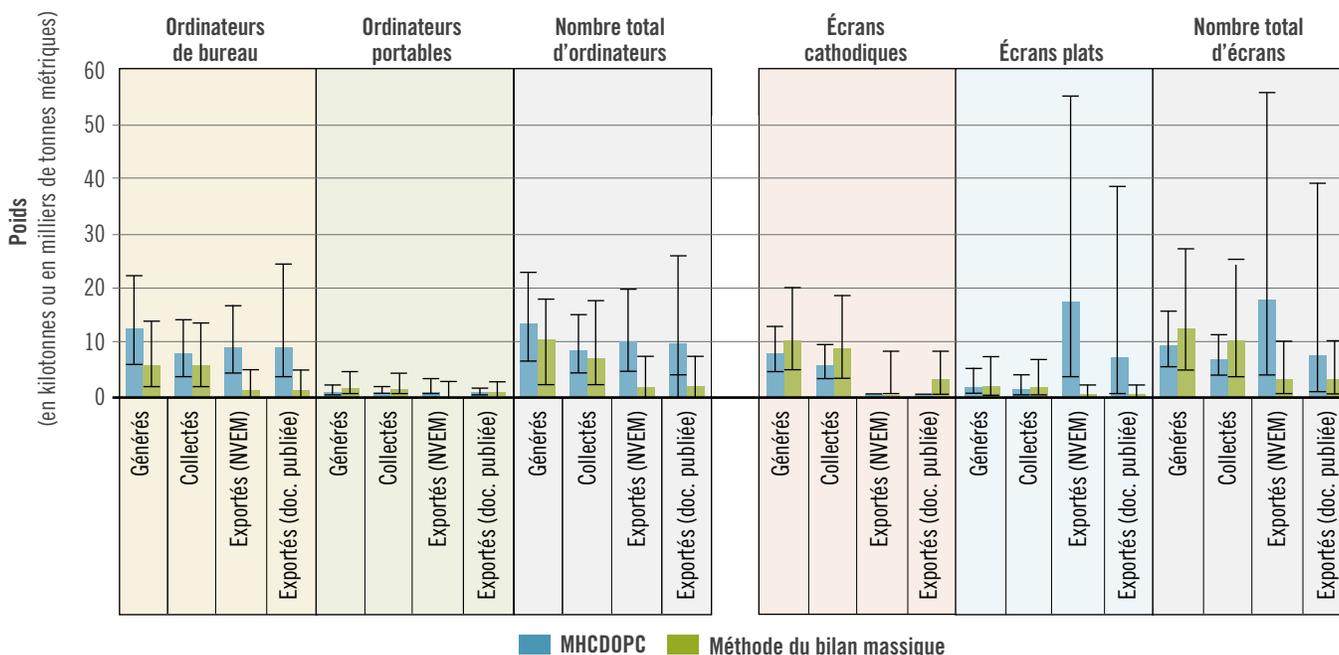
3.3.2 Génération, collecte et exportations

Figure 30 : Comparaison de la génération, de la collecte et de l'exportation au Mexique dans le secteur résidentiel et les secteurs public et privé en fonction de la quantité de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée



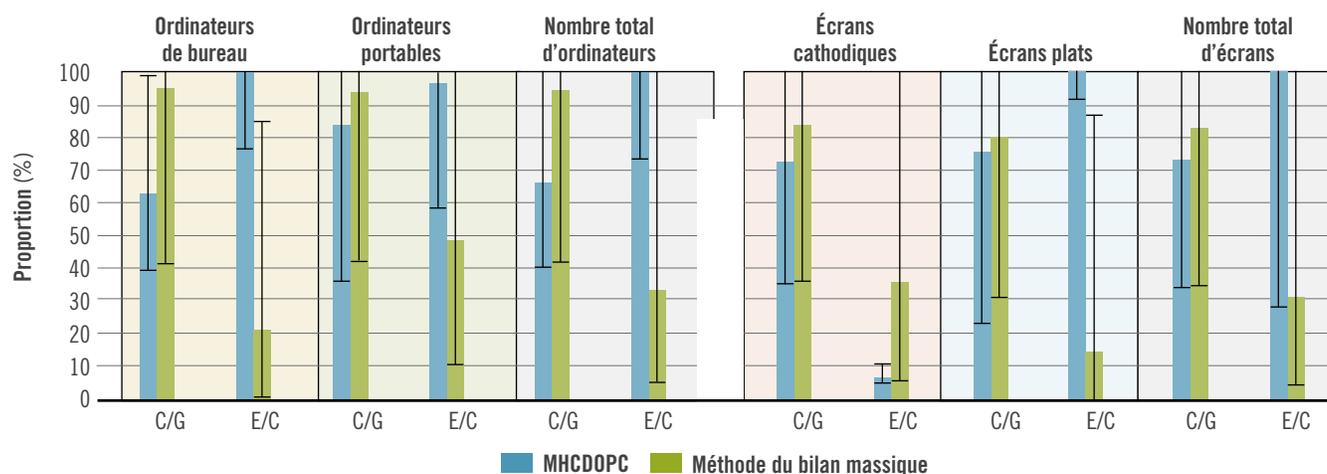
Note : En appliquant la MHCDOPC, on a estimé les quantités exportées en recourant à la NVEM et aux seuils tirés des données publiées. Les colonnes représentent les moyennes et les barres d'erreur l'intervalle de confiance de 95 %.

Figure 31 : Comparaison de la génération, de la collecte et de l'exportation au Mexique dans le secteur résidentiel et les secteurs public et privé en fonction du poids de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée



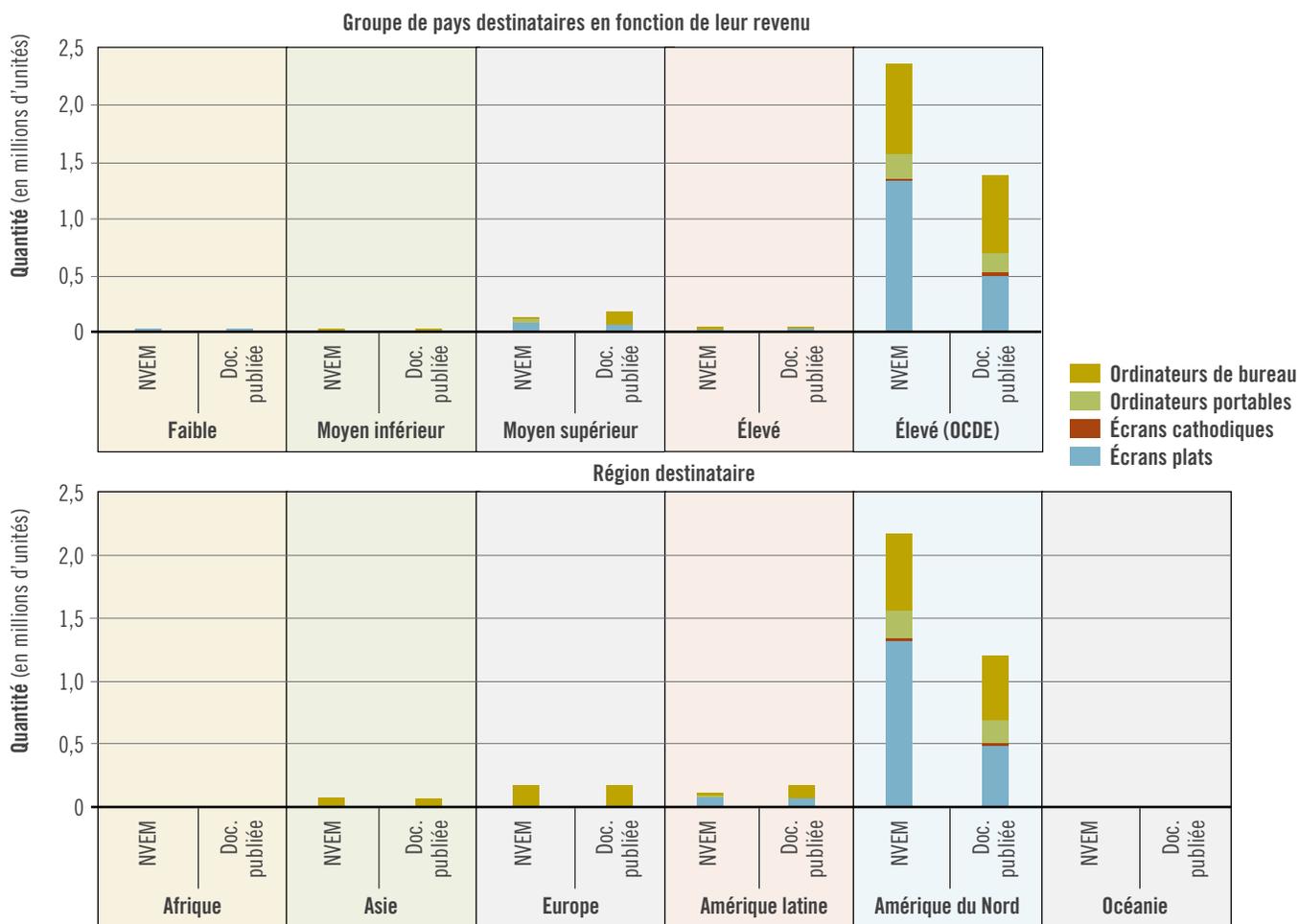
Note : En appliquant la MHCDOPC, on a estimé les quantités exportées en recourant à la NVEM et aux seuils tirés des données publiées. Les colonnes représentent les moyennes et les barres d'erreur l'intervalle de confiance de 95 %.

Figure 32 : Proportions mexicaines à chaque étape en aval comparativement à chaque étape en amont, et comparaison des proportions collectées (C) et générées (G) à celles exportées (E) et collectées (C) en fonction de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée



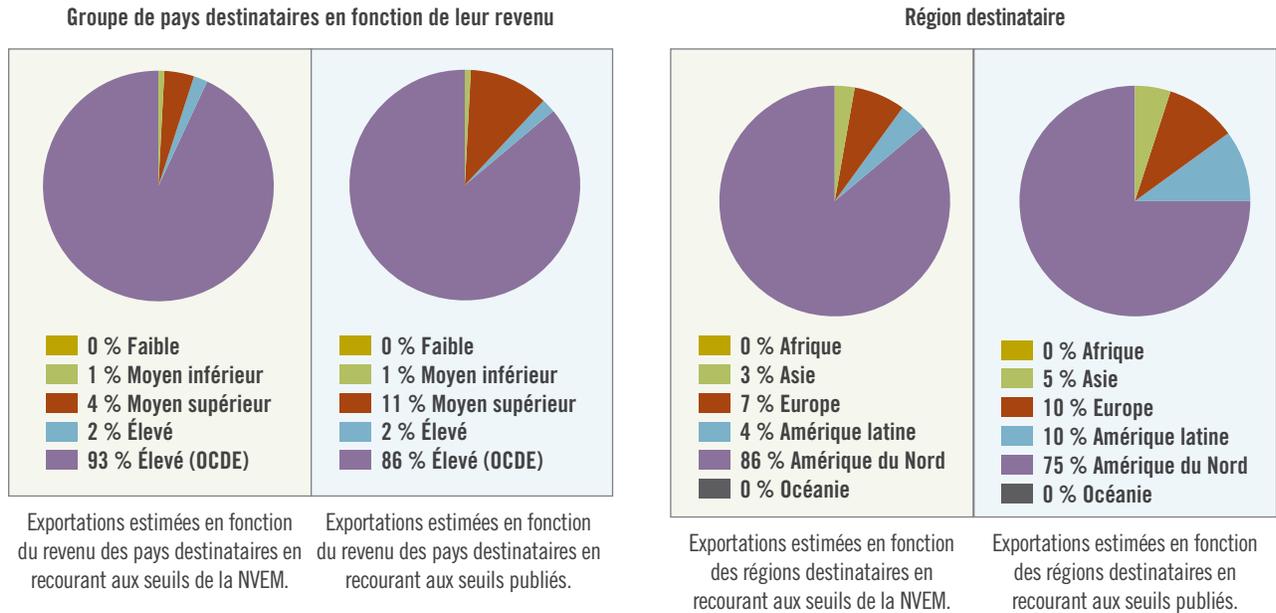
Note : En appliquant la MHCDOPC, on a estimé les quantités exportées en combinant les deux méthodes. Les colonnes représentent les moyennes et les barres d'erreur l'intervalle de confiance de 95 % en fonction de la quantité. Les poids ont les mêmes valeurs fractionnaires moyennes, mais leur intervalle de confiance est plus grand en raison de l'incertitude des poids unitaires.

Figure 33 : Comparaison des exportations mexicaines de produits électroniques à destination des groupes de pays selon leur revenu (en haut) et des régions (en bas), et en fonction de chaque produit



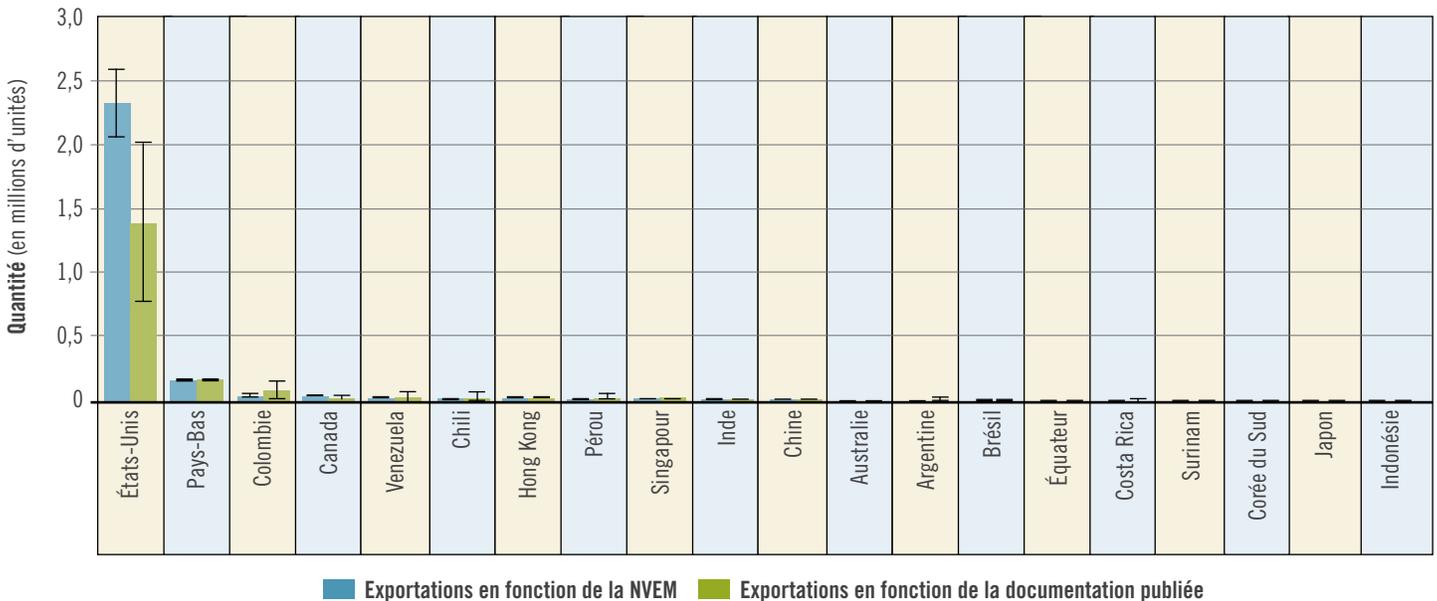
Note : En appliquant la MHCDOPC, on a estimé les quantités exportées en recourant à la NVEM et aux seuils tirés des données publiées (doc. publiée).

Figure 34 : Comparaison des exportations mexicaines d'ordinateurs et d'écrans usagés vers des groupes de pays selon leur revenu (à gauche) et des régions (à droite)



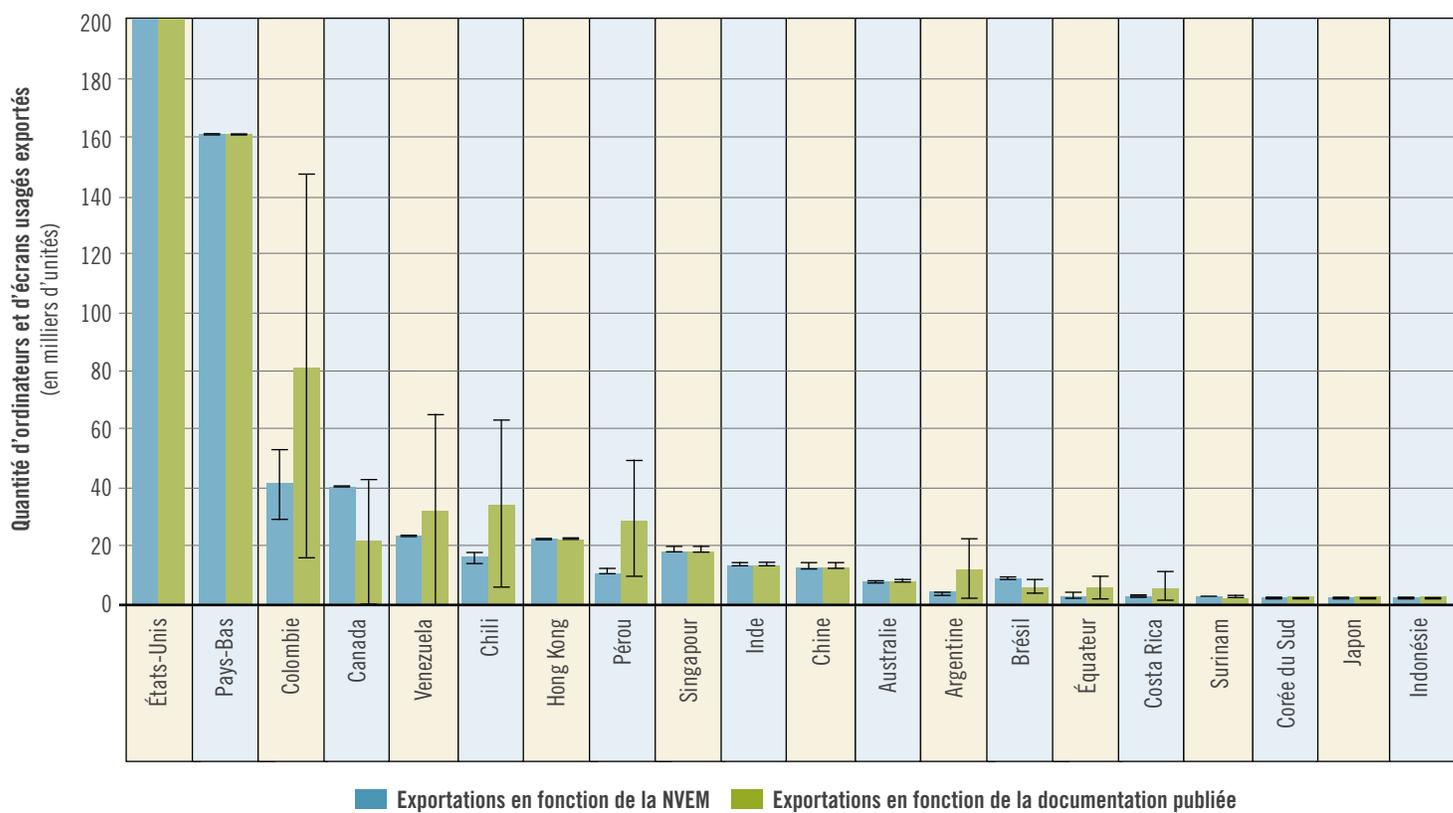
Note : En appliquant la MHCDOPC, on a estimé les exportations en recourant à la NVEM (diagramme à secteurs à gauche dans chaque paire) et aux seuils tirés des données publiées (diagramme à secteurs à droite dans chaque paire).

Figure 35 : Les 20 principaux pays destinataires des exportations mexicaines d'ordinateurs et d'écrans usagés déterminés en appliquant la MHCDOPC et en triant les seuils avec la NVEM



Note : Dans la figure 36, l'axe des y est tronqué afin de pouvoir y indiquer les plus petites quantités de produits exportés.

Figure 36 : Les 20 principaux pays destinataires des exportations mexicaines d'ordinateurs et d'écrans usagés déterminés en appliquant la MHCDOPC et en triant les seuils avec la NVEM



Note : L'axe des y est tronqué afin de pouvoir y indiquer les plus petites quantités de produits exportés.

3.4 Aux États-Unis

- Tout comme au Canada et au Mexique, les quantités d'ordinateurs et d'écrans générés et collectés au Mexique sont analogues à celles des États-Unis, mais avec un peu plus d'ordinateurs que d'écrans. Le poids des écrans générés et collectés est cependant plus élevé que celui des ordinateurs compte tenu de leur poids unitaire.
- Bien que les estimations de la génération et de l'élimination dans les lieux d'enfouissement obtenues dans le cadre d'une étude de l'*Office of Resource Conservation and Recovery* (ORCR, Service de la conservation et de la récupération des ressources) de l'EPA [9] dépassent celles obtenues avec les deux méthodes utilisées dans la présente étude, les estimations de la collecte sont similaires. L'étude de l'ORCR s'est fondée sur de plus faibles taux de collecte et des hypothèses différentes en matière de durée de vie des produits, même si les données sur les ventes étaient très similaires. Étant donné qu'il n'était pas possible de comparer directement l'étude de l'*Office of Solid Waste* (OSW, Service des déchets solides) de l'EPA [20] [50] à la présente étude, parce qu'elle ne

porte que sur l'ensemble des produits électroniques, par voie de comparaison, on peut vraiment en déduire que l'estimation obtenue dans le cadre de l'étude de l'ORCR est raisonnable.

- Les estimations de la collecte obtenues par Daoud (2011) sont plus importantes que celles de la génération et de la collecte découlant de la présente étude [8]. Cela indique que les deux méthodes appliquées dans le cadre de cette dernière ont donné des sous-estimations, ou que l'extrapolation à partir de l'enquête menée auprès des recycleurs a causé une surestimation de la quantité.
- Avec la méthode du bilan massique, la quantité collectée dans les secteurs public et privé se rapproche davantage de l'estimation de Daoud (2011), après enquête auprès des recycleurs, que celle obtenue avec la MHCDOPC. L'application de la méthode du bilan massique a donné lieu à la même démarche pour les deux secteurs, alors que la démarche entreprise avec la MHCDOPC a été la même que celle du bilan massique pour ces secteurs, mais a eu recours à un modèle beaucoup plus complexe d'estimation de l'obsolescence des produits vendus dans le secteur résidentiel grâce

à une plus grande disponibilité de données. Cela indique que la MHCDOPC a quelque peu donné des surestimations à l'égard des secteurs public et privé, ou à des sous-estimations à l'égard du secteur résidentiel, mais que son application pourrait s'améliorer en se fondant sur de meilleures enquêtes.

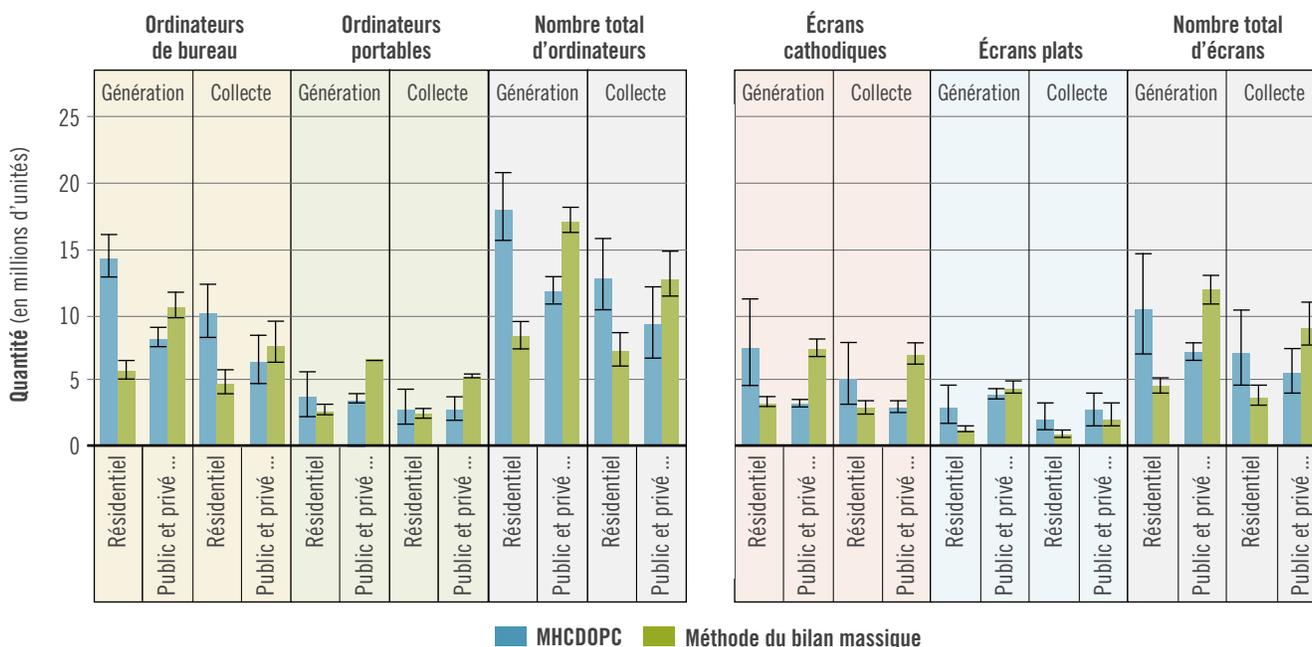
- La proportion totale de l'exportation et de la collecte varie de 5 à 35 % pour les ordinateurs et de 6 à 44 % pour les écrans. Étant donné les estimations de la collecte et de l'exportation obtenues avec la MHCDOPC, il est surprenant de voir à quel point les proportions d'ordinateurs et d'écrans sont semblables dans ces deux domaines.
- Comme on le prévoyait, le Mexique est la principale destination des ordinateurs et des écrans usagés qu'exportent les États-Unis en raison de la proximité des deux pays et du revenu par habitant relativement plus faible au Mexique; cela permet de penser que la demande y est plus forte en produits électroniques usagés.
- Les pays à revenu moyen supérieur constituent les principales destinations des exportations américaines (47 à 49 %), suivis des pays de l'OCDE à revenu élevé (23 à 27 %) et de l'ensemble des pays à revenu élevé (11 à 17 %). Compte tenu du fait que le Mexique fait partie

de l'Amérique du Nord dans le cadre de la présente étude, l'Amérique latine est la principale destination de ces exportations (28 à 32 %), suivie de l'Asie (25 à 29 %) et de l'Amérique du Nord (25 à 26 %).

- Les principaux pays de destination comprennent le Mexique, le Canada, Hong Kong, les Émirats arabes unis, le Liban, l'Argentine, le Chili, la Colombie, l'Italie et la Bolivie.
- La comparaison des exportations d'ordinateurs et d'écrans estimées en 2010 dans le cadre de la présente étude avec celles estimées en 2011 à l'aide des résultats d'une enquête et des données commerciales de l'*International Trade Commission* (ITC, Commission du commerce international) des États-Unis (2013), il est raisonnable de convenir de la justesse des estimations relatives aux exportations d'ordinateurs de bureau, d'ordinateurs portables et d'écrans cathodiques. L'enquête, menée en 2012, indique que les exportations d'écrans sont plus importantes que celles obtenues pour 2010 dans les estimations de la présente étude ou à partir des données commerciales de 2011 recueillies par l'ITC. Cela pourrait provenir du fait que l'accroissement des ventes d'écrans plats a suscité un accroissement de leur exportation au cours des dernières années.

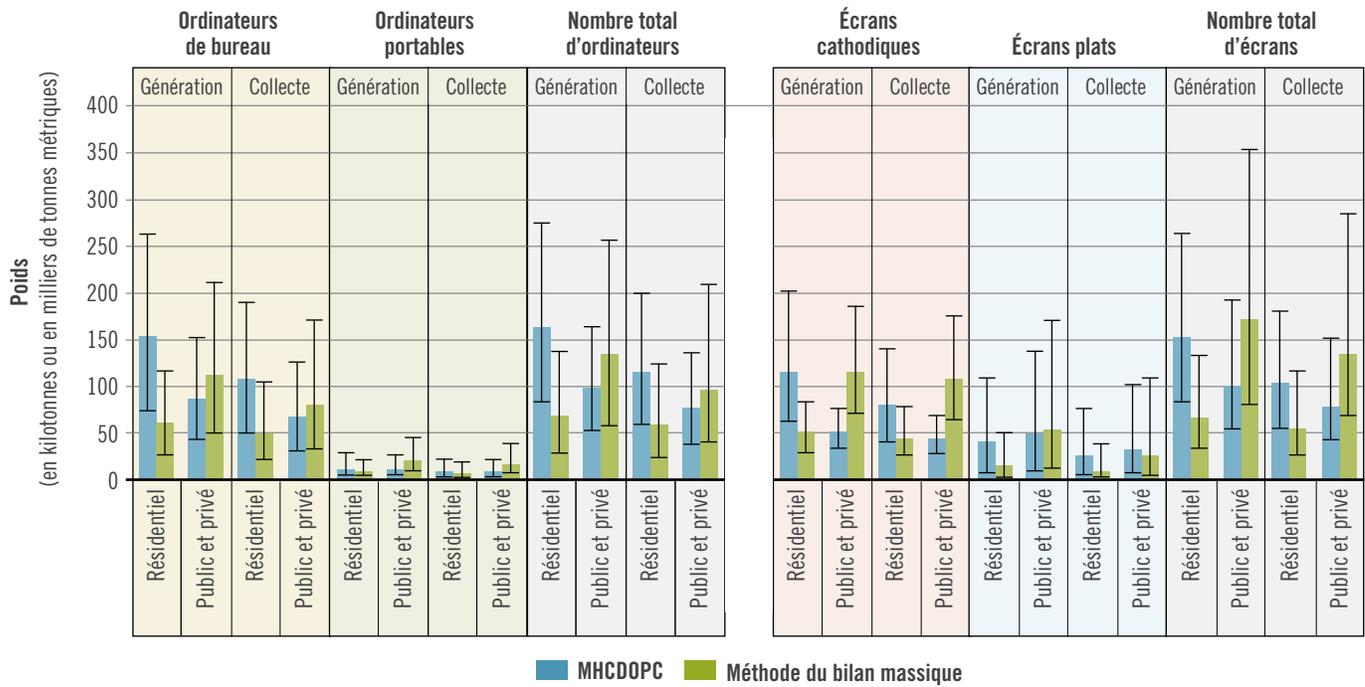
3.4.1 Génération et collecte

Figure 37 : Comparaison de la génération et de la collecte aux États-Unis dans le secteur résidentiel et les secteurs public et privé en fonction de la quantité de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée



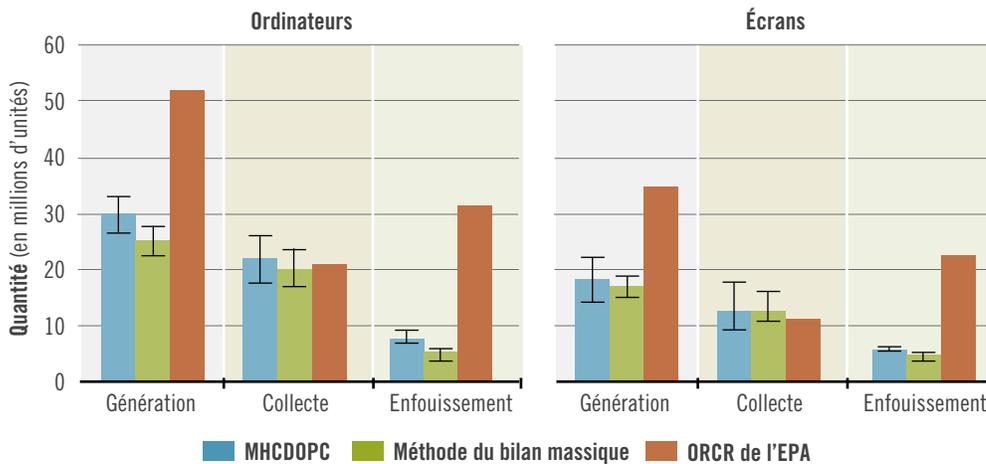
Note : Les colonnes représentent les moyennes et les barres d'erreur l'intervalle de confiance de 95 %.

Figure 38 : Comparaison de la génération et de la collecte aux États-Unis dans le secteur résidentiel et les secteurs public et privé en fonction du poids de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée



Note : Les colonnes représentent les moyennes et les barres d'erreur l'intervalle de confiance de 95 %.

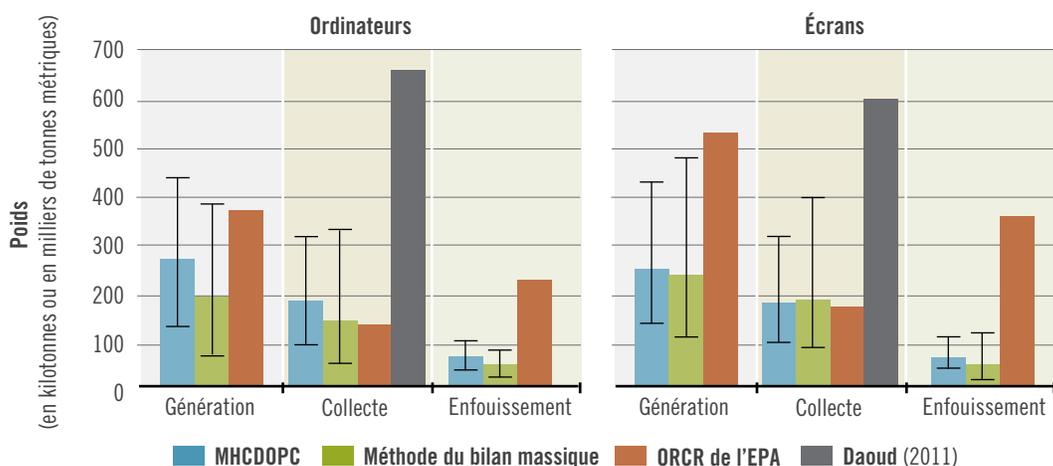
Figure 39 : Comparaison de la génération, de la collecte et de l'élimination dans les lieux d'enfouissement aux États-Unis en fonction de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée



Source : Estimations de l'ORCR de l'EPA [9].

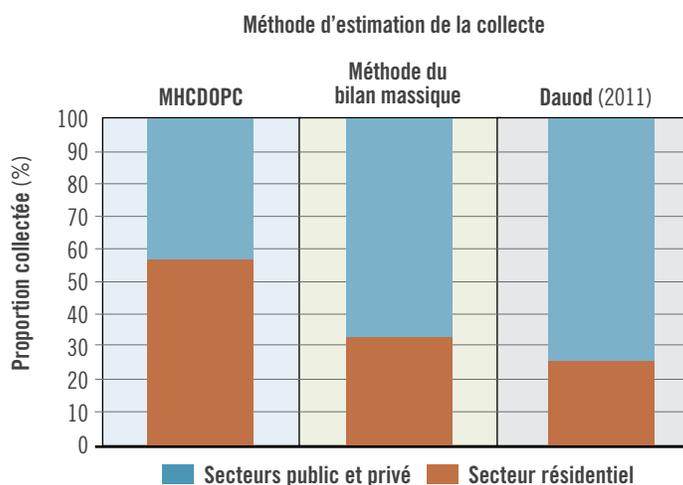
Note : Les colonnes représentent les moyennes et les barres d'erreur l'intervalle de confiance de 95 %.

Figure 40 : Comparaison de la génération, de la collecte et de l'élimination dans les lieux d'enfouissement aux États-Unis en fonction du poids de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée



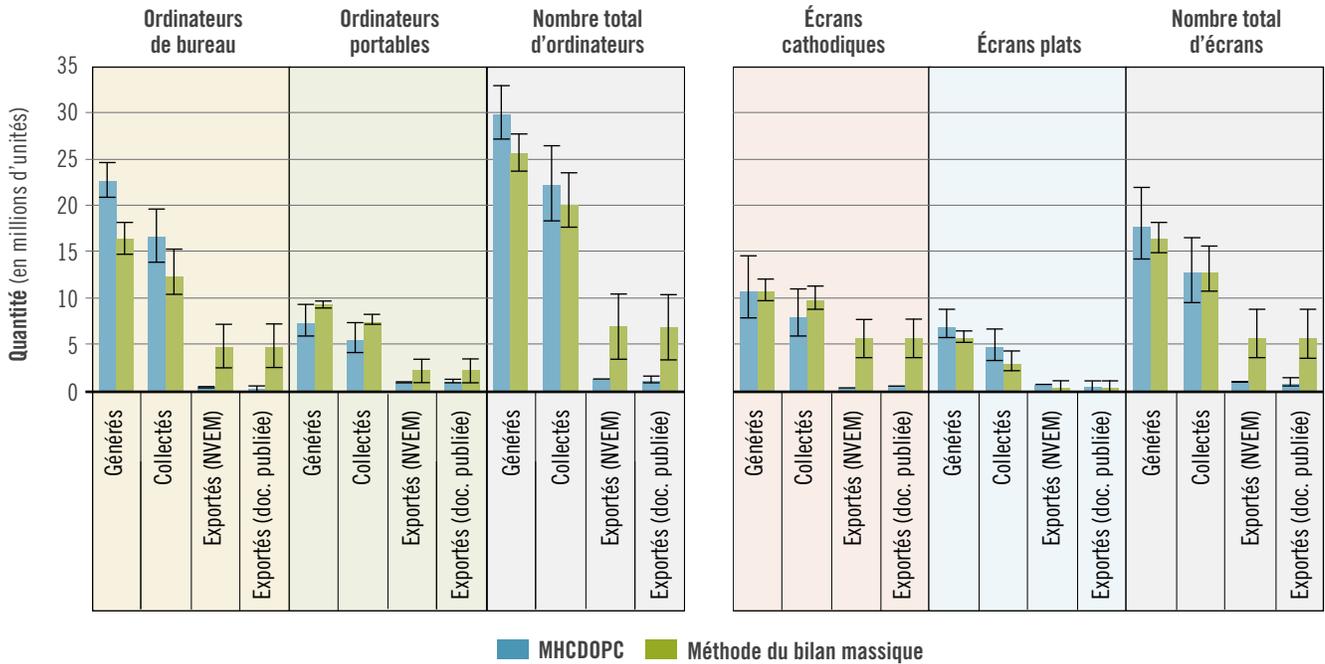
Source : Estimations de l'ORCR de l'EPA [9] et estimations de la collecte dans Daoud, 2011 [8].
 Note : Les colonnes représentent les moyennes et les barres d'erreur l'intervalle de confiance de 95 %.

Figure 41 : Proportion de la quantité collectée dans le secteur résidentiel et dans les secteurs public et privé en fonction de la méthode utilisée



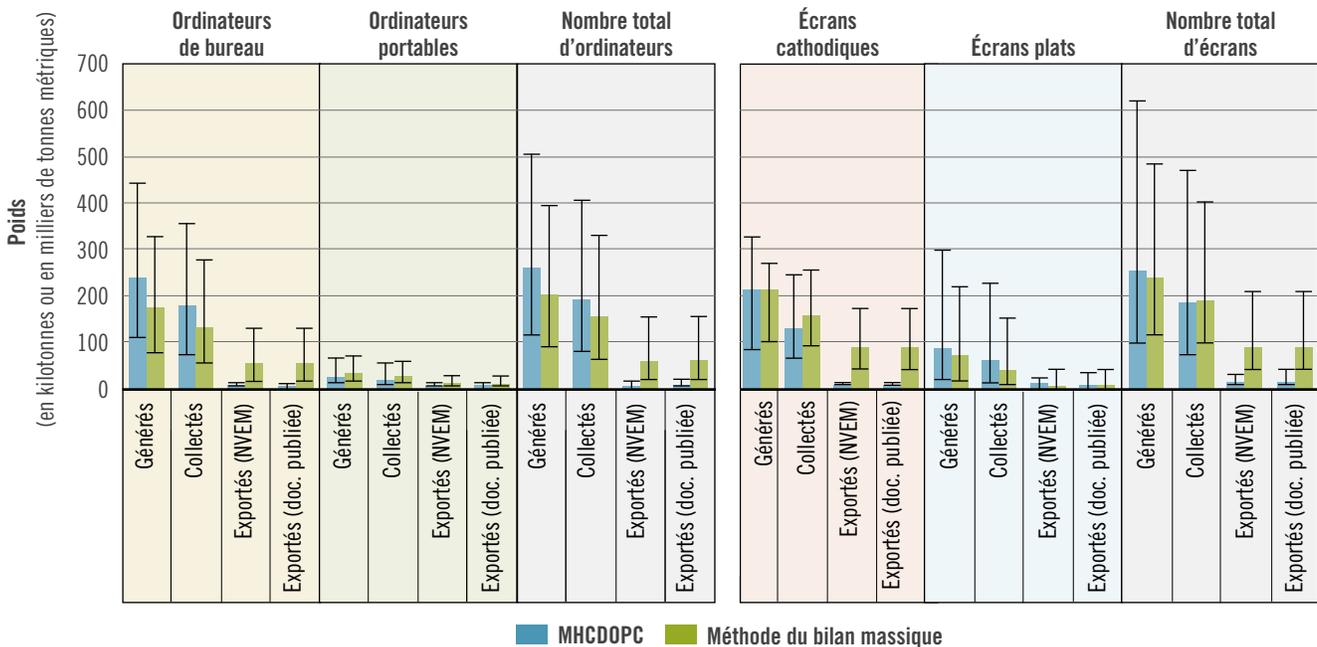
3.4.2 Génération, collecte et exportations

Figure 42 : Comparaison de la génération, de la collecte et de l'exportation aux États-Unis dans le secteur résidentiel et les secteurs public et privé en fonction de la quantité de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée



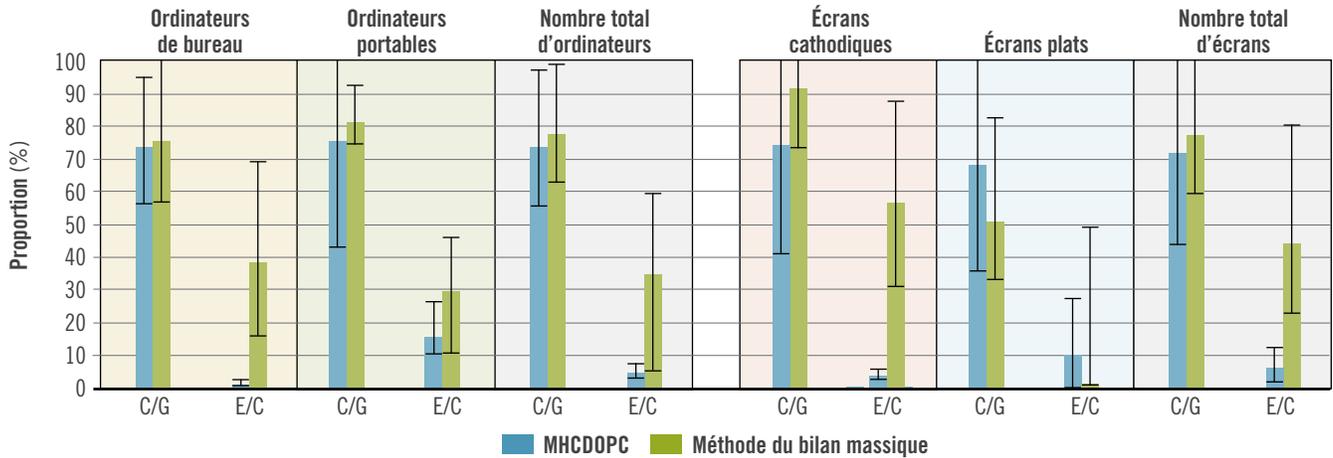
Source : En appliquant la MHCDOPC, on a estimé les quantités exportées en recourant à la NVEM et aux seuils tirés des données publiées (doc. publiée).
 Note : Les colonnes représentent les moyennes et les barres d'erreur l'intervalle de confiance de 95 %.

Figure 43 : Comparaison de la génération, de la collecte et de l'exportation aux États-Unis dans le secteur résidentiel et les secteurs public et privé en fonction du poids de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée



Source : En appliquant la MHCDOPC, on a estimé les quantités exportées en recourant à la NVEM et aux seuils tirés des données publiées (doc. publiée).
 Note : Les colonnes représentent les moyennes et les barres d'erreur l'intervalle de confiance de 95 %.

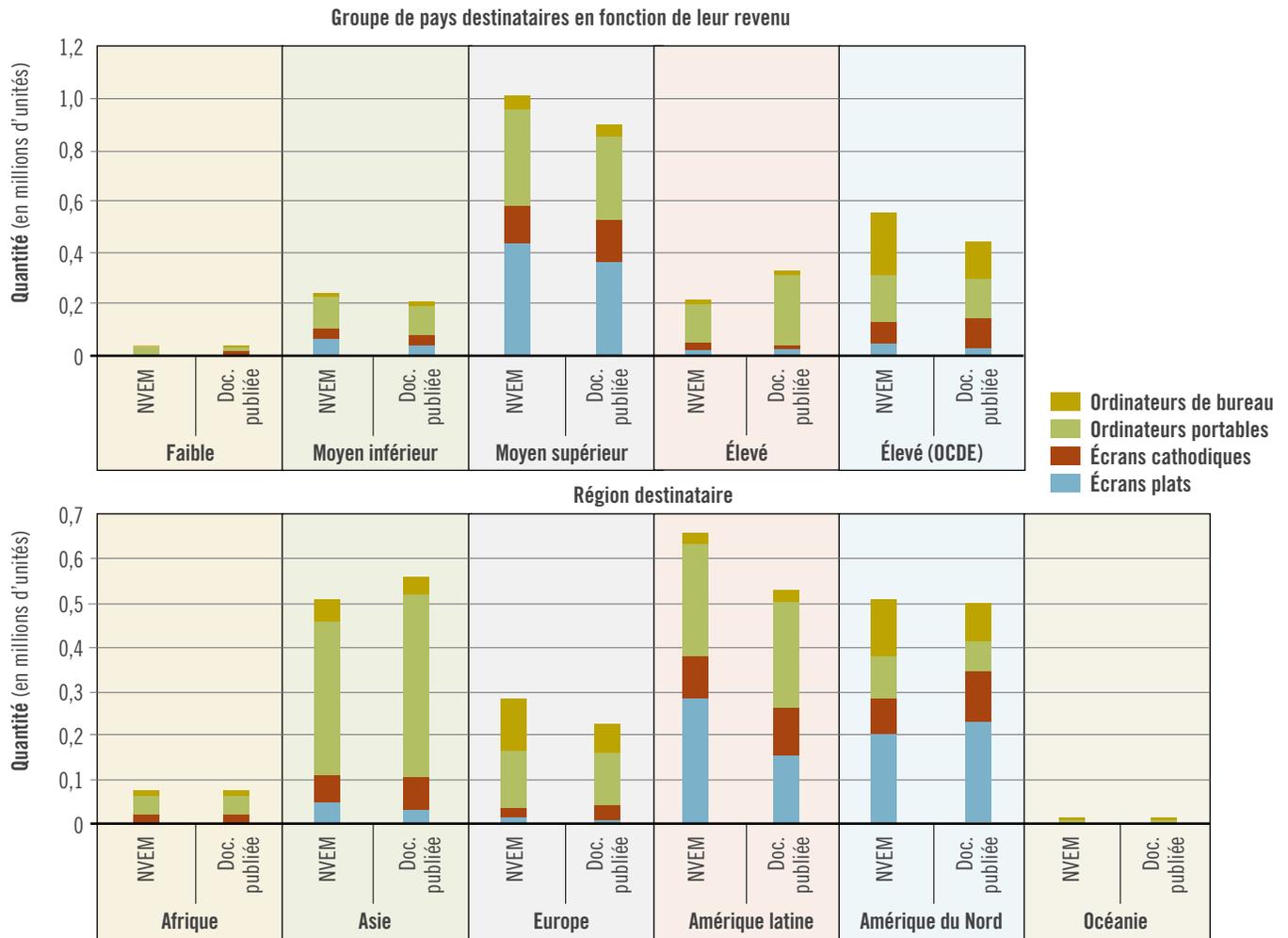
Figure 44 : Proportions américaines à chaque étape en aval comparativement à chaque étape en amont, et comparaison des proportions collectées et générées à celles exportées et collectées en fonction de chaque produit et de la méthode d'estimation utilisée



Source : En appliquant la MHCDOPC, on a estimé les quantités exportées en combinant les deux méthodes.

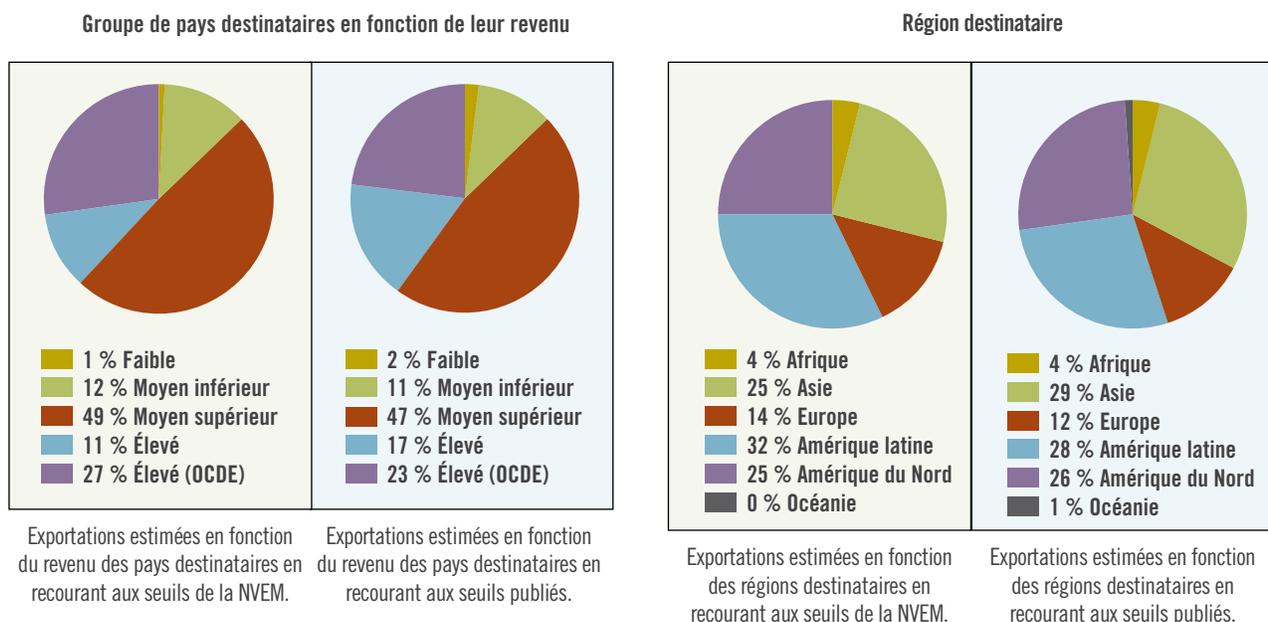
Note : Les colonnes représentent les moyennes et les barres d'erreur l'intervalle de confiance de 95 % en fonction de la quantité. Les poids ont les mêmes valeurs fractionnaires moyennes, mais leur intervalle de confiance est plus grand en raison de l'incertitude des poids unitaires.

Figure 45 : Comparaison des exportations américaines de produits électroniques à destination des groupes de pays selon leur revenu (en haut) et des régions (en bas) et en fonction de chaque produit



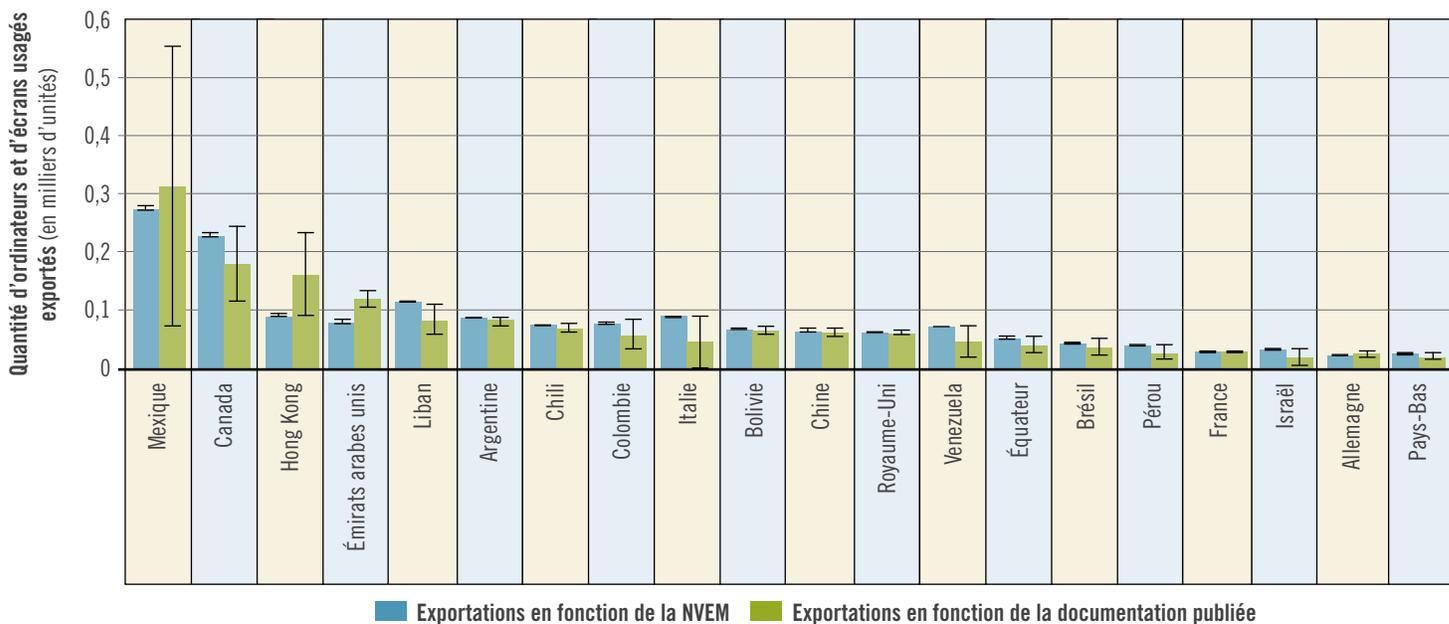
Source : En appliquant la MHCDOPC, on a estimé les quantités exportées en recourant à la NVEM et aux seuils tirés des données publiées (doc. publiée).

Figure 46 : Comparaison des exportations américaines d'ordinateurs et d'écrans usagés à destination des groupes de pays selon leur revenu (à gauche) et des régions (à droite)



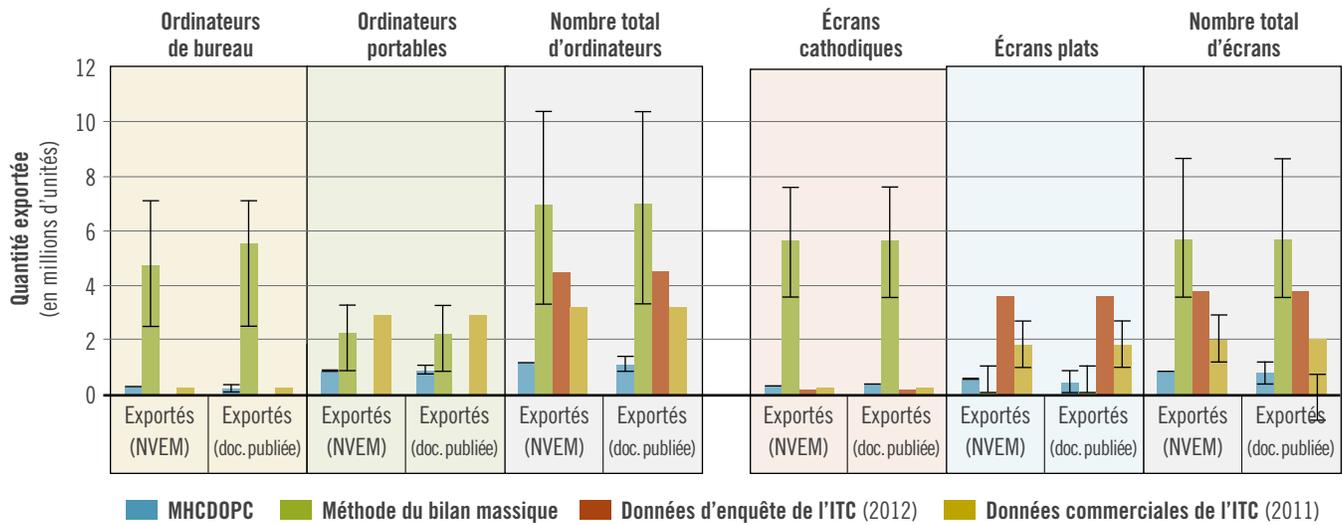
Source : En appliquant la MHCDOPC, on a estimé les exportations en recourant à la NVEM (diagramme à secteurs à gauche dans chaque paire) et aux seuils tirés des données publiées (diagramme à secteurs à droite dans chaque paire).

Figure 47 : Les 20 principaux pays destinataires des exportations américaines d'ordinateurs et d'écrans usagés déterminés en appliquant la MHCDOPC et en triant les seuils avec la NVEM



Note : On sait que plusieurs des pays ne sont pas des destinations finales des produits exportés, notamment Hong Kong, les Émirats arabes unis et le Liban, car ils les réexportent vers des destinations régionales.

Figure 48 : Comparaison des quantités exportées par les États-Unis en fonction de chaque produit et de la méthode utilisée dans la présente étude avec les résultats de l'ITC



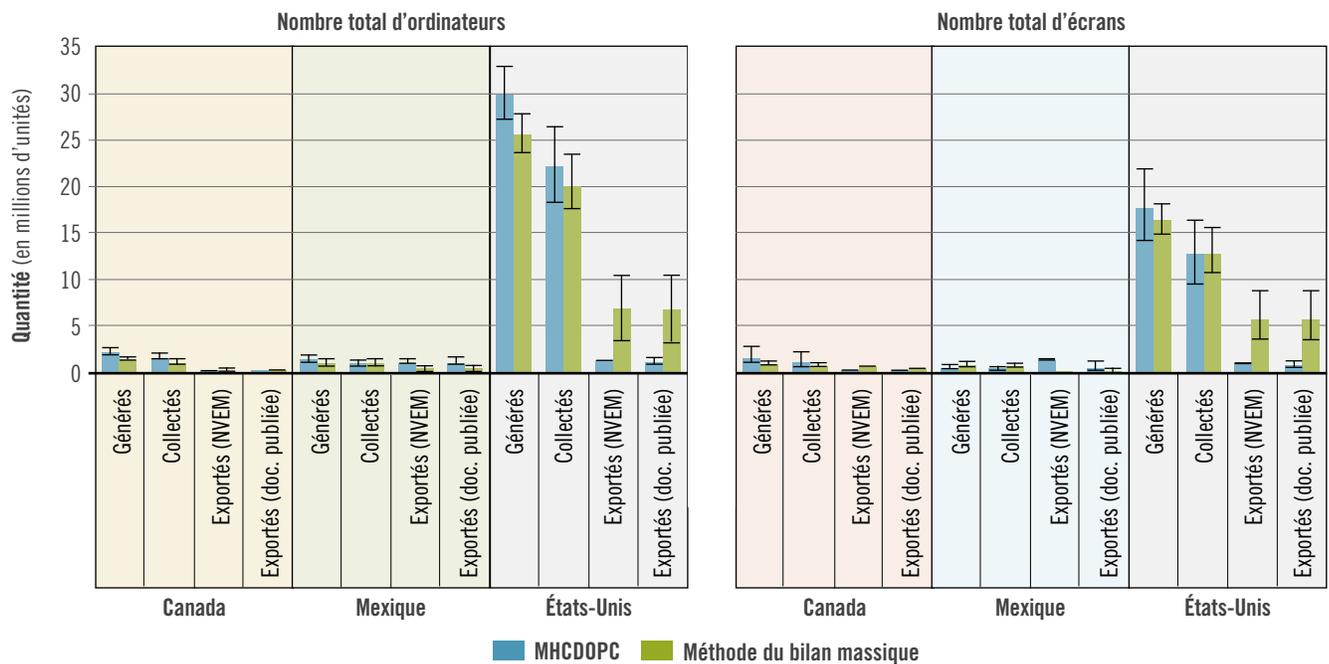
Source: US International Trade Commission, 2013 [47].

Note : En appliquant la MHCDOPC, on a estimé les quantités exportées en combinant les deux méthodes. Les colonnes représentent les moyennes et les barres d'erreur l'intervalle de confiance de 95 % en fonction de la quantité. Par ailleurs, il faut noter que l'étude que l'ITC a menée en 2013 donnait deux estimations des exportations en 2011, ce qui fait que ses résultats ne sont vraiment comparables avec ceux obtenus dans le cadre de la présente étude avec la NVEM et la documentation publiée. Les estimations se rapportent à l'année 2010.

3.5 Comparaison des pays

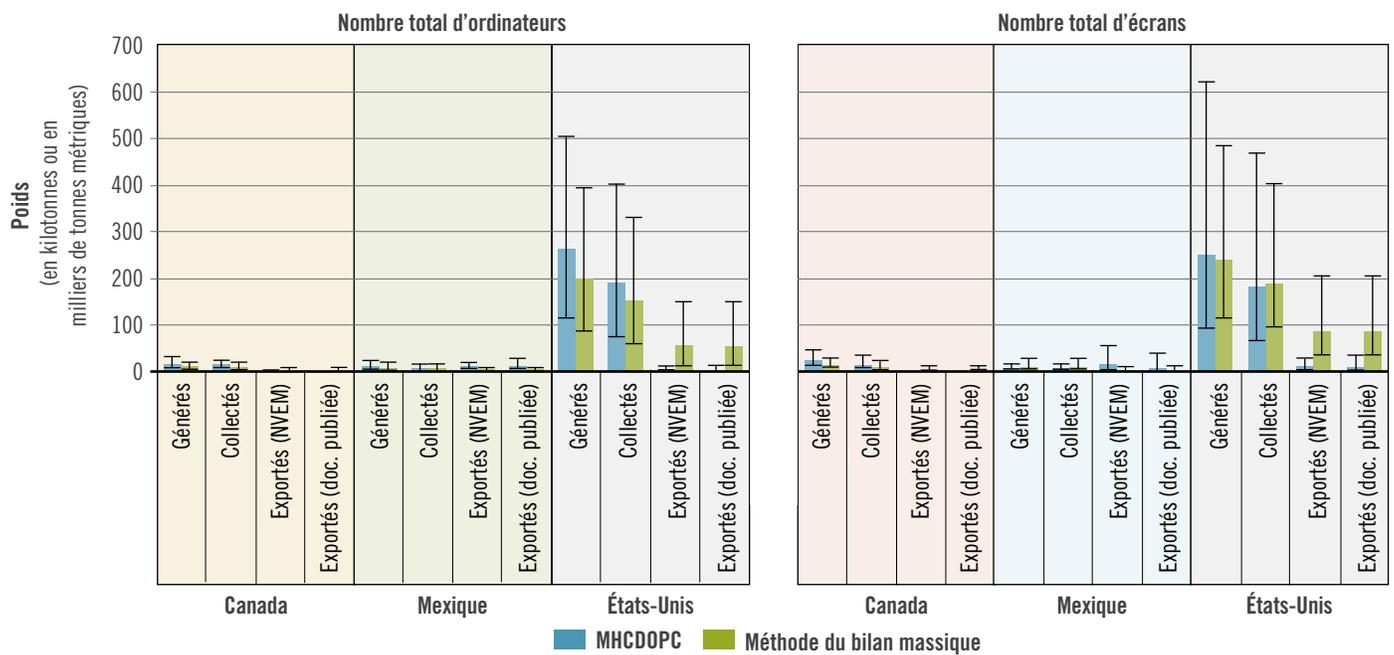
3.5.1 Génération, collecte et exportations

Figure 49 : Comparaison des quantités générées, collectées et exportées par chaque pays en fonction de chaque produit et de la méthode utilisée



Note : En appliquant la MHCDOPC, on a estimé les quantités exportées en recourant à la NVEM et aux seuils tirés des données publiées (doc. publiée). Les colonnes représentent les moyennes et les barres d'erreur l'intervalle de confiance de 95 %.

Figure 50 : Comparaison de la génération, de la collecte et de l'exportation dans chaque pays en fonction du poids de chaque produit et de la méthode utilisée



Note : En appliquant la MHCDOPC, on a estimé les quantités exportées en recourant à la NVEM et aux seuils tirés des données publiées (doc. publiée).
Les colonnes représentent les moyennes et les barres d'erreur l'intervalle de confiance de 95 %.



4. Conclusions et recommandations

4.1 Conclusions quantitatives

4.1.1 Génération et collecte

Si l'on compare les produits dans les trois pays nord-américains qui font l'objet de la présente étude, on se rend compte qu'il y a un peu plus d'ordinateurs que d'écrans qui sont générés et collectés. Le poids des écrans générés et collectés est cependant plus élevé que celui des ordinateurs compte tenu de leur poids unitaire. Comme cela est indiqué dans les résultats, la génération et la collecte des ordinateurs et des écrans usagés sont relativement proportionnelles à la population de chaque pays et à son revenu par habitant; les États-Unis comptant la plus forte population, selon les estimations, la génération et la collecte y sont de loin plus importantes que dans les deux autres pays. Mais même si le Mexique compte une plus forte population que le Canada, ce dernier a un revenu plus élevé par habitant et, conséquemment, un plus grand pouvoir d'achat, ce qui explique probablement pourquoi la génération et la collecte y sont sensiblement les mêmes qu'au Mexique.

4.1.2 Exportations

On a estimé la quantité et le poids des ordinateurs et des écrans usagés qu'ont exportés le Canada, le Mexique et les États-Unis en 2010 à l'aide de deux méthodes : la méthode hybride de collecte de données sur l'obsolescence des produits commerciaux (MHCDOPC) et la méthode du bilan massique. En fonction de ces deux méthodes, le Canada a exporté en moyenne de 55 000 à 114 000 ordinateurs usagés et de 22 000 à 218 000 écrans usagés. Pour ce qui est du Mexique, uniquement selon les résultats obtenus avec la méthode du bilan massique, en raison des résultats aberrants qu'a donnés la MHCDOPC, en moyenne, ce pays a exporté 315 000 ordinateurs usagés et 215 000 écrans usagés. Quant aux États-Unis, en fonction des deux méthodes, ils ont exporté en moyenne de 1 122 000 à 6 992 000 d'ordinateurs usagés et de 779 000 à 5 669 000 d'écrans usagés.

Par ailleurs, en comparant, en fonction des deux méthodes, la quantité d'ordinateurs et d'écrans usagés exportés avec la quantité collectée, on estime que la moyenne est de 1 à 30 % pour le Canada et de 3 à 47 % pour les États-Unis. Cette moyenne est de 100 % pour le Mexique avec la MHCDOPC, mais de 31 à 33 % avec la méthode du bilan massique. Les problèmes rencontrés avec les données commerciales mexicaines, lesquelles ont donné lieu à des surestimations tout comme les données sur les produits de faible valeur nouvellement fabriqués, ont pu causer une surestimation des exportations mexicaines lors de l'application de la MHCDOPC. Les autres estimations sont raisonnables

étant donné que ce pays dispose d'autres solutions de traitement à l'échelle nationale pour les produits électroniques usagés, notamment la réutilisation et le recyclage.

4.2 Conclusions méthodologiques

4.2.1 Génération et collecte

La MHCDOPC et la méthode du bilan massique offrent la possibilité d'obtenir un ensemble d'estimations pertinentes de la génération et de la collecte de produits électroniques usagés. À l'égard de la génération dans le secteur résidentiel, la MHCDOPC exige un modèle plus complexe et un ensemble de données qui permet de modéliser la durée de vie dans le cadre d'un modèle perfectionné de détermination de l'obsolescence des produits qui tient compte de leur réutilisation. Quant à la méthode du bilan massique, elle exige peu de données à part celles sur les ventes et de simples données d'enquête, ce qui constitue une démarche plus rationnelle pour obtenir un aperçu des flux, alors qu'un modèle de détermination de l'obsolescence des produits permet d'obtenir une série chronologique. Pour améliorer les estimations et réduire l'incertitude, il faudrait de meilleures données historiques et des enquêtes plus élaborées dans les secteurs public et privé auprès d'un plus vaste échantillon d'entreprises et d'institutions.

Comme cela est mentionné dans les recommandations, la MHCDOPC et la méthode du bilan massique sont similaires pour évaluer la génération et la collecte dans les secteurs public et privé, et donnent aussi des résultats similaires, comme prévu. Par ailleurs, la MHCDOPC a constamment donné des résultats plus élevés que la méthode du bilan massique en ce qui a trait à la génération et à la collecte dans le secteur résidentiel. Cela est peut-être dû au fait que les résultats obtenus avec la MHCDOPC dans le secteur résidentiel découlent des données sur les ventes de chaque produit, alors qu'avec la méthode du bilan massique les facteurs d'échelle se fondent sur un facteur d'échelle moyen à l'égard de tous les produits. Étant donné qu'avec les données sur les ventes on a obtenu des estimations plus faibles des ventes d'écrans cathodiques que celles déclarées dans le cadre des enquêtes, le facteur d'échelle moyen était lui aussi plus faible que celui des ordinateurs et des écrans plats, ce qui a probablement donné lieu à une sous-estimation des flux de ces produits.

4.2.2 Exportations

Hormis quelques exceptions, les méthodes que l'on a essayé d'appliquer dans la présente étude semblent raisonnablement représenter l'ensemble des ordinateurs et des écrans usagés qu'exportent le Canada, le Mexique et les États-

Unis. La juxtaposition des deux méthodes, la MHCDOPC et celle du bilan massique, s'est avérée utile pour estimer les seuils inférieurs et supérieurs des quantités exportées, et la comparaison des estimations de la collecte a permis de vérifier la validité des estimations de produits exportés. Étant donné que la MHCDOPC se fonde sur des données commerciales, elle a eu l'avantage de donner un aperçu des destinations de ces exportations.

4.3 Recommandations

Les travaux ont permis de formuler les quelques recommandations suivantes en vue d'améliorer les estimations de la génération, de la collecte et de l'exportation, et de diminuer ainsi les incertitudes à leur sujet :

- Une analyse des flux sur plusieurs années permettrait de dégager les tendances. Les méthodes proposées dans la présente étude peuvent servir à modéliser la génération, la collecte et l'exportation durant plusieurs années.
- Des données commerciales plus précises, notamment celles du Mexique, permettraient d'obtenir des estimations d'une plus grande exactitude.
- Des enquêtes supplémentaires plus détaillées menées annuellement auprès d'entités des secteurs public et privé pourraient améliorer l'exactitude des estimations de la génération, de la collecte et de l'exportation dans ces secteurs.
- L'instauration de codes commerciaux pour les produits usagés permettrait un suivi plus explicite de ces produits, mais dans la mesure où les codes seraient correctement utilisés.
- L'élargissement de l'accès aux données commerciales canadiennes et américaines sur les expéditions favoriserait une plus grande précision des analyses des flux d'exportations.
- Si l'Agence des services frontaliers du Canada enregistrait la quantité des produits électroniques exportés, cela favoriserait une plus grande précision des analyses des flux d'exportations.
- Les données commerciales mexicaines devraient distinguer les exportations des réexportations.
- Il serait possible d'utiliser d'autres modes d'estimation des flux d'exportations de produits électroniques usagés en vue de connaître les limites de ces modes dans le cadre d'estimations quantitatives.
- Bien que cette tâche soit fastidieuse, le renforcement de l'enregistrement de la destination des réexportations dans les déclarations permettrait de bien mieux connaître la destination finale des flux commerciaux, en indiquant de façon plus évidente en quoi consistent les transactions. On doit noter que le système de codes ne fait actuellement référence qu'à deux partenaires commerciaux.



5. Bibliographie

1. Economics and Statistics Administration of US Census Bureau. 2000. *Merchandise Trade Reconciliation: United States - Mexico - Canada 1996 - 1997*. US Department of Commerce News.
2. Interagency Task Force on Electronics Stewardship. 2011. *National Strategy for Electronics Stewardship*.
3. PACE. 2011. *Guideline on Environmentally Sound Testing, Refurbishment, & Repair of Used Computing Equipment*. Partnership for Action on Computing Equipment.
4. Miller, T.R. et coll. 2012. *Characterizing Transboundary Flows of Used Electronics: Summary Report*. MIT et NCER.
5. Lepawsky, J. and C. McNabb. 2010. *Mapping international flows of electronic waste*. Canadian Geographer-Géographe canadien, **54**(2), p. 177-195.
6. Miller, T.R. 2012. *Quantitative Characterization of Transboundary Flows of Used Electronics: A Case Study of the United States in Engineering Systems Division*. MIT.
7. UN Statistics Division. 2010. *International Merchandise Trade Statistics: Concepts and Definitions, 2010*, in *Statistical Papers*.
8. Daoud, D. 2011. *Survey: Inside the US Electronics Recycling Industry*. IDC.
9. US EPA ORCR. 2011. *Electronics Waste Management in the United States through 2009*.
10. UN. 2012. Department of Economic and Social Affairs, *World Population Prospects, the 2012 Revision: Total Population - Both Sexes*.
11. The World Bank. 2013. *World Development Indicators*.
12. UN. 2012. Statistics Division. *UN Comtrade: United Nations Commodity Trade Statistics Database*. Consultable à l'adresse <<http://comtrade.un.org/db/default.aspx>>.
13. Kahhat R. et E. Williams. 2012. *Materials flow analysis of e-waste: Domestic flows and exports of used computers from the United States*. Resources, Conservation and Recycling **67**: 67-74.
14. Consumer Reports. 2006. *E-Waste Survey 2006*.
15. Deb, P. 2012. *FMM: Strata module to estimate finite mixture models*. Statistical Software Components.
16. Singh, R. et K. Mukhopadhyay. 2011. Survival analysis in clinical trials: Basics and must-know areas. *Perspect. Clin. Res.* **2**(4): 145-148.
17. RIS International Ltd. 2003. *Information Technology (IT) and Telecommunication (Telecom) Waste in Canada-2003 Update*. Concord, Ontario, Canada.
18. Román Moguel, G.J. 2007. *Diagnóstico sobre la Generación de Residuos Electrónicos en México (Assessment of the Generation of Electronic Waste in Mexico)*. Instituto Politécnico Nacional: México, D.F.
19. Román Moguel, G.J. 2012. *E-Waste situation and solutions in developing countries with market economies in transition: E-Waste in Mexico*, in *Special Update for INECC*, 2012.

20. USEPA OSW. 2013. *Municipal Solid Waste in the United States: 2011 Facts and Figures*.
21. Samsung Canada. 2012. *Out with the old, in with the new: Samsung Canada survey reveals that despite 1 in 4 Canadians gifting new electronics, old technology is still not being recycled properly*.
22. Alcorn, W. 2012. *2012 CE Recycling and Reuse Survey, 2012*. Consumer Electronics Association.
23. Brugge, P. 2008. *Trends in CE Reuse, Recycle and Removal*. Consumer Electronics Association.
24. Williams, R.K. et C. Mattick. 2009. *Survey of Consumer Purchases and Use of Electronics*.
25. Ontario Electronics Stewardship (OES). 2013. *2012 Annual Report: Growing and Building Reforms for a Sustainable Future*.
26. Alberta Recycling Management Authority (ARMA). 2012. *The Promise of Responsible Environmental Stewardship: 2011/12 Annual Report to the Business Plan*.
27. Atlantic Canada Electronics Stewardship (ACES). 2010. *2010 Annual Report*.
28. Atlantic Canada Electronics Stewardship (ACES). 2012. *Annual Report 2011*.
29. Electronic Stewardship Association of British Columbia (ESABC). 2011. *Annual Report 2010*.
30. Electronic Stewardship Association of British Columbia (ESABC). 2012. *Annual Report 2011*.
31. Ontario Electronics Stewardship (OES). 2010. *2009–2010 Annual Report*.
32. Saskatchewan Waste Electronic Equipment Program (SWEEP). 2010. *Sweeping Changes: Saskatchewan Waste Electronic Equipment Program 2009/10 Annual Report*.
33. Saskatchewan Waste Electronic Equipment Program (SWEEP). 2011. *SWEEP 2010–11 Annual Report*.
34. Electronic Products Recycling Association (EPRA). 2013. *Product Clarifications Tracking Sheet*.
35. Statistique Canada. 2012. *Population par année, par province et territoire*.
36. Linnell, J. 2013. *Personal Interview*, éd. : C. Wisehart.
37. Electronic Products Recycling Association (EPRA). 2012. *Summary of Landfill Bans*.
38. CBCL Limited for Resource Recovery Fund Board. 2012. *Waste Audit Services Project: Final Summary Report*.
39. Sperling Hansen Associates. 2010. *Solid Waste Stream Composition Study 09-10, Phase 1 Progress Report*.
40. Technology Resource Inc. 2008. *Solid Waste Composition Study for Metro Vancouver*.
41. StewardEdge. 2012. *Saskatchewan Residential Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) Generation Study 2012*.
42. World Bank. 2012. *Country and Lending Groups*. 2012 [consulté le 21 July 2012]. Consultable à l'adresse <<http://data.worldbank.org/about/country-classifications/country-and-lending-groups>>.
43. UN. 2011. Statistics Division. *Composition of macro geographical (continental) regions, geographical sub-regions, and selected economic and other groupings*. [consulté le 20 juillet 2012]. Consultable à l'adresse <<http://unstats.un.org/unsd/methods/m49/m49regin.htm>>.

44. Fan, J. et B. Lei. 2012. *A modified valley-emphasis method for automatic thresholding*. Pattern Recognition Letters 33(6): 703–708.
45. CIPREC (Centro Interdisciplinario para la Prevención de la Contaminación, A.C.). 2013. Revision of the report entitled *Development of a Framework and Validated Method to Characterize and Quantify the Flow of Used Computers and Monitors between North America and the Rest of the World*. Établi pour le compte de la Commission de coopération environnementale.
46. Quintero Hermanos Ltd. 2012. SICEX. Consultable à l'adresse <www.sicex.com/>.
47. US International Trade Commission. 2013. *Used Electronic Products: An Examination of US Exports*.
48. USITC. 2013. *US Exports of Used Electronic Products Valued at \$1.5 Billion in 2011, Says USITC*. Nouvelle version.
49. PHA Consulting Associates. 2006. *Electronic Waste Recovery Study*. Nouvelle-Écosse, Canada.
50. US EPA. 2011. *Municipal Solid Waste Generation, Recycling, and Disposal in the United States: Facts and Figures for 2010*.
51. Secretariat of the Basel Convention. 2013. *Parties to the Basel Convention*. Consultable à l'adresse <www.basel.int/Countries/Statusofratifications/PartiesSignatories/tabid/1290/language/en-US/Default.aspx>.
52. US EPA. 2011. *Chapter V-Basel Convention*. International Waste Activities-2011 [consulté le 21 juillet 2012]. Consultable à l'adresse <www.epa.gov/osw/hazard/international/basel3.htm>.
53. Partnership for Action on Computing Equipment (PACE) Working Group Sub-group on Transboundary Movements. 2011. *Guidance on Transboundary Movement (TBM) of Used and End-of-Life Computing Equipment*.
54. Romo, H.L. 2008. *Distribución de Niveles Socioeconómicos 2008 (Distribution of Socioeconomic Levels 2008)*, Comité Niveles Socioeconómicos Asociación Mexicana de Agencias de Investigación de Mercados y Opinión Pública.
55. GIA. 2008. *Monitors (Computer): A Global Strategic Business Report*. Global Industry Analysts. Consultable à l'adresse : <<http://strategy.com/>>.

Annexes

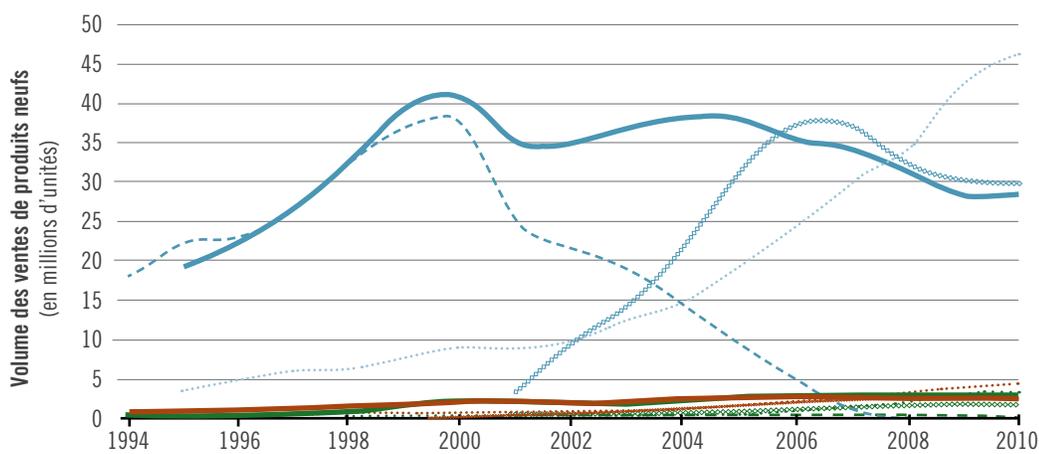


Annexe 1 – Aperçu comparatif national

Si l'on compare les pays nord-américains faisant l'objet de la présente étude en fonction des accords internationaux sur les mouvements transfrontaliers de produits électroniques usagés, le Canada et le Mexique sont par-

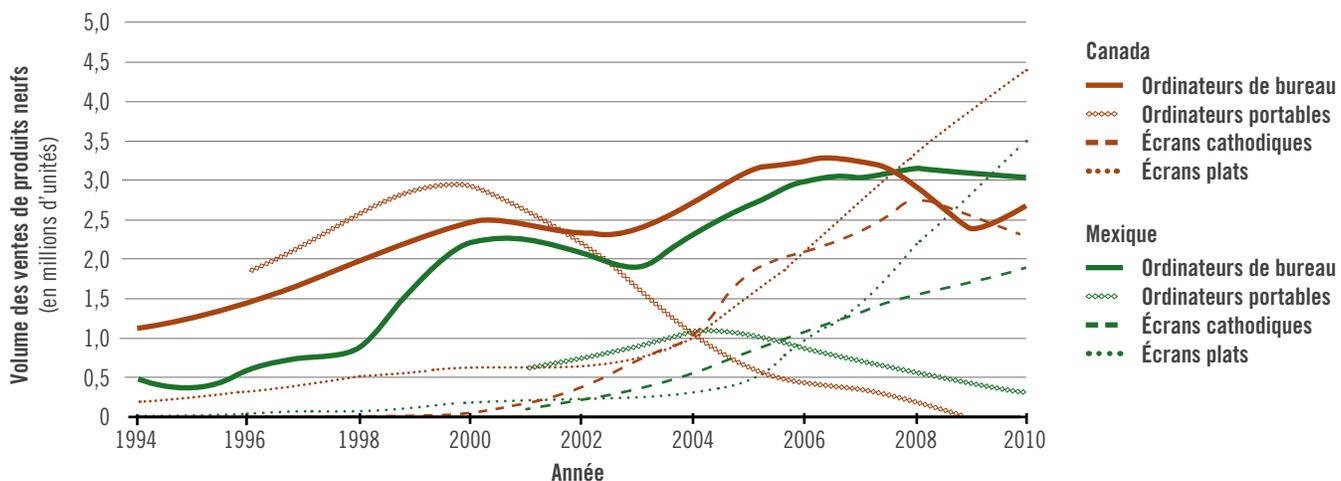
ties à la *Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontaliers de déchets dangereux et de leur élimination* (Convention de Bâle), alors que les États-Unis en sont signataires, mais ne l'ont pas ratifiée [51]. Les

Figure 51 : Comparaison des ventes par pays et par produit



Note : Des lignes sont estompées afin de protéger les données exclusives.

Figure 52 : Comparaison des ventes de produits neufs par pays et par produit

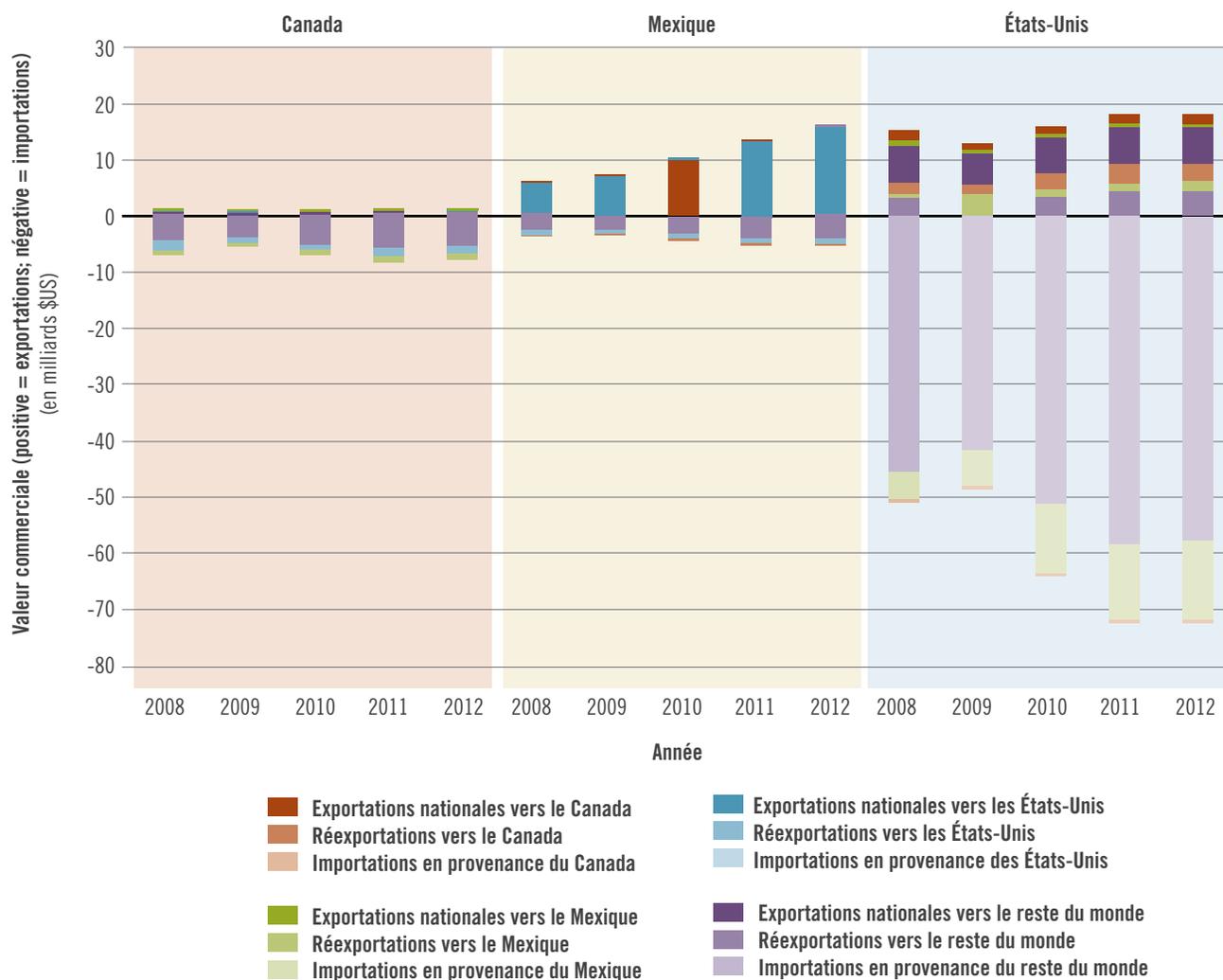


Note : Il n'est question que du Canada et du Mexique afin de présenter davantage de détails. Des lignes sont estompées afin de protéger les données exclusives.

déchets visés par cette convention le sont en vertu des dispositions de son article 1 relatives aux mouvements transfrontaliers de déchets dangereux et d'autres déchets. Les pays qui ne sont pas parties à la Convention ne pouvant effectuer des transferts de déchets avec des

pays qui en sont parties, sauf s'ils ont conclu un accord distinct et équivalent à caractère bilatéral ou multilatéral, les États-Unis ont conclu plusieurs accords bilatéraux et un accord multilatéral avec des pays membres de l'OCDE [52].

Figure 53 : Balance commerciale des ordinateurs et des écrans neufs et usagés



Annexe 2 – Collecte de données sur les modèles nationaux d'utilisation des ordinateurs et de leur gestion de fin de vie

Les enquêtes conçues par Kahhat et Williams dont on s'est servi dans la présente étude sont consultables dans la section ci-après concernant les États-Unis, mais aussi dans les données qui complètent leur article sur ce pays et qui peuvent, dans l'ensemble, s'appliquer aux autres pays [13].

Au Canada

La section qui suit, rédigée par Ramzy Kahhat et Eric Williams, expose la méthodologie des enquêtes en ligne menées au Canada à l'égard du secteur résidentiel et des secteurs public et privé. Les questionnaires d'enquête étaient disponibles en français et en anglais.

Secteur résidentiel

Participants : Les participants (aussi désignés les « répondants ») comprenaient 791 adultes résidant au Canada qui possédaient un ordinateur familial. Des 791 personnes qui ont commencé à répondre au questionnaire, 191 n'ont pas fini d'y répondre et 600 y ont complètement répondu. Cela signifie que les renseignements qui suivent sont tirés des réponses de ces 600 personnes à l'enquête. Ces répondants faisaient partie d'un groupe d'enquête en ligne comptant quelque 25 000 personnes admissibles à répondre à des enquêtes dans le site Web de la société Opinionology située à Orem (Utah), aux États-Unis. Tous les répondants ont été rétribués sous forme d'un crédit électronique après avoir répondu au questionnaire, et toutes leurs réponses ont été traitées conformément aux principes déontologiques de l'American Psychological Association et du comité d'éthique institutionnel de l'Arizona State University.

Population échantillonnée : Afin de veiller à ce que toute extrapolation exigée par l'utilisation et la mise au rebut des ordinateurs et des écrans dans le secteur résidentiel soit précise à l'égard de toute la population, l'échantillon devait être le plus représentatif possible de cette population. L'échantillon choisi était donc représentatif de la population canadienne adulte selon les paramètres qui suivent (avec des réserves là où elles s'imposaient), comparativement à la population du Canada en 2006 (Recensement du Canada, 2010) : le sexe, le lieu de résidence et la province ou le territoire, l'âge, le revenu familial et le niveau d'instruction. Les dérogations à la représentativité nationale sont exposées en détail ci-après. En outre, il est important

de noter que le système de quotas utilisé pour les enquêtes en ligne se fonde sur les invitations et non sur les questionnaires dûment remplis. Cela signifie que le système a accepté les questionnaires auxquels les participants avaient commencé à répondre avant qu'un quota soit atteint. Les chercheurs n'avaient aucune possibilité de rejeter un questionnaire lorsqu'une personne était en train d'y répondre.

Sexe : Parmi les 600 répondants, 293 (48,83 %) étaient des hommes et 307 (51,17 %) des femmes. Cela correspond à la répartition des sexes dans la population adulte du Canada.

Domicile : On a sollicité des réponses dans les 13 provinces et territoires en se fondant sur les données du recensement canadien de 2006. Toutefois, en raison de leur faible population, on a sollicité des réponses sans en obtenir de la part de résidents de l'Île-du-Prince-Édouard, des Territoires du Nord-Ouest, du Nunavut et du Yukon. (Le groupe de répondants en ligne comprenait très peu de membres de cette province et de ces territoires où la population est faible. Ils ont reçu une invitation, mais n'y ont pas répondu.) On a sollicité davantage de réponses dans les provinces plus peuplées, telles que l'Alberta, la Colombie-Britannique et l'Ontario, afin de combler la différence. Le Québec a été la seule province peuplée dont le taux de réponse s'est avéré plus faible que prévu, en raison du petit nombre de répondants francophones disponibles.

Âge : L'âge des répondants variait de 18 à 85 ans, conformément aux données du recensement canadien de 2006. La seule dérogation par rapport aux proportions de ce recensement dans l'invitation à répondre à l'enquête était le démantèlement des groupes d'âge au-dessus de 65 ans; c'est-à-dire que les proportions de chaque sous-groupe au-dessus de 65 ans ont été incluses dans la « catégorie de plus de 65 ans » et considérées ensuite comme un seul grand groupe. Cela tient compte du fait que les générations les plus âgées sont moins actives sur Internet. Les réponses obtenues par tranche d'âge correspondent aux données du recensement, sauf en ce qui concerne la province et les trois territoires susmentionnés desquels on n'a pas obtenu de réponse.

Revenu familial : Des répondants de tous les niveaux de revenu familial ont répondu à l'enquête, conformément aux données du recensement de 2006, à part deux exceptions :

- 1) Un nombre plus faible de répondants que la proportion de la population recensée dont le revenu familial se situait dans la catégorie la plus élevée (au-dessus de 150 000 \$CAN par année) a répondu à l'enquête, en raison de la plus faible proportion de personnes riches dans le groupe de répondants que la population en général.
- 2) Un nombre un peu plus faible de répondants que la proportion de la population recensée dont le revenu familial se situait dans la catégorie la plus faible (moins de 25 000 \$CAN par année) a répondu à l'enquête, en raison du fait qu'ils étaient moins nombreux à posséder un ordinateur.

Niveau d'instruction : Les répondants de tous les niveaux d'instruction, secondaire et postsecondaire, ont participé à l'enquête conformément aux données du recensement canadien de 2006. Les auteurs ont ajouté les catégories « études collégiales ou universitaires partielles » et « études supérieures partielles » à la liste des options en plus de celles indiquées par le recensement afin de tenir compte des répondants qui étudiaient encore. Toutefois, ces catégories n'ont pas été choisies par les répondants et n'ont conséquemment pas fait partie de la présentation des données. Le niveau d'instruction réel de l'échantillon de répondants était représentatif du niveau national (la surreprésentation des diplômés du secondaire et des diplômés en études supérieures était de moins de 2 %, et s'avérait par conséquent statistiquement négligeable).

Choix de l'échantillon : Le choix des répondants s'est effectué dans un groupe de 25 000 répondants potentiels géré par la société Opinionology située à Orem (Utah), aux États-Unis. On a trié les répondants en fonction de la pertinence démographique et de leurs antécédents en matière d'honnêteté dans le cadre des enquêtes auxquelles ils avaient déjà participé avant la présente enquête (p. ex., ceux ayant un mauvais dossier de réponse aux enquêtes ont été éliminés). Le groupe de répondants potentiels était en général représentatif de la population canadienne adulte.

Documentation : Le seul document consistait en une enquête en ligne dans un site Web qui était offerte en anglais ou en français. Elle a été traduite de l'anglais vers le français et contre-traduite vers l'anglais afin de s'assurer que le contenu était identique dans chaque version. Avant de pouvoir commencer à répondre à l'enquête, les répondants ont dû donner leur consentement éclairé à un avis en cliquant sur un bouton.

L'enquête comprenait 22 questions dans six domaines en plus du choix de la langue : des questions à caractère démographique (l'âge, le sexe et le lieu de résidence [province et

type de région], le revenu familial, le niveau d'instruction, l'état civil et la durée d'entreposage des produits); les écrans au domicile (même chose pour les ordinateurs au domicile); la mise au rebut des ordinateurs (type des ordinateurs éliminés, leur nombre, et le mode et la date d'élimination); l'élimination des écrans (même chose pour les ordinateurs); l'élimination d'autres produits électroniques.

Démarche : La société Opinionology a choisi les répondants avant leur participation à l'enquête en se fondant sur les critères démographiques des auteurs. Ceux qui étaient admissibles selon ces critères ont reçu une invitation par courriel de la part de cette société comportant le lien menant à la page Web de l'enquête. Après avoir choisi la langue dans laquelle ils voulaient répondre à l'enquête (en français ou en anglais), les répondants devaient lire un avis de consentement éclairé. Pour donner leur consentement, ils devaient cliquer sur *Suivant*, ce qui leur permettait de commencer à répondre aux questions. S'ils ne donnaient pas leur consentement, l'enquête prenait fin (le questionnaire étant considéré comme incomplet).

Après avoir répondu au questionnaire, les répondants ont été dirigés vers une page Web où s'affichaient leurs coordonnées afin de les communiquer au groupe de chercheurs. La société Opinionology a rémunéré les répondants après qu'ils aient dûment rempli le questionnaire dans son site Web. Il fallait en moyenne huit minutes pour y répondre et les données ont été recueillies entre le 23 décembre 2010 et le 25 janvier 2011.

Secteurs public et privé

Participants : Les participants (aussi désignés les « répondants ») comprenaient 350 adultes occupant un poste en technologie de l'information et/ou en gestion de biens dans les secteurs public et privé du Canada, y compris au sein d'entités à but et sans but lucratif. DES-350 personnes qui ont commencé à répondre au questionnaire, 5 n'ont pas fini d'y répondre et 345 y ont complètement répondu. Cela signifie que les renseignements qui suivent sont tirés des réponses de cES-345 personnes à l'enquête. Ces répondants faisaient partie d'un groupe d'enquête en ligne comptant quelque 25 000 personnes admissibles à répondre à des enquêtes dans le site Web de la société Opinionology située à Orem (Utah), aux États-Unis. Tous les répondants ont été rétribués sous forme d'un crédit électronique après avoir dûment rempli le questionnaire, et toutes leurs réponses ont été traitées conformément aux principes déontologiques de l'American Psychological Association et du comité d'éthique institutionnel de l'Arizona State University.

Choix de l'échantillon : L'échantillon des répondants choisis était représentatif des secteurs public et privé du Canada, et on les a triés en fonction des paramètres suivants (avec des réserves là où elles s'imposaient), comparativement aux statistiques de 2009 (Statistiques relatives à l'industrie canadienne, 2010) : domicile (ville et province) et taille de l'entreprise ou de l'organisme. Les auteurs n'ont pas sollicité les données recueillies et divulguées sur ces deux secteurs. Les dérogations à la représentativité nationale sont exposées en détail ci-après.

Domicile : On a enregistré les données concernant le domicile de l'établissement des répondants et même des autres établissements appartenant à l'organisme ou à l'entreprise où ils travaillaient, mais celles indiquées ci-après ne concernent que l'établissement où travaillait chaque répondant. On a sollicité des réponses dans les 13 provinces et territoires en se fondant sur les données aux statistiques relatives à l'industrie canadienne de 2006, toutefois, en raison de leur faible population, on a sollicité des réponses sans en obtenir de la part de résidents des Territoires du Nord-Ouest, du Nunavut et du Yukon. On a sollicité davantage de réponses dans les provinces plus peuplées, telles que l'Alberta, la Colombie-Britannique, l'Ontario et le Québec, afin de combler la différence. Il faut rappeler que sur 350 répondants sollicités, seulement 345 ont dûment rempli le questionnaire.

Nombre d'employés : En se fondant sur les statistiques canadiennes relatives à l'industrie, on a classé les organismes et les entreprises (les « entités ») dans quatre catégories en fonction de leur nombre d'employés, soit de 1 à 4 employés, de 5 à 99, de 100 à 499 et de 500 et plus. Les auteurs ont intentionnellement modifié ces tranches, en dérogeant relativement à la représentativité, pour que l'analyse tienne compte des plus grandes entreprises. Cette modification se justifiait par le fait que chaque grande entité compte beaucoup plus d'ordinateurs qu'une petite (1 à 4 employés) et une moyenne (5 à 99 employés). Tout comme dans les statistiques de 2009, les petites entités représentaient la majeure partie de l'échantillon, suivies par les moyennes.

Classification des entités : Les auteurs n'ont pas sollicité de réponse de la part d'entités des secteurs public et privé (biens et services) ou d'entités particulières. Toutefois, les données recueillies indiquaient que les réponses faisaient preuve de représentativité sur le plan national, à part deux exceptions : la construction est sous-représentée, alors que les sciences, la technologie et les associations professionnelles sont surreprésentées. C'est assez logique du fait que certains domaines utilisent moins d'ordinateurs que d'autres, et les auteurs ont dû en tenir compte dans la modélisation.

Choix de l'échantillon : Le choix des répondants s'est effectué dans un groupe de 25 000 répondants potentiels géré par la société Opinionology située à Orem (Utah), aux États-Unis. On a trié les répondants en fonction de la pertinence démographique et de leurs antécédents en matière d'honnêteté dans le cadre des enquêtes auxquelles ils avaient déjà participé avant la présente enquête. Le groupe de répondants potentiels était en général représentatif des secteurs public et privé du Canada.

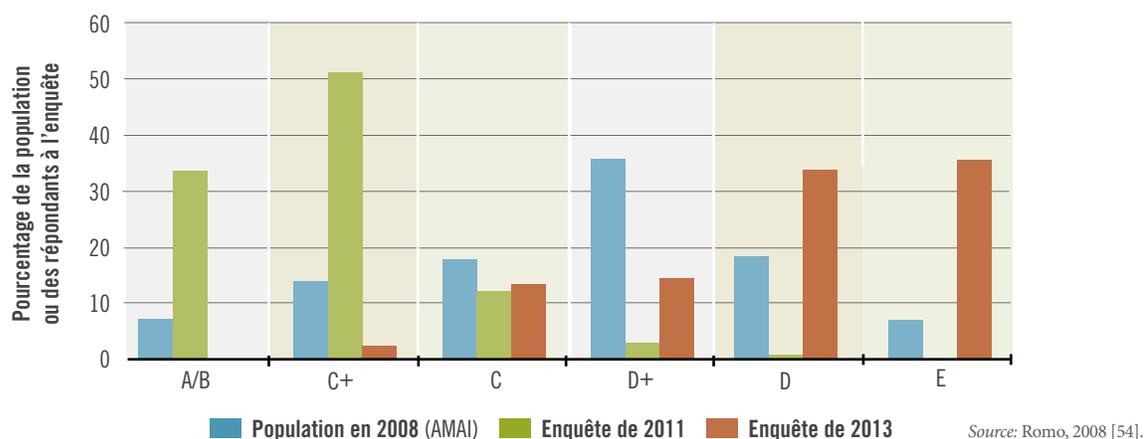
Documentation : Le seul document consistait en une enquête en ligne dans un site Web qui était offerte en anglais ou en français. Elle a été traduite de l'anglais vers le français et contre-traduite vers l'anglais afin de s'assurer que le contenu était identique dans chaque version. Avant de pouvoir commencer à répondre à l'enquête, les répondants ont dû donner leur consentement éclairé à un avis en cliquant sur un bouton.

L'enquête comprenait 18 questions dans six domaines : des questions à caractère démographique (taille, domaine d'activité, province ou lieu d'activité et fonction du répondant); le nombre d'ordinateurs par établissement (ordinateurs de table, ordinateurs portables, état à l'achat, état actuel, année du plus récent achat massif d'ordinateurs, leur durée de vie moyenne, leur état d'utilisation et leur durée d'entreposage); le nombre d'écrans par établissement (même chose que pour les ordinateurs); les ordinateurs mis au rebut au cours des 12 derniers mois (type, nombre, méthode et date); les écrans mis au rebut au cours des 12 derniers mois (même chose que pour les ordinateurs); autres produits électroniques mis au rebut.

Démarche : La société Opinionology a choisi les répondants avant leur participation à l'enquête en se fondant sur les critères démographiques des auteurs. Ceux qui étaient admissibles selon ces critères ont reçu une invitation par courriel de la part de cette société comportant le lien menant à la page Web de l'enquête. Après avoir choisi la langue dans laquelle ils voulaient répondre à l'enquête (en français ou en anglais), les répondants devaient lire un avis de consentement éclairé. Pour donner leur consentement, ils devaient cliquer sur *Suivant*, ce qui leur permettait de commencer à répondre aux questions. S'ils ne donnaient pas leur consentement, l'enquête prenait fin (le questionnaire étant considéré comme incomplet).

Après avoir répondu au questionnaire, les répondants ont été dirigés vers une page Web où s'affichaient leurs coordonnées afin de les communiquer au groupe de chercheurs. La société Opinionology a rémunéré les répondants sous forme d'un crédit électronique après qu'ils aient dûment répondu

Figure 54 : Comparaison des niveaux socioéconomiques au Mexique avec ceux des répondants aux deux enquêtes sur lesquelles se fonde la présente étude



au questionnaire dans son site Web. Il fallait en moyenne neuf minutes et demie pour y répondre et les données ont été recueillies entre le 21 janvier et le 21 février 2011.

Au Mexique

En 2013, on a dû mener à nouveau par téléphone l'enquête sur le secteur résidentiel au Mexique en raison d'une faible participation des utilisateurs qui possédaient un ordinateur non connecté à Internet. La section ci-après concernant l'enquête sur les secteurs public et privé a été rédigée par Ramzy Kahhat et Eric Williams.

Secteur résidentiel

L'enquête, qui a pris fin au printemps de 2013, a été menée par la société mexicaine Grupo IDM dans le cadre d'entrevues téléphoniques assistées par ordinateur (ETAO). Au Mexique, l'indicateur du niveau socioéconomique (NSE) sert à classer les tranches de population en fonction du revenu et d'autres mesures du pouvoir d'achat. La publication la plus récente de la répartition des NSE remontait à 2008 [54], mais elle n'avait pas vraiment varié entre 2008 et 2010. La précédente enquête menée en ligne au printemps de 2011 avait donné lieu à une plus forte participation de répondants dont le NSE était supérieur et qui avaient davantage accès à Internet. Les répondants à l'enquête menée en 2013 dans le cadre d'ETAO n'ayant pas été rémunérés, un plus grand nombre d'entre eux n'avait pas accepté de répondre aux questions. En raison peut-être de ce type d'entrevues par téléphone, l'enquête menée en 2013 a connu une sous-représentation des répondants dont le NSE était le plus élevé et à une surreprésentation de ceux dont le NSE était le plus bas. La figure 54 compare la répartition nationale des NSE à celui des répondants à l'enquête, et le tableau 11 illustre la taille de l'échantillon et les intervalles de confiance connexes par région géographique au Mexique.

Secteurs public et privé

Participants : Les participants (aussi désignés les « répondants ») comprenaient 496 adultes occupant un poste en technologie de l'information et/ou en gestion de biens dans les secteurs public et privé au Mexique, y compris au sein d'entités à but et sans but lucratif. Des 496 personnes qui ont commencé à répondre au questionnaire, 239 n'ont pas fini d'y répondre et 257 y ont dûment répondu. Cela signifie que les renseignements qui suivent sont tirés des réponses de cES-257 personnes à l'enquête. Ces répondants faisaient partie d'un groupe d'enquête en ligne comptant quelque 5 000 personnes admissibles à répondre à des enquêtes dans le site Web de la société Research Now située à Dallas (Texas), aux États-Unis. Tous les répondants ont été rétribués sous forme d'un crédit électronique après avoir répondu au questionnaire, et toutes leurs réponses ont été traitées conformément aux principes déontologiques de l'American Psychological Association et du comité d'éthique institutionnel de l'Arizona State University.

Tableau 11 : Taille de l'échantillon et niveau de confiance à l'égard des répondants par région géographique au Mexique

Région géographique	Taille de l'échantillon	Niveau de confiance de 95 %
District fédéral	300	± 5,65
Nord-est	200	± 7,07
Nord	200	± 7,07
Bajío	150	± 8,16
Centre	200	± 7,07
Sud-est	150	± 8,16
Total	1 200	± 2,88

Choix de l'échantillon : L'échantillon de répondants choisis était représentatif des secteurs public et privé du Mexique, et on a trié les répondants en fonction des paramètres suivants (avec des réserves là où elles s'imposaient), comparativement aux statistiques de 2009 établies dans le cadre du *Sistema de Información Empresarial Mexicano* (SIEM, Système d'information sur les entreprises du Mexique) : domicile (ville et État) et taille de l'entreprise ou de l'organisme. Les auteurs n'ont pas sollicité les données recueillies et divulguées sur ces deux secteurs. Les dérogations à la représentativité nationale sont exposées en détail ci-après.

Domicile : On a enregistré les données concernant le domicile de l'établissement des répondants et même des autres établissements appartenant à l'organisme ou à l'entreprise où ils travaillaient, mais celles indiquées ci-après ne concernent que l'établissement où travaillait chaque répondant. On a sollicité des réponses dans le district fédéral et les 32 États en se fondant sur les statistiques du SIEM⁹ en 2010, et ces réponses concordaient avec les chiffres du recensement. Il faut rappeler que sur 496 répondants sollicités, seulement 257 ont dûment rempli le questionnaire.

Nombre d'employés : L'*Instituto Nacional de Estadística y Geografía* (INEGI, Institut national de statistique et de géographie) classe les organismes et les entreprises (les « entités ») dans quatre catégories en fonction de leur nombre d'employés, soit de 1 à 10 employés, de 11 à 50, de 51 à 250 et plus de 250. Ces catégories diffèrent quelque peu de celles du Canada parce que moins de sociétés multinationales ont leur siège social au Mexique. Les auteurs ont intentionnellement modifié ces tranches, en dérogeant relativement à la représentativité, pour que l'analyse tienne compte des plus grandes entreprises. Cette modification se justifiait par le fait que chaque grande entité compte beaucoup plus d'ordinateurs qu'une petite (1 à 10 employés) et qu'une moyenne (11 à 50 employés). Tout comme dans les statistiques de 2010, les petites entités représentaient la majeure partie de l'échantillon, suivies par les moyennes.

Classification des entités : Les auteurs n'ont pas sollicité de réponse de la part d'entités des secteurs public et privé (biens et services) ou d'entités particulières. La liste des entreprises est celle de l'INEGI.

Choix de l'échantillon : Le choix des répondants s'est effectué dans un groupe de 5 000 répondants potentiels géré par la société Research Now située à Dallas (Texas), aux États-Unis. On a trié les répondants en fonction de la pertinence

démographique et de leurs antécédents en matière d'honnêteté dans le cadre des enquêtes auxquelles ils avaient déjà participé avant la présente enquête. Le groupe de répondants potentiels était en général représentatif des secteurs public et privé du Mexique.

Documentation : Le seul document consistait en une enquête en ligne dans un site Web qui était offerte en espagnol. Elle a été traduite de l'anglais vers l'espagnol et contre-traduite vers l'anglais afin de s'assurer que le contenu était identique dans chaque version. Avant de pouvoir commencer à répondre à l'enquête, les répondants ont dû donner leur consentement éclairé à un avis en cliquant sur un bouton.

L'enquête comprenait 18 questions dans six domaines : des questions à caractère démographique (taille, domaine d'activité, province ou lieu d'activité et fonction du répondant); le nombre d'ordinateurs par établissement (ordinateurs de table, ordinateurs portables, état à l'achat, état actuel, année du plus récent achat massif d'ordinateurs, leur durée de vie moyenne, leur état d'utilisation et leur durée d'entreposage); le nombre d'écrans par établissement (même chose que pour les ordinateurs); les ordinateurs mis au rebut au cours des 12 derniers mois (type, nombre, méthode et date); les écrans mis au rebut au cours des 12 derniers mois (même chose que pour les ordinateurs); les autres produits électroniques mis au rebut.

Démarche : La société Research Now a choisi les répondants avant leur participation à l'enquête en se fondant sur les critères démographiques des auteurs. Ceux qui étaient admissibles selon ces critères ont reçu une invitation par courriel de la part de cette société comportant le lien menant à la page Web de l'enquête. Après avoir lu l'avis de consentement éclairé rédigé en espagnol, les répondants devaient cliquer sur *Suivant*, ce qui leur permettait de commencer à répondre aux questions. S'ils ne donnaient pas leur consentement, l'enquête prenait fin (le questionnaire étant considéré comme incomplet).

Après avoir répondu au questionnaire, les répondants ont été dirigés vers une page Web où s'affichaient leurs coordonnées afin de les communiquer au groupe de chercheurs. La société Research Now a rémunéré les répondants sous forme d'un crédit électronique après qu'ils aient dûment répondu au questionnaire dans son site Web. Il fallait en moyenne neuf minutes et demie pour y répondre et les données ont été recueillies entre le 1^{er} et le 11 février 2011.

9. Sistema de Información Empresarial Mexicano, 2011. Statistiques. <www.siem.gob.mx/> (consulté en janvier 2011, en espagnol seulement).

Aux États-Unis

Les données utilisées à de nombreuses reprises en appliquant les deux méthodes provenaient d'enquêtes dans le secteur résidentiel et les secteurs public et privé des États-Unis menées en 2011 par Kahhat et Williams [13]. L'extrait suivant expose la méthodologie de ces enquêtes.

« Dans cette étude, on a réalisé deux enquêtes en ligne afin de recueillir des données primaires sur l'adoption et la gestion en fin de vie d'ordinateurs personnels dans le secteur résidentiel et les secteurs public et privé des États-Unis. L'étude relative au secteur résidentiel comptait 1 000 questionnaires dûment remplis provenant d'un groupe élargi de 350 000 répondants potentiels géré par la société de conseil Research Now. L'échantillon choisi était représentatif du recensement de la population adulte en 2010 en fonction des paramètres suivants : le sexe, l'État de résidence, l'âge, le revenu familial et le niveau d'instruction. L'enquête comprenait 15 questions dans trois domaines : la démographie, la propriété de l'ordinateur et l'utilisation à la maison, ainsi que la mise au rebut. Par ailleurs, on a obtenu 400 questionnaires dûment remplis de la part des représentants des secteurs public et privé. L'échantillon

était représentatif de ces secteurs en fonction de l'emplacement géographique et du nombre d'employés. Bien qu'il ait été préférable que l'échantillon corresponde à la répartition nationale des entités et des employés par secteur d'activité (p. ex., le Système de classification des industries de l'Amérique du Nord [SCIAN]), le coût que représentait la sollicitation d'un tel échantillon dépassait les moyens financiers disponibles. Les répondants comptaient quelque 25 000 personnes admissibles à faire partie d'un groupe de spécialistes en technologie de l'information rassemblés par la société de conseil Opinionology. Il s'agissait de décideurs dans ce domaine et de gestionnaires de biens, et le questionnaire comptait 15 questions. Les deux enquêtes ont débuté en avril 2011 et les questions concernaient l'année 2010. La société de conseil et l'équipe de chercheurs ont examiné tous les questionnaires dûment remplis avant de les prendre en compte dans l'analyse. Les enquêtes dans le secteur résidentiel et les secteurs public et privé comportaient respectivement une marge d'erreur de 3 et de 5 %, en tenant compte d'un niveau de confiance de 95 %. Ce niveau et la marge d'erreur reposaient sur la taille et la répartition de l'échantillon. Le questionnaire et les résultats de l'enquête figurent dans les renseignements complémentaires » [13]. [Traduction]

Enquête sur le secteur résidentiel aux États-Unis

Profil d'utilisateur

1) Quel est votre sexe? () Homme () Femme

Objectif : Connaître le profil du participant (important pour la caractérisation de l'échantillon).

2) Quel âge avez-vous? _____

Objectif : Connaître le profil du participant (important pour la caractérisation de l'échantillon).

3) Où résidez-vous? _____

Options : Tous les États américains.

Objectif : Connaître le domicile du participant (important pour la caractérisation de l'échantillon).

4) Dans quelle sorte de collectivité vivez-vous? () Urban () Suburban () Rural

Objectif : Connaître le domicile du participant.

5) En vous incluant, combien de personnes vivent au sein de votre foyer?

Adultes (de 18 ans et plus) _____ Enfants (de moins de 18 ans) _____

Objectif : Connaître le nombre d'ordinateurs et d'écrans par personne afin de le diviser par le nombre total de personnes qui habitent dans le foyer.

6) Veuillez indiquer dans quel domaine vous travaillez.

- () Agriculture, foresterie, pêche et chasse () Exploitation minière, exploitation de carrière, et extraction pétrolière et gazière
- () Services publics () Construction () Fabrication () Commerce de gros () Commerce de détail () Transport et entreposage
- () Information (p. ex., publication, audiovisuel, télédiffusion et télécommunications) () Finance et assurance
- () Immobilier, location et location-bail () Services professionnels, scientifiques et techniques () Gestion de sociétés et d'entreprises
- () Services et soutien administratifs, gestion des déchets et services d'assainissement () Services d'éducation
- () Soins de santé et aide sociale () Arts, spectacles et loisirs () Services d'hébergement et de restauration
- () Autres services, sauf l'administration publique () Administration publique () Étudiant () Personne au foyer () Sans emploi

Objectif : Connaître l'occupation du participant.

7) Quel est le plus haut niveau d'études que vous avez atteint où auquel vous êtes inscrit?

- () Études secondaires partielles () Diplôme d'études secondaires ou l'équivalent () Études collégiales partielles
 () Diplôme d'associé () Baccalauréat () Études supérieures partielles () Diplôme d'études supérieures

Objectif : Connaître le profil du participant.

8) Quel est votre revenu familial annuel en dollars (avant impôts)? _____

Objectif : Connaître le profil familial.

9) Êtes-vous le principal soutien de famille? () Oui () Non

Objectif : Connaître le profil du participant.

10) Avez-vous un ordinateur (que vous utilisez ou non) dans votre foyer? () Oui () Non

Objectif : La réponse à cette question détermine si le participant doit continuer à répondre aux questions. S'il répond *non*, il a fini d'y répondre.

Ordinateurs dans le foyer

11) Combien d'ordinateurs (de bureau ou portables sans comprendre les écrans) avez vous dans votre foyer (que vous utilisez ou non)? _____

Objectif : Connaître le nombre total d'ordinateurs afin de le diviser par le nombre total de personnes qui habitent le foyer, et savoir ainsi leur nombre par personne.

12) Veuillez donner les renseignements suivants au sujet des ordinateurs que vous utilisez ou non dans votre foyer.

Type (ordinateur de bureau ou ordinateur portable)	État de l'ordinateur à l'achat ou à la prise de possession (neuf ou usagé)	Année d'achat ou de prise de possession de l'ordinateur (année)	État actuel d'utilisation de l'ordinateur (utilisé ou non utilisé)	État de fonctionnement de l'ordinateur (fonctionne ou ne fonctionne pas)	Nombre d'années d'utilisation de l'ordinateur par vous ou un autre occupant du foyer	Nombre d'années pendant lesquelles l'ordinateur a été entreposé dans le foyer
1						
2						
3						

Objectif : Connaître la durée d'entreposage des ordinateurs et leur durée de vie, les habitudes d'achat, et le nombre d'ordinateurs usagés et neufs dans les foyers américains.

Écrans dans le foyer

13) Combien d'écrans externes (sans comprendre les écrans d'ordinateurs portables) avez-vous dans votre foyer (que vous utilisez ou non)? _____

Objectif : Connaître le nombre total d'écrans externes afin de le diviser par le nombre total de personnes qui habitent le foyer, et savoir ainsi leur nombre par personne.

14) Veuillez donner les renseignements suivants au sujet des écrans externes que vous utilisez ou non dans votre foyer.

Type d'écran externe (plat ou à cristaux liquides), ou écran classique ou cathodique	État de l'écran lors de la prise de possession ou de l'achat (neuf ou usagé)	Année d'achat ou de prise de possession de l'écran (année)	État actuel d'utilisation de l'écran (utilisé ou non utilisé)	État de fonctionnement de l'écran (fonctionne ou ne fonctionne pas)	Nombre d'années d'utilisation de l'écran par vous ou un autre occupant du foyer	Nombre d'années pendant lesquelles l'écran a été entreposé dans le foyer
1						
2						
3						

14a) Si vous avez plus de 5 écrans à la maison, prière de répondre à toutes les questions ci-après concernant vos écrans.

Objectif : Connaître la durée d'entreposage des écrans, de leur durée de vie, les habitudes d'achat, et le nombre d'écrans usagés et neufs dans les foyers américains.

Méthodes de mise au rebut des ordinateurs

15) **Avez-vous déjà mis un ordinateur au rebut?** () Oui **Combien?** Ordinateur de bureau __ Ordinateur portable __ () Non
Objectif : Connaître le nombre d'ordinateurs mis au rebut. Un *oui* fait passer le répondant à la question suivante, et un *non* lui fait sauter les deux questions qui suivent.

16) **Estimez la durée de vie moyenne de l'ordinateur ou des ordinateurs que vous avez déjà mis au rebut.** (À titre informatif, la durée de vie s'étend de l'achat jusqu'au moment où l'on sort un produit du foyer pour l'éliminer.)

Ordinateur de bureau _____ Ordinateur portable _____

Objectif : Connaître la durée de vie des ordinateurs.

17) **Indiquez de quelle manière chaque ordinateur a été mis au rebut.**

Menu déroulant des options (une par ordinateur) :

Option	Type (ordinateur de bureau ou ordinateur portable)	Année de mise au rebut
Éliminé par collecte en bordure de rue		
Recyclé dans le cadre d'un programme de collecte en bordure de rue		
Apporté dans un centre de recyclage		
Rapporté au détaillant		
Apporté à la municipalité dans le cadre d'une collecte spéciale		
Réexpédié au fabricant		
Entreposé ailleurs		
Donné à un ami ou à un membre de la famille habitant le foyer		
Donné à un ami ou à un membre de la famille habitant ailleurs que dans le foyer		
Donné à un organisme de bienfaisance		
Donné à une autre personne ou entité		
Rapporté au vendeur à la fin d'une location-bail		
Vendu en ligne (p. ex., Mercado Libre)		
Vendu localement		
Vendu à une connaissance, à un ami ou à un membre de la famille		
Autre		
Sans objet; n'a pas été mis au rebut.		

Objectif : Connaître de quelle manière les ordinateurs sont mis au rebut en fin de vie dans les foyers américains.

18) **Avez-vous déjà mis un écran au rebut?** () Oui **Combien?** ____ Écran classique ou cathodique _____
Écran plat ou à cristaux liquides _____ () Non

Objectif : Connaître le nombre d'ordinateurs mis au rebut. Un *oui* fait passer le répondant à la question suivante, et un *non* la lui fait sauter.

19) **Estimez la durée de vie moyenne de l'écran ou des écrans que vous avez déjà mis au rebut.** (À titre informatif, la durée de vie s'étend de l'achat jusqu'au moment où l'on sort un produit du foyer pour l'éliminer.)

Écran classique ou cathodique _____ Écran plat ou à cristaux liquides _____

Objectif : Connaître la durée de vie des écrans.

20) Indiquez de quelle manière chaque écran externe a été mis au rebut.

Option	Type (écran classique ou cathodique, ou écran plat ou à cristaux liquides)	Année de mise au rebut
Éliminé par collecte en bordure de rue		
Recyclé dans le cadre d'un programme de collecte en bordure de rue		
Apporté dans un centre de recyclage		
Rapporté au détaillant		
Apporté à la municipalité dans le cadre d'une collecte spéciale		
Réexpédié au fabricant		
Entreposé ailleurs		
Donné à un ami ou à un membre de la famille habitant le foyer		
Donné à un ami ou à un membre de la famille habitant ailleurs que dans le foyer		
Donné à un organisme de bienfaisance		
Donné à une autre personne ou entité		
Rapporté au vendeur à la fin d'une location-bail		
Vendu en ligne (p. ex., Mercado Libre)		
Vendu localement		
Vendu à une connaissance, à un ami ou à un membre de la famille		
Autre		
Sans objet; n'a pas été mis au rebut.		

Objectif : Connaître de quelle manière les écrans sont mis au rebut en fin de vie dans les foyers américains.

21) Dans la liste de produits électroniques ci-dessous, combien en avez vous mis au rebut en 2010 et de quelle manière? Prière de donner la meilleure estimation possible.

Mode de mise au rebut :

Option 1 : réutilisé (p. ex., don, vente).
Option 2 : recyclé (p. ex., collecte en bordure de rue pour recyclage).
Option 3 : entreposé (p. ex., placard, sous-sol).
Option 4 : dirigé vers un lieu d'enfouissement (p. ex., jeté aux ordures).
Option 4 : autre.
Option 5 : sans objet.

Nombre de produits mis au rebut

Périphériques d'ordinateur (p. ex., imprimantes, scanners)
Télécopieurs
Télévisions à écran cathodique
Télévisions à écran non cathodique
Téléphones fixes et mobiles
Petits appareils de cuisine (p. ex., grille-pain, mélangeur)
Gros appareils de cuisine (p. ex., réfrigérateur, lave-vaisselle, micro-ondes)
Petits appareils de maison (p. ex., radio-réveil, répondeurs)
Gros appareils de maison (p. ex., laveuse, sècheuse, aspirateur)
Petits appareils audiovisuels (p. ex., lecteur de MP3, magnétoscope à cassettes, lecteur de DVD, appareil-photo, petite chaîne stéréophonique)
Gros appareils audiovisuels (p. ex., grosse chaîne de cinéma maison, gros haut-parleurs)

Merci d'avoir participé à cette enquête. Nous attachons beaucoup d'importance à vos réponses.

N'hésitez pas à nous contacter si vous avez des questions, des préoccupations ou des observations à formuler.

Enquête sur les secteurs public et privé américains

Renseignements généraux

- 1) **Quelle est la taille de l'entité pour laquelle vous travaillez?** 1 à 4 employés 5 à 9 employés 10 à 19 employés 20 à 49 employés 50 à 99 employés 100 à 299 employés 300 à 499 employés 500 employés et plus

Objectif : Connaître le profil et la taille de l'entité.

- 2) **Quel est le domaine d'activité de l'entité pour laquelle vous travaillez?** Agriculture, foresterie, pêche et chasse Exploitation minière, exploitation de carrière, et extraction pétrolière et gazière Services publics Construction Fabrication Commerce de gros Commerce de détail Transport et entreposage Information (p. ex., publication, audiovisuel, télédiffusion, télécommunications, etc.) Finance et assurance Immobilier, location et location-bail Services professionnels, scientifiques et techniques Gestion de sociétés et d'entreprises Services et soutien administratifs, gestion de déchets et services d'assainissement Services d'éducation Soins de santé et aide sociale Arts, spectacles et loisirs Services d'hébergement et de restauration Autres services, sauf l'administration publique Administration publique

Objectif : Connaître le profil de l'entité (important pour la caractérisation de l'échantillon) fondé sur le Système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN).

- 3) **Dans quel État se trouve votre établissement ou votre entité?**

Établissement dans lequel vous travaillez <i>(choisir une seule option)</i>	Tous les établissements de l'entité <i>(choisir toutes les options pertinentes)</i>
Options : tous les États	

Objectif : Connaître l'emplacement de l'établissement ou de tous les établissements de l'entité.

- 4) **Quelles sont les fonctions que vous exercez au sein de votre entité?** (Choisir toutes les options pertinentes.) Décideur en technologie de l'information Achats Service et entretien Remplacement et mise au rebut de biens Autre

Objectif : Connaître les fonctions de l'employé.

- 5) **Prière de répondre aux questions qui suivent sur les produits informatiques qu'utilise votre établissement uniquement à des fins commerciales** (ce qui ne comprend pas notamment le stock général de fournitures) **et qui se trouvent ou se trouvaient dans cet établissement.** J'ai lu les instructions ci dessus.

Objectif : Formuler des instructions au participant.

Renseignements sur les produits informatiques et leur achat

- 6) **Combien de produits informatiques de chacun des types suivants sont présentement utilisés dans votre établissement à des fins commerciales? L'expression « présentement utilisés » signifie les produits en état de fonctionnement et servant à des fins commerciales, et non les produits entreposés.**

Produits se trouvant dans l'établissement où vous travaillez	Nombre
Ordinateurs de bureau	
Ordinateurs portables	
Écrans cathodiques ou classiques (comprennent les écrans associés aux ordinateurs de bureau et tous les écrans supplémentaires)	
Écrans à cristaux liquides (comprennent notamment les écrans plats)	

Objectif : Quantifier les produits électroniques afin de connaître leur nombre par employé.

- 7) **Combien de produits informatiques de chacun des types suivants qui sont présentement utilisés dans votre établissement à des fins commerciales y sont entreposés (ne sont pas utilisés)?**

Produits se trouvant dans l'établissement où vous travaillez	Nombre
Ordinateurs de bureau	
Ordinateurs portables	
Écrans cathodiques ou classiques (comprennent les écrans associés aux ordinateurs de bureau et tous les écrans supplémentaires)	
Écrans à cristaux liquides (comprennent notamment les écrans plats)	

Objectif : Quantifier les produits électroniques afin de connaître leur nombre par employé.

Note : Si la quantité totale de produits similaires figurant dans les questions 6 et 7 est égale à zéro, cela doit se refléter dans les questions 9 à 12.

- 8) **En donnant la meilleure estimation possible, combien d'employés compte actuellement l'établissement où vous travaillez? Nombre d'employés ____ Établissement dans lequel vous travaillez _____**

Objectif : Quantifier les employés afin de connaître le nombre de produits dont se sert chacun d'eux.

- 9) **À l'égard des produits susmentionnés, indiquez quel a été le mode d'achat ou de prise de possession privilégié ainsi que l'année de l'achat ou de la prise de possession en masse le plus récent dans l'établissement où vous travaillez.**
(Le nombre figurant sur les lignes doit correspondre à celui des produits équivalents figurant dans les questions 6 et 7.)

	Achetés (nombre)	En location-bail (nombre)	Gratuits, p. ex., un don (nombre)	Année de l'achat ou de la prise de possession en masse le plus récent
Ordinateurs de bureau				
Ordinateurs portables				
Écrans cathodiques ou classiques				
Écrans à cristaux liquides				

Objectif : Connaître les préférences d'achat dans les secteurs public et privé

- 10) **À l'égard des produits électroniques actuellement utilisés à des fins commerciales ou entreposés sur place dans l'établissement où vous travaillez, quel était l'état (neuf ou usagé) de ceux figurant ci-dessous au moment de leur achat, location-bail ou don?** (Le nombre figurant sur les lignes doit correspondre à celui des produits équivalents dans les questions 6 et 7.)

	Achat, location-bail ou don à l'état neuf (nombre)	Achat, location-bail ou don à l'état usagé (nombre)
Ordinateurs de bureau		
Ordinateurs portables		
Écrans cathodiques ou classiques		
Écrans à cristaux liquides		

Objectif : Connaître l'état des produits lors de leur achat, location-bail ou don.

Renseignements sur la durée de vie et l'entreposage

- 11) **Au cours des cinq dernières années, quelle a été la durée de vie type des produits électroniques dans l'établissement où vous travaillez. À titre informatif, la durée de vie s'étend de l'achat jusqu'au moment où l'on sort un produit de l'établissement pour l'éliminer.**

	Durée de vie type (en nombre d'années)
Ordinateurs de bureau	
Ordinateurs portables	
Écrans cathodiques ou classiques	
Écrans à cristaux liquides	

Objectif : Connaître la durée de vie type des produits électroniques.

12) Au cours des cinq dernières années, quelle a été la durée de vie type, en nombre de mois, des produits électroniques dans l'établissement où vous travaillez. À titre informatif, la durée de vie s'étend du moment où un produit est estimé obsolète, et n'est donc plus utilisé dans l'établissement, jusqu'au moment où on l'en sort pour gérer sa fin de vie.

Durée d'entreposage dans votre établissement (en mois)

Ordinateurs de bureau	
Ordinateurs portables	
Écrans cathodiques ou classiques	
Écrans à cristaux liquides	

Objectif : Connaître la durée d'entreposage.

Renseignements sur la mise au rebut

13) En donnant la meilleure estimation possible, combien de produits électroniques ont été mis au rebut en 2010 dans l'établissement où vous travaillez?

Produit	Nombre
Ordinateurs de bureau	
Ordinateurs portables	
Écrans cathodiques ou classiques	
Écrans à cristaux liquides	

Objectif : Quantifier le nombre de produits électroniques mis au rebut en 2010.

14) À l'égard des produits électroniques qui ont été mis au rebut en 2010 dans l'établissement où vous travaillez, de quelles options ont-ils fait l'objet dans ce domaine? (Le total des colonnes doit correspondre au nombre de chaque produit indiqué à la question 13.)

	Ordinateurs portables (nombre)	Ordinateurs de bureau (nombre)	Écrans cathodiques (nombre)	Écrans à cristaux liquides (nombre)
Rapportés à la société de location-bail				
Remis à neuf par contrat avec une société privée				
Recyclés par contrat avec une société privée				
Éliminés par contrat avec une société privée				
Réexpédiés au fabricant				
Entreposés ailleurs				
Vendus				
Donnés				
Éliminés par collecte d'ordures en bordure de rue				
Recyclés dans le cadre d'un programme de collecte en bordure de rue				
Rapportés au détaillant				
Apportés à la municipalité dans le cadre d'une collecte spéciale				
Apportés dans un centre de recyclage				
Apportés dans un centre de remise à neuf				
Autres				

Objectif : Connaître les options de gestion en fin de vie

15) En ce qui concerne les produits électroniques mis au rebut en 2010 dans l'établissement où vous travaillez, combien d'entre eux ont ils fait l'objet de l'une des options de mise au rebut indiquées ci-dessous?

	Réutilisé, p. ex., don, vente (nombre)	Recyclé, p. ex., collecte en bordure de rue pour recyclage (nombre)	Entreposé, p. ex., placard, sous-sol (nombre)	Enfoui, p. ex., jeté aux ordures (nombre)	Autre (nombre)
Périphériques d'ordinateur (p. ex., imprimantes, scanners)					
Télécopieurs					
Télévisions à écran cathodique					
Télévisions à écran non cathodique					
Téléphones fixes et mobiles					
Petits appareils de cuisine (p. ex., grille-pain, mélangeur)					
Gros appareils de cuisine (p. ex., réfrigérateur, lave-vaisselle, micro ondes)					
Petits appareils d'entreprise (p. ex., radio-réveil, répondeurs, ventilateurs)					
Gros appareils d'entreprise (p. ex., photocopieur, aspirateur)					
Appareils audiovisuels (p. ex., lecteur de MP3, magnétoscope à cassettes, lecteur de DVD, appareil- photo, petite chaîne stéréophonique, projecteur)					
Gros appareils audiovisuels (p. ex., grosse chaîne de cinéma maison, gros haut- parleurs)					

Objectif : Connaître la proportion de produits électroniques en fin de vie dans les données sur l'ensemble des déchets électroniques.

Annexe 3 – Génération et collecte de données d'enquête

Méthode hybride de collecte de données sur l'obsolescence des produits commerciaux

Génération des ordinateurs portables aux États-Unis à titre d'étude de cas

Détermination de la répartition type de la durée de vie des produits au cours d'une période donnée

Dans un premier temps, on a dû consolider les données provenant de la société qui a mené l'enquête, car elles étaient groupées par répondant plutôt que par type de produit électronique. Il y avait deux ensembles de questions connexes qui demandaient un traitement distinct, à savoir des questions relatives aux produits « mis au rebut », et d'autres relatives aux produits encore dans le foyer considérés comme étant « retirés ». Dans le tableau 12, on a estimé que certains des produits mis au rebut étaient « en panne » et que d'autres étaient « retirés ».

Dans un deuxième temps, on a déterminé l'âge des produits usagés, soit en fonction du moment où ils sont tombés en panne soit au moment où leur propriétaire les a retirés (mis hors service) s'il les possédait encore lors de l'enquête. Dans la mesure du possible, tri des réponses en tenant compte de la précision du répondant concernant l'année d'achat, et ce, afin d'établir une comparaison avec le temps d'utilisation et d'entreposage estimé (on a considéré qu'un seuil d'un an était acceptable).

L'équation 13 illustre la manière d'obtenir une réponse précise, mais pas pour les produits mis au rebut, car l'enquête ne demandait que la durée de vie dans le foyer et non l'année d'achat. La mesure de contrôle de la qualité des produits mis au rebut consistait à s'assurer que lorsque les répondants indiquaient la durée de vie de ces produits et, séparément, le mode de mise au rebut, le type de produit était le même dans les deux questions (p. ex., « ordinateur portable » et « ordinateur portable », et non « ordinateur portable » et « ordinateur de bureau »). On a exclu les réponses qui ne concordaient pas.

Tableau 12 : Déclaration de panne, de génération et de collecte par type de mise au rebut

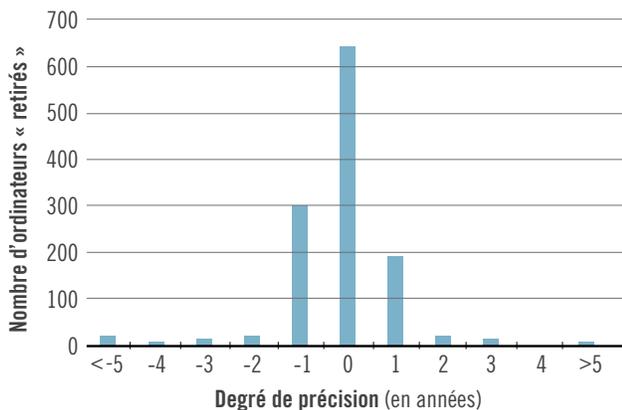
Type de mise au rebut	Panne?	Catégorie	Généré (oui ou non)
Entreposé ailleurs	Retiré	Non compris	Non
Donné à un ami ou à un membre de la famille (secteur résidentiel)	En panne	Réutilisé informellement	Non
Sans objet; n'a pas été mis au rebut	Retiré	Non compris	Non
Éliminé par collecte en bordure de rue	En panne	Enfoui	Oui
Recyclé dans le cadre d'un programme de collecte en bordure de rue	En panne	Collecté	Oui
Apporté dans un centre de recyclage	En panne	Collecté	Oui
Rapporté au détaillant	En panne	Collecté	Oui
Apporté à la municipalité dans le cadre d'une collecte spéciale	En panne	Collecté	Oui
Réexpédié au fabricant	En panne	Collecté	Oui
Donné à un ami ou à un membre de la famille (habitant ailleurs)	En panne	Réutilisé informellement	Non
Donné à un organisme de bienfaisance	En panne	Réutilisé informellement	Non
Autre forme de don	En panne	Réutilisé informellement	Non
Rapporté au vendeur à la fin d'une location-bail	En panne	Collecté	Oui
Vendu en ligne (p. ex., eBay)	En panne	Réutilisé informellement	Non
Vendu localement	En panne	Réutilisé informellement	Non
Vendu à une connaissance, à un ami ou à un membre de la famille	En panne	Réutilisé informellement	Non
Autre	Retiré	Non compris	Non

Équation 13 : Détermination de la précision des réponses au sujet des produits « retirés ».

$$\text{Précision} = \text{Année d'enquête} - \text{Année d'achat} - \text{Durée d'utilisation} - \text{Durée d'entreposage}$$

La figure 55 montre que la vaste majorité des répondants américains ont indiqué avec beaucoup de précision la durée d'utilisation et la durée d'entreposage. On a considéré qu'un seuil d'un an était acceptable pour tous les produits.

Figure 55 : Degré de précision des répondants américains dans l'estimation de l'âge et de la durée d'utilisation des ordinateurs portables dans leur foyer



On a dû, ensuite, déterminer l'année d'achat de chaque produit. Les répondants ont eux-mêmes indiqué l'année d'achat des produits « retirés » qui étaient encore dans leur foyer. On s'est servi de l'équation 14 pour les produits « mis au rebut ».

Équation 14 : Détermination de l'année d'achat des produits « mis au rebut ».

$$\text{Année d'achat} = \text{Année de mise au rebut} - \text{Durée de vie}$$

On a utilisé la version 12.1 du logiciel Stata® pour obtenir des courbes de survie Kaplan-Meier (K-M) et, par la suite, des régressions de Weibull à l'égard de tous les produits. Il faut utiliser l'une de ces courbes et une régression de Weibull connexe pour chaque année d'achat.

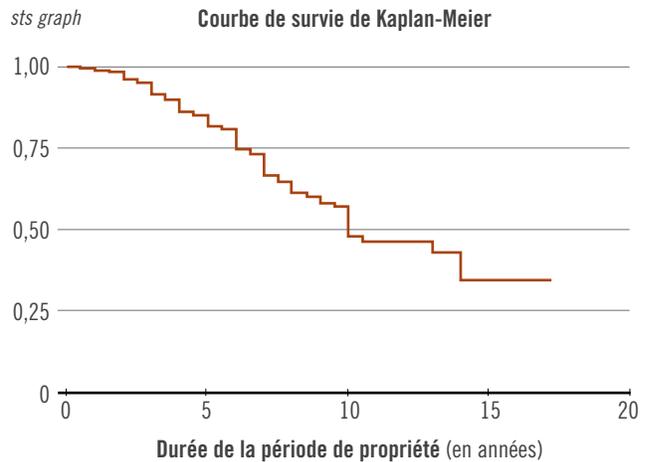
On a entré les codes suivants (en anglais seulement) dans la version 12.1 du logiciel Stata® en faisant état de résultats et de commentaires pertinents.

- *stset age, failure(failure)*
Collecte de données aux fins d'analyse de la survie :
- *stdescribe*
Description des données afin de veiller à ce qu'on les ait traitées de façon pertinente :

- *sts list* et *sts graph*
Analyse de la survie en fonction des courbes K-M :

Ces données, qui sont celles de la courbe de K-M pour modéliser la survie et l'intervalle de confiance de 95 %, figurent dans le fichier Excel® de Microsoft de l'étape suivante.

Figure 56 : Courbe de survie de Kaplan-Meier relative aux ordinateurs portables dans le secteur résidentiel américain



Régression de Weibull :

- *streg year, dist(weibull)*
On obtient des renseignements sur l'ensemble de données concernant les ordinateurs portables à l'aide de la régression de Weibull (figure 57). Il faut noter que *p* représente le facteur d'échelle utilisé pour modéliser les répartitions de Weibull.

Figure 57 : Analyse de la régression de Weibull avec le logiciel Stata® relativement aux ordinateurs portables dans le secteur résidentiel américain

```

Weibull regression -- log relative-hazard form

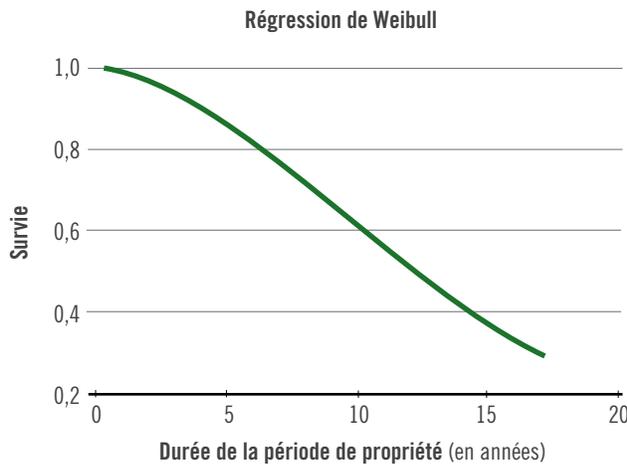
No. of subjects =      1407      Number of obs   =      1407
No. of failures =       202
Time at risk    =    5169.75
Log likelihood  =   -533.62163
LR chi2(1)     =      10.84
Prob > chi2    =      0.0010
    
```

_t	Haz. Ratio	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]
year_purchased	.9375928	.0174106	-3.47	0.001	.9040821 .9723456
_cons	1.39e+54	5.18e+55	3.34	0.001	2.56e+22 7.55e+85
/ln_p	.5375423	.059788	8.99	0.000	.4203599 .6547246
p	1.711795	.1023448			1.522509 1.924612
1/p	.5841823	.0349271			.5195851 .6568104

- *stcurve, surviv*

On obtient un graphique illustrant la courbe de survie fondée sur la régression de Weibull (figure 58), de même que la courbe de survie de K-M (figure 56) avec les paramètres pris en compte (figure 57).

Figure 58 : Graphique du modèle de régression de Weibull relativement aux ordinateurs portables dans le secteur résidentiel américain



L'étape suivante a consisté à adapter les paramètres supplémentaires de la régression de Weibull aux courbes de K-M.

Il faut disposer de paramètres d'échelle et de forme pour établir une répartition de Weibull. Étant donné qu'il serait peut-être possible, mais difficile, d'extraire des paramètres de forme des données d'une régression de Weibull, les données obtenues avec *sts list* sont copiées dans Excel® et dans le logiciel complémentaire Solver afin d'obtenir des paramètres de forme qui minimisent la possibilité d'une erreur quadratique entre un modèle Weibull de répartition cumulative inverse et des courbes de survie de K-M (figure 59).

Les résultats de la régression Weibull ont été convertis en une fonction de densité de probabilité, laquelle servira de moyen de répartition de la durée d'une période de propriété.

On a modélisé la répartition de la durée de vie durant une période de propriété à l'aide des paramètres obtenus avec la régression de Weibull (paramètres d'échelle) et de la correction d'erreurs par moindres carrés (paramètres de forme) en se servant de la fonction d'Excel permettant d'obtenir une répartition de Weibull. Comme le montre la figure 60, il faut noter que la durée type est considérablement plus longue que celle modélisée grâce à la méthode de la documentation publiée. Cela découle vraisemblablement d'une sous-estimation de la période d'entreposage dans cette documentation.

Figure 59 : Comparaison des courbes de K-M avec les courbes de régression de Weibull situant les moyennes et les limites inférieures et supérieures de l'intervalle de confiance de 95 % en ce qui concerne les ordinateurs portables dans le secteur résidentiel américain

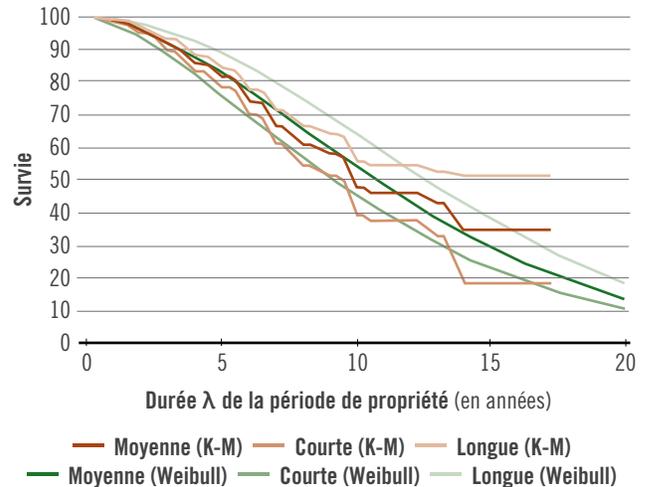
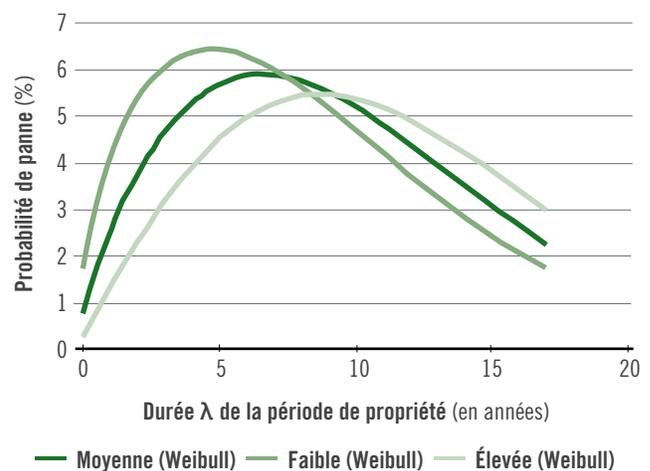
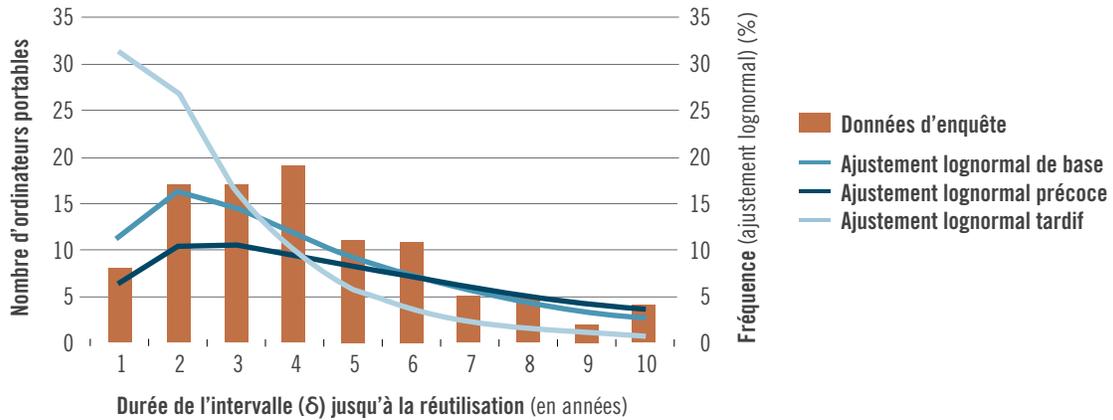


Figure 60 : Répartition de la durée de la période de propriété λ des ordinateurs portables dans le secteur résidentiel américain



La figure 61 est un histogramme illustrant la répartition de la durée de l'intervalle (δ) jusqu'au moment où un produit électronique est réutilisé. On a permis à la moyenne de varier de ± 2 ans et à l'écart type de varier de ± 10 % dans la simulation de Monte Carlo. Les données d'enquête ont trait aux 100 ordinateurs portables mis au rebut en vue d'une réutilisation informelle. On a entré cette information dans le modèle de prédiction de la génération.

Figure 61 : Histogramme et répartitions lognormales ajustées de la durée de la période (δ) pendant laquelle le propriétaire d'un ordinateur portable le conserve jusqu'à sa réutilisation informelle dans le secteur résidentiel américain



Au cours de la simulation de Monte Carlo, on a pu faire varier les paramètres de régression d'un intervalle de confiance de 95 % afin que toute la répartition se déplace d'un an vers la gauche ou vers la droite pour mesurer la marge d'erreur acceptable dans le degré de précision des réponses. La figure 62 illustre les 10 000 répartitions modélisées au cours de la simulation de Monte Carlo.

Calcul prévisionnel du nombre de produits générés au cours d'une année donnée à l'aide d'informations sur les ventes et la durée de vie

La série d'équations ci-après a servi à modéliser la quantité de produits électroniques qui n'ont été utilisés qu'une seule fois avant leur « génération » (O), à savoir leur mise au re-

but, ceux réutilisés de façon informelle avant leur génération (I), et ceux réutilisés formellement après un premier cycle de génération et de collecte (C).

Afin de déterminer en quelle année (γ) chaque groupe (O , I et C) sera vraisemblablement généré, on a supposé que les ventes de produits réutilisés (I et C) au cours d'une année donnée (s) sont fortement corrélées aux ventes de produits neufs au cours de la même année (s). Il est logique que la popularité des produits usagés corresponde à celle des produits neufs. Comme le montre l'équation 15, à partir des données d'enquête de 2000 à 2010, on a modélisé le ratio β des ventes de produits usagés avec celles des produits neufs.

Figure 62 : Répartitions de la durée de la période de propriété (λ) des ordinateurs aux États-Unis (échantillon aléatoire)

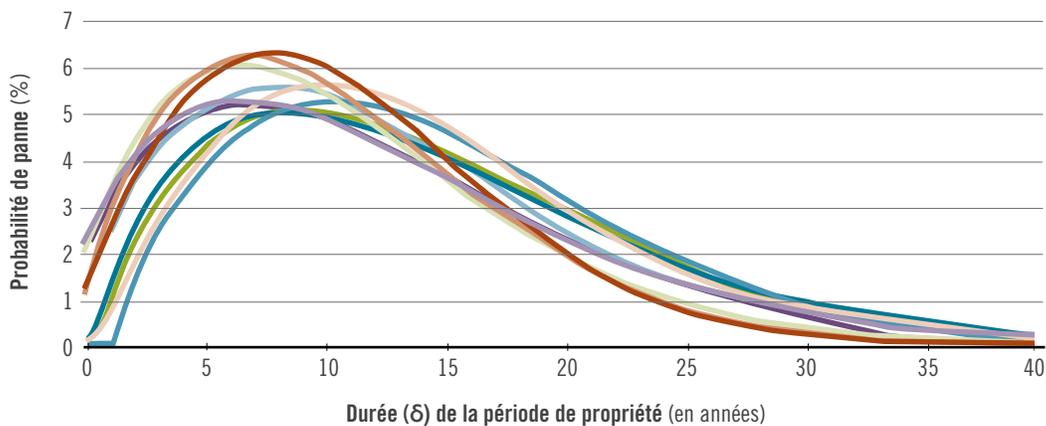


Tableau 13 : Paramètres de la répartition de Weibull donnant la durée moyenne de la période de propriété (λ)

Pays	Produit	Paramètre d'échelle (répartition de Weibull)	Paramètre de forme (répartition de Weibull)
Canada	Ordinateurs de bureau	2,45	8,84
	Ordinateurs portables	1,91	11,16
	Écrans cathodiques	2,35	8,53
	Écrans plats	1,97	14,23
Mexique	Ordinateurs de bureau	1,80	11,13
	Ordinateurs portables	1,52	22,16
	Écrans cathodiques	1,72	13,26
	Écrans plats	1,72	21,31
États-Unis	Ordinateurs de bureau	2,09	7,61
	Ordinateurs portables	1,71	13,28
	Écrans cathodiques	2,10	7,46
	Écrans plats	1,77	15,05

Équation 15 : Ratio β des achats de produits usagés avec ceux des produits neufs.

$$\beta = \frac{\text{Ventes}_{Usagés}(s)}{\text{Ventes}_{Neufs}(s)}$$

L'étape suivante a consisté à estimer, à l'aide de la fraction α , les ventes de produits usagés découlant d'une réutilisation informelle (I) par rapport à une réutilisation formelle après la génération et la collecte subséquente (C) de ces produits. L'enquête a notamment consisté à savoir si les produits qui étaient encore chez les répondants avaient été achetés neufs ou usagés, mais également à savoir si ceux mis au rebut avaient été gérés de telles manières que cela pouvait être considéré comme une réutilisation informelle et une collecte (équation 16). Le calcul de la valeur α présentait des difficultés, car il n'était pas vraiment évident que les produits avaient été réutilisés de façon formelle dans un foyer après leur collecte. Étant donné qu'un plus grand nombre de produits mis au rebut a plutôt donné lieu à une réutilisation informelle qu'à une collecte, la fraction α s'est vue attribuer une valeur relativement large qui s'étend 0,2 à 1.

Équation 16 : Fraction α des ventes de produits usagés qui se sont produites dans le cadre d'une réutilisation informelle (I) par rapport à une réutilisation formelle après leur génération et leur collecte subséquente (C).

$$\alpha = \frac{\text{Ventes}_I(s)}{\text{Ventes}_{I_I}(s) + \text{Ventes}_{I_C}(s)}$$

Par ailleurs, on a supposé que tous les nouveaux produits vendus au cours d'une année donnée avaient été utilisés une fois avant leur génération (O), et on en a soustrait ceux vendus originellement au cours de l'année s et censés être informellement réutilisés avant leur génération (I) dans les années suivantes ($s + \delta$), et ce, un an après l'année de leur vente, comme le montrent les versions équivalentes de l'équation 17 (voir page suivante). Étant donné que l'on a modélisé les ventes de produits usagés en rapport avec celles des produits neufs (voir l'équation 15), on a pu estimer la quantité de produits réutilisés de façon informelle au cours des années suivantes. Cette estimation exige toutefois une prévision des données de vente, et ce, en se servant d'un taux annuel de croissance des ventes et en lui permettant de varier à l'intérieur de la fourchette de taux des années précédentes. Au cours de certaines périodes pendant lesquelles les premières données historiques de vente n'étaient pas disponibles (p. ex., de 1990 à 1994), on s'est servi de taux rétrospectifs des taux annuels de croissance des ventes en leur permettant de varier à l'intérieur de la même fourchette pour les années subséquentes.

Lorsqu'un produit avait initialement connu une croissance de ventes exponentielle (ordinateurs portables et écrans plats), le modèle des ventes qui ont donné lieu à une utilisation avant la génération (O) s'est avéré insuffisant. Lors des premières années de commercialisation de ces produits, on a constaté que leur volume de ventes (O) était souvent négatif. Cela était dû au fait que la demande de produits réutilisés au cours des années subséquentes était plus importante que le plus petit nombre de ventes au cours des premières années. Pour en tenir vraiment compte, le modèle pouvait comprendre un accroissement de la valeur α

au fil du temps; on pouvait aussi élaborer un modèle plus complexe dans lequel la durée moyenne de la valeur δ augmentait au fil du temps. Dans un tel cas, on a utilisé une approximation, à savoir, comme le montre l'équation 18, que le nombre de ventes ayant donné lieu à une seule utilisation avant la génération (O), au cours des premières années de croissance exponentielle d'un produit, s'est fondé sur le nombre total de ventes dans le secteur résidentiel par rapport aux ventes au cours des années subséquentes (environ 10). On pouvait ainsi interpréter cette méthode d'approximation en supposant que les produits réutilisés vendus au cours des années subséquentes ont également été vendus aux secteurs public et privé afin de répondre à la demande, soit un phénomène qui n'est pas vraiment décrit de façon explicite dans la présente section.

Équation 17 : Achats de produits électroniques qui ont donné lieu à une seule utilisation avant la génération (O).

$$Ventes_o(s) = Ventes(s) - \sum_{s+1} P(\delta, s + \delta) * Ventes_t(s + \delta)$$

$$Ventes_o(s) = Ventes(s) - \sum_{s+1} P(\delta, s + \delta) * \beta * \alpha * Ventes(s + \delta)$$

Équation 18 : Achats approximatives de produits électroniques qui ont donné lieu à une seule utilisation avant la génération (O) au cours des premières années d'une croissance exponentielle des ventes de ces produits.

$$Ventes_{approximatives}_o(s) = Ventes(s) * \frac{1}{9} \sum_{s+1}^{10} \frac{Ventes_o(s)}{Ventes(s)}$$

Si l'on veut aller plus loin que l'équation 18, comme le montre l'équation 19, le total de la génération au cours d'une année y représente la somme de l'application de ces formules aux trois groupes.

Équation 19 : Expression détaillée du nombre total de produits électroniques usagés générés au cours d'une année y .

$$Générés(y) = \sum_{s_y}^y Ventes_o(s) * \lambda(y - s) + \sum_s^y Ventes_t(s) * \lambda(y - (s + \delta)) + \sum_s Ventes_r(s) * \lambda(y - (s + \delta))$$

Génération dans les secteurs public et privé

Contrairement au secteur résidentiel, les options de « mise au rebut » dans les secteurs public et privé ne comprennent pas la réutilisation informelle. Conséquemment, comme le montre le tableau 14, toutes les options pertinentes de

« mise au rebut » étant considérées comme de la génération, on a tenu compte des hypothèses formulées par Kahhat et Williams [13] et elles ont servi de fondement à la classification des types de collecte. De nombreux produits ayant été déclarés « mis au rebut » dans la catégorie « éliminés par contrat avec une société privée » figurant dans le tableau ci-après, il est possible que cette société les ait en réalité collectés plutôt que de les avoir dirigés vers un lieu d'enfouissement. Par conséquent, dans l'analyse, on a permis à la portion de ces produits qui figurent dans ladite catégorie et ayant été classés comme « collectés » au lieu d'« enfouis » de varier de 0 à 100 %. S'il s'avère que cela peut être une cause d'incertitude, il serait logique de chercher des moyens de mieux déterminer cette portion.

Les facteurs d'échelle utilisés pour les secteurs public et privé en 2010 sont les mêmes que ceux utilisés dans le cadre de la méthode du bilan massique dont il est question dans la section suivante.

Méthode du bilan massique

Les facteurs d'échelle mettant en rapport les valeurs de l'enquête de 2010 avec les statistiques nationales découlent des simulations de Monte Carlo; elles sont exposées dans le tableau 15 ci-après. Ces facteurs sont beaucoup plus faibles dans les secteurs public et privé que dans le secteur résidentiel, car la taille des échantillons dans ce dernier secteur était bien plus restreinte que dans les deux autres en raison du nombre de répondants.

Le tableau 16 (voir page 88) expose en détail les facteurs d'échelle relatifs à chaque produit et secteur, et ils ont servi à obtenir l'ensemble des facteurs moyens. Il faut rappeler que les mêmes facteurs ont permis d'effectuer une mise à l'échelle de chaque produit dans un pays et un secteur donnés. On a comparé, dans les secteurs public et privé américains, un facteur d'échelle fondé sur le nombre d'employés dans les établissements des entités ayant fait l'objet d'une enquête avec le nombre d'employés à l'échelle nationale en 2010. Le facteur d'échelle relatif aux employés était légèrement supérieur à celui relatif aux ventes, car l'enquête ne visait que le sous-ensemble d'entités disposant d'ordinateurs alors que l'estimation en fonction des employés portait sur ceux que comptaient toutes les entités. On a comparé de façon analogue un facteur d'échelle portant sur la population américaine aux facteurs d'échelle dans le secteur résidentiel que représentaient les répondants à l'enquête. Celui-ci ressemblait beaucoup plus au facteur d'échelle relatif aux ordinateurs portables, mais il était vraiment plus élevé que celui relatif à tous les produits. Cela donne à penser que les estimations des ventes étaient trop basses ou que les répondants à l'enquête achetaient plus de produits que la moyenne de ceux qui résidaient dans les foyers américains.

Tableau 14 : Classification des types de mise au rebut dans les secteurs public et privé

Type	Tableau 4.4	Généré?	Collecté?
Rapporté à l'entreprise de location	Réutilisé	Généré	Collecté
Remis à neuf par contrat avec une société privée	Réutilisé	Généré	Collecté
Recyclé par contrat avec une société privée	Recyclé	Généré	Collecté
Élimination par contrat avec une société privée	Enfoui	Généré	Enfoui ou collecté?
Réexpédié au fabricant	Recyclé	Généré	Collecté
Entreposé ailleurs	S.O.	S.O.	S.O.
Vendu	Réutilisé	Généré	Collecté
Donné	Réutilisé	Généré	Collecté
Éliminé par collecte en bordure de rue	Enfoui	Généré	Enfoui
Recyclé dans le cadre d'un programme de collecte en bordure de rue	Recyclé	Généré	Collecté
Rapporté au détaillant	Recyclé	Généré	Collecté
Apporté à la municipalité dans le cadre d'une collecte spéciale	Recyclé	Généré	Collecté
Apporté dans un centre de recyclage et de remise à neuf	Recyclé	Généré	Collecté
Autre	Enfoui, recyclé ou réutilisé	Généré	S.O.

Source : Les données de la colonne intitulée « Tableau 4.4 » proviennent de Kahhat et Williams, 2012 [13].

Tableau 15 : Aperçu des facteurs d'échelle de 2010 par pays et par secteur

Pays	Secteur	Moyen	Minimum	Maximum
Canada	Public et privé	233	212	254
	Résidentiel	11 561	10 228	12 894
Mexique	Public et privé	115	67	164
	Résidentiel	11 891	8 982	14 801
États-Unis	Public et privé	799	726	873
	Résidentiel	45 801	40 217	51 385

Tableau 16 : Facteurs d'échelle relatifs aux produits ayant servi à obtenir l'ensemble des facteurs moyens par pays et par secteur en 2010

Pays	Secteur	Type de facteur d'échelle	Moyenne	Minimum	Maximum
Canada	Public et privé	Ordinateur de bureau	242	219	264
		Ordinateur portable	453	412	495
		Écran cathodique	0	0	0
		Écran plat	237	215	259
		Moyenne des produits	233	212	254
	Résidentiel	Ordinateur de bureau	15 019	13 146	16 893
		Ordinateur portable	17 969	15 727	20 210
		Écran cathodique	0	0	0
		Écran plat	13 256	10 142	16 369
		Moyenne des produits	11 561	10 228	12 894
Mexique	Public et privé	Ordinateur de bureau	85	75	96
		Ordinateur portable	180	158	202
		Écran cathodique	87	4	169
		Écran plat	109	5	213
		Moyenne des produits	115	67	164
	Résidentiel	Ordinateur de bureau	14 845	13 052	16 639
		Ordinateur portable	10 833	9 524	12 142
		Écran cathodique	9 193	4 783	13 603
		Écran plat	12 693	6 604	18 783
		Moyenne des produits	11 891	8 982	14 801
États-Unis	Public et privé	Ordinateur de bureau	922	837	1 006
		Ordinateur portable	1 385	1 258	1 511
		Écran cathodique	891	809	973
		Écran plat	0	0	0
		Moyenne des produits	799	726	873
		Employé	1 878	1 706	2 050
	Résidentiel	Ordinateur de bureau	37 001	32 022	41 980
		Ordinateur portable	80 587	70 686	90 488
		Écran cathodique	0	0	0
		Écran plat	65 616	57 684	73 547
		Moyenne des produits	45 801	40 217	51 385
Population	93 902	91 144	96 660		

Annexe 4 – Génération de données sur les exportations d'ordinateurs et de produits électroniques connexes : hypothèses et calculs

Méthode hybride de collecte de données sur l'obsolescence des produits commerciaux

Données commerciales sur les exportations mexicaines

Les sections qui suivent exposent les hypothèses formulées au cours du processus de classification des données sur les expéditions mexicaines comme en fait état le *Centro Interdisciplinario para la Prevención de la Contaminación* (Ciprec, Centre interdisciplinaire de prévention de la pollution) [45]. On a mentionné les différences constatées entre la présente étude et celle du Ciprec (2013), et aux fins de la présente étude, les unités centrales de traitement sont considérées comme des ordinateurs de bureau.

Hypothèses générales

Les hypothèses dont on s'est servi pour analyser les descriptions de produits dans les bases de données sont exposées dans la présente section sous forme de liste, avec des explications là où ça s'imposait. Les hypothèses générales visant toutes les catégories comprennent les suivantes :

- Lorsque le terme « accessoires » apparaissait, on a estimé que les écrans n'en faisaient pas partie, à moins qu'une description explicite ne l'indiquait autrement.
- En général, dans les catégories d'écrans, d'ordinateurs de bureau et d'ordinateurs portables, les articles correspondants comptaient aussi certains périphériques. On doit donc considérer que les données sur le poids et le prix de chaque produit comprennent aussi ces appareils. Toutefois, on peut estimer que la part marginale est négligeable. Les données sur le poids ne figuraient pas dans l'ensemble de données que l'on a obtenu.
- Par ailleurs, si les périphériques tels que les claviers et les souris figuraient comme des articles distincts, ils ont été classés dans la catégorie « autre ».

Hypothèses relatives aux unités centrales de traitement

La présence de termes tels que « unité » et « traitement » constituait le principal critère pour déterminer si une désignation ne concernait qu'une unité centrale de traitement (UCT). Conséquemment, on a considéré que les désignations suivantes n'avaient trait qu'à des UCT :

- a) Unité de traitement de données
- b) Machine de traitement de données
- c) Serveur de traitement de données
- d) Unité centrale
- e) Unité de traitement
- f) Unité de traitement numérique
- g) Unité de traitement numérique de données
- h) Unités de traitement numérique

Hypothèses relatives aux ordinateurs de bureau

- Les désignations d'UCT ci-dessus peuvent désigner des ordinateurs de bureau à condition qu'à la place d'« unité », les termes appareil, système, machine ou ordinateur y figuraient. Conséquemment, les désignations telles que « machine de traitement » et « machine de traitement de données sous forme d'un système » ont été considérées comme des ordinateurs de bureau. (Il faut noter que dans la présente étude, toutes les UCT ont été considérées comme des ordinateurs de bureau).
- Lorsque le terme « ordinateur » figure dans une désignation sans un autre ou plusieurs autres termes le qualifiant, il a été considéré comme désignant un ordinateur de bureau (UCT + écran), à moins que la désignation contenait des termes explicites tels que UCT ou portable. (On doit noter que dans la présente étude, cette hypothèse déroge du code 847130 qui classe cet ordinateur comme un ordinateur portable).
- La désignation « poste de travail pour ordinateur » a été classée dans « autre », mais si les termes « pour ordinateur » n'y figuraient pas, on l'a considéré comme un « ordinateur de bureau ».
- Tous les dispositifs serveurs ont été considérés comme des « ordinateurs de bureau », sauf quelques exceptions qui sont mentionnées dans la section portant sur les hypothèses relatives à la catégorie « autre ».
- La désignation « serveur d'impression » a été considérée comme un « ordinateur de bureau » sauf s'il s'agissait d'une marque d'imprimante, auquel cas elle a été classée dans la catégorie « autre ».

Hypothèses relatives aux écrans

- Tous les produits désignés explicitement comme tels ont été classés dans les écrans plats, par exemple, les écrans à cristaux liquides. En outre, si la désignation ne contenait que les termes « écran en couleur », le produit était considéré comme un écran à cristaux liquides.
- De simples désignations telles que le terme « écran » ont été considérées comme signifiant un écran cathodique. (Il faut noter que dans la présente étude, cette hypothèse déroge aux codes d'exportation des écrans plats).
- Les désignations qui n'avaient trait qu'aux écrans plats ont été classées dans la catégorie « autre », car il est fortement probable qu'elles signifiaient des appareils de télévision.
- Les désignations qui avaient trait aux écrans de 19 pouces ont été considérées comme signifiant des écrans à cristaux liquides, mais seulement si on y a précisé qu'ils comprenaient des accessoires.
- Chaque écran de plus de 27 pouces a été classé dans la catégorie « autre » même s'il s'utilisait avec un ordinateur, car cet appareil est le plus couramment utilisé dans des établissements industriels.
- Les écrans de 19 à 27 pouces ont été classés dans les « écrans à cristaux liquides », même si la désignation ne précisait pas qu'ils comprenaient des accessoires.

Hypothèses relatives aux ordinateurs portables

- Plusieurs produits désignés « machine portable de traitement de données avec scanner », identifiés par la marque, le modèle et leur désignation à titre de scanner et faisant référence à des appareils portables pour enregistrer les codes à barres ou les cartes bancaires, ont été classés dans la catégorie « autre ».
- Les produits désignés « machine de traitement de données » qui pouvaient entrer dans la catégorie des ordinateurs de bureau ont été classés dans les ordinateurs portables lorsque leur code d'exportation était 847130.
- Les produits désignés « serveur de réseau » ont été classés dans les ordinateurs de bureau.

Hypothèses relatives aux appareils portables et de poche

Cette catégorie comprend les produits tels que les Palm Pilots[®], les tablettes et les agendas électroniques. Très peu de ces appareils ayant été désignés comme tels par rapport aux autres catégories, il a été un peu plus facile de les identifier dans les désignations.

Hypothèses relatives à la catégorie « autre »

Les désignations les plus courantes ont été classées dans la catégorie « autre », dont les produits suivants :

- Tous les appareils apparentés aux téléphones cellulaires, dont les appareils mobiles intelligents comme les iPhone et les iPod.
- Les appareils de radionavigation.
- Les écrans explicitement désignés « téléviseur », ainsi que les écrans dont l'utilisation n'avait aucun lien avec les systèmes informatiques de maison et de bureau. Les écrans de contrôle vidéo et les écrans de système de télévision en circuit fermé entraient dans cette catégorie.
- Les produits désignés « unité d'entréesortie ».
- Les produits désignés « unité de commande ».
- Les tubes cathodiques et les cinéscopes ont été classés dans la catégorie « autre », car il ne s'agissait que de composants d'un dispositif de surveillance.
- Les produits désignés « composant d'unité centrale de traitement » (UCT) n'ont pas été classés dans la catégorie comprenant une UCT complète, mais dans la catégorie « autre », notamment les microprocesseurs, les cartes mères, les disques durs et les unités d'entrée.
- Les appareils informatiques associés à un usage et à une production industriels ont été classés dans la catégorie « autre ».
- Les produits désignés « déchets informatiques » (dont les UCT, les écrans et les ordinateurs de bureau) ont été classés dans la catégorie « autre ».
- Les produits désignés « écran tactile » ont été considérés comme ayant un usage industriel et ont conséquemment été classés dans la catégorie « autre ».
- Les serveurs montés sur un râtelier (baie).
- Les serveurs hôte.
- Les serveurs de sécurité.
- On a estimé que certaines sociétés fabriquaient des produits qui ne cadraient pas avec la présente étude; on a donc classé ces produits dans la catégorie « autre ». Il s'agit des sociétés suivantes : ELO, Tyco, Intermec, Avaya, Blackberry, Symbol, Pelco, Top, B-K Medical, Cardio Theater, Blaupunkt, GE Medical Systems Information Technologies, UniOp, Biotronix, DatexOhmeda et Waveric.
- Pour ce qui est de la société Motorola, bien que la plupart de ses produits déclarés par les répondants constituaient des appareils de communication mobiles, après avoir vérifié les modèles, on les a classés dans la catégorie « ordinateurs portables ».
- Les produits désignés « écran de contrôle vidéo » ont été classés dans la catégorie « autre », sauf si leur marque et leur modèle les désignaient comme des appareils informatiques.

Données commerciales sur les exportations américaines

On a tout d'abord regroupé toutes les données en fonction de l'année, du mode de transport et du pays partenaire afin de vérifier leur cohérence par rapport à v , q et w , et de les comparer à celles de la base de données

Comtrade des Nations Unies. On a constaté des incohérences dans les ensembles de données en ce qui a trait à la classification des pays (p. ex., le Soudan et Curaçao), mais le commerce avec ces pays n'a pas beaucoup d'ampleur (voir les tableaux 17 et 18 pour l'explication des symboles et des termes figurant dans les données).

Tableau 17 : Symboles et termes figurant dans les données sur les exportations commerciales

Symbole	Signification
u	Valeur unitaire des exportations
v	Valeur exportée
q	Quantité exportée
w	Poids exporté
x	Poids unitaire exporté
f_g	Flux généraux d'exportations commerciales
f_e	Flux d'exportations commerciales sur le plan national
f_i	Flux totaux d'importations commerciales

Symbole	Signification
FAB	Franco à bord
CAF	Coût, assurance et fret
m	Mois (d'une année donnée)
n	Pays partenaire sur le plan commercial
t	Mode de transport
r_s	Regroupement des données sur les expéditions régionales
r_p	Regroupement des données portuaires par région
r_d	Regroupement des données de district par région
r_c	Regroupement des données nationales par région

Tableau 18 : Ensembles de données utilisés pour estimer les exportations américaines

Base de données	1. Commerce en ligne aux États-Unis (Exportations américaines)	2. Sicex (Exportations américaines)	3. StatCan (Exportations canadiennes)
Valeur, v	$v_1(f_g, m, n, r_p, t)$	$v_2(f_e, m, n, r_d, t)$	$v_3(f_p, m, n, r_p, t)$
Quantité, q	--	$q_2(f_e, m, n, r_d)$	$q_3(f_p, m, n, r_p, t)$
Poids, w	$w_1(f_g, m, n, r_p, t)$	$w_2(f_e, m, n, r_d, t)$	--

Note : Certains ensembles ne font pas état de la quantité ou du poids.

À partir des données ventilées sur les exportations américaines, on a calculé la valeur unitaire en fonction des données sur le district et le port d'expédition, mais elles étaient approximatives à l'égard de ce dernier. Cette approximation est due au fait que les valeurs unitaires ne pouvaient se calculer directement à partir des données portuaires en raison du manque de données quantitatives, ce qui n'a produit que des valeurs unitaires et des quantités approximatives. On a pu obtenir les valeurs unitaires en fonction du district directement à partir des quantités connexes, et les résultats ont permis de vérifier si ceux obtenus à partir des données portuaires approximatives étaient acceptables. On a par ailleurs substitué ces données portuaires sur les importations canadiennes aux données sur les exportations américaines, et utilisé les données sur ces exportations en fonction du district pour déterminer les exportations vers le Mexique.

Le tableau 19 donne un exemple de l'estimation des exportations d'ordinateurs portables en provenance des États-Unis vers l'Argentine, et ce, à partir de données portuaires approximatives. En outre, dans l'équation 20, on a calculé la valeur unitaire des exportations américaines en fonction du district $u_2(f_e, m, n, r_d)$ à partir des données de Sicex. Étant donné que cette base de données ne ventile pas les quantités par mode de transport, on a ventilé la valeur unitaire des exportations en fonction du mois, du pays partenaire et du district.

Équation 20

$$u_2(f_e, m, n, r_d) = \frac{v_2(f_e, m, n, r_d)}{q_2(f_e, m, n, r_d)}$$

Comme le montrent l'équation 21 et l'équation 22, afin d'obtenir des données portuaires approximatives pour les pays qui ne sont pas situés en Amérique du Nord, on a multiplié la valeur des données portuaires générales sur le poids des exportations par le poids unitaire des données de district sur les exportations nationales correspondantes $x_2(f_e, m, n, r_d)$, et ce, par mois, par pays partenaire et par district.

Équation 21

$$x_2(f_e, m, n, r_d) = \frac{w_2(f_e, m, n, r_d)}{q_2(f_e, m, n, r_d)}$$

Équation 22

$$u_{1-2}(f_e, m, n, r_p, t) \cong \frac{v_1(f_g, m, n, r_p, t)}{w_1(f_g, m, n, r_p, t)} \times x_2(f_e, m, n, r_d)$$

Comme le montre l'équation 23, on a estimé la quantité approximative des exportations à partir des données portuaires $q_{1-2}(f_e, m, n, r_p, t)$ en multipliant le rapport du poids des exportations nationales par district avec le poids des exportations générales par district et en divisant le tout par le poids unitaire moyen par district.

Équation 23

$$q_{1-2}(f_e, m, n, r_p, t) \cong \frac{\frac{w_2(f_e, m, n, r_d, t)}{w_2(f_g, m, n, r_d, t)} \times w_1(f_g, m, n, r_p, t)}{x_2(f_e, m, n, r_d)}$$

On a obtenu la valeur unitaire des importations nord-américaines vers le Canada et le Mexique en fonction des échanges avec les États-Unis à titre de pays d'origine n en divisant tout simplement la valeur par la quantité importée par mois, par port ou district et par mode de transport. L'équation 24 illustre le calcul de la valeur unitaire des importations canadiennes.

Équation 24

$$u_3(f_i, m, n, r_p, t) = \frac{v_3(f_i, m, n, r_p, t)}{q_3(f_i, m, n, r_p, t)}$$

Fixation des seuils à partir des données commerciales

On a fixé les seuils à partir de données portuaires approximatives pour chaque région du monde (groupes de pays selon leur niveau de revenu établis par la Banque mondiale, et régions macrogéographiques établies par les Nations Unies), ainsi que pour les modes de transport maritime et aérien (y compris le mode de transport terrestre pour l'Amérique du Nord). On a également appliqué ces seuils à la répartition des districts, notamment pour que la

comparaison soit cohérente. Étant donné que les ensembles de données sur les exportations utilisés contenaient majoritairement des valeurs ne comprenant pas les frais de transport, il aurait pu être superflu de fixer des seuils distincts pour les différents modes de transport. Mais comme la ventilation des valeurs unitaires dans ces ensembles de données montrait des différences considérables entre les modes de transport, l'exercice pouvait s'avérer utile.

La *Neighborhood Valley Emphasis Method* (NVEM, méthode algorithmique de mise en relief des creux de voisinage [dans un histogramme]) a servi à déterminer la valeur z du seuil des produits usagés et neufs à l'aide de la première méthode. Fan et Lei (2012) ont exposé leur démarche en vue de déterminer le seuil de différenciation des modes dans une répartition, et ils l'ont mise au point afin de trouver le seuil d'un histogramme bimodal dans une image en niveaux de gris. Ils ont ainsi démontré la plus ample applicabilité de leur NVEM que les méthodes d'Otsu qu'ils ont modifiées, et ce, parce qu'il n'est pas facile de distinguer visuellement les valeurs z ¹¹ et que Fan et Lei (2012) ont prouvé de façon convaincante la supériorité de leur méthode. Cette démarche exigeant un histogramme avec une ventilation élaborée, la méthode n'a été appliquée qu'à des ensembles de données appropriés faisant état de très grandes quantités de produits commerciaux (plus de 10 000). Les seuils estimés ont remplacé des seuils manquants dans des régions du monde où les volumes d'échanges commerciaux sont faibles.

La méthode permet de trouver le seuil optimal z^* , lequel maximise simultanément l'écart entre les modes (ou les catégories) et minimise la probabilité que la valeur binaire unitaire u soit au seuil et alentour du seuil optimal. En ne tenant pas seulement compte de la probabilité d'un seuil binaire unitaire particulier (l'usage de l'expression « valeur binaire » est justifié dans l'analyse d'un histogramme), mais aussi des valeurs binaires unitaires avoisinantes, les baisses sporadiques ne sont pas retenues si elles ne constituent pas de vrais creux. La méthode est exposée ci-dessous.

Chaque valeur binaire unitaire u est considérée comme un seuil z éventuel, ce qui permet de déterminer la probabilité avoisinante $h(u)$. L'équation 25 sert à additionner les probabilités de valeurs unitaires avoisinantes dans l'intervalle $L = 2 + B1$ pour trouver la valeur unitaire u ; L étant l'intervalle avoisinant, normalement un nombre impair, et B le nombre de valeurs binaires évaluées de chaque côté de z (Fan et Lei, 2012). L'analyse porte sur plusieurs valeurs de L , afin de trouver un intervalle acceptable en se fondant sur la grandeur de la valeur binaire et sur la vraisemblance des résultats, et éviter ainsi de trouver des valeurs superflues. Les résultats exposés pour $L = 7, 9$ et 11 représentent les intervalles avoisinants des valeurs unitaires des exportations, soit 35 \$, 45 \$ et 55 \$ respectivement.

11. La notation est différente de celle utilisée par Fan et Lei (2012).

Tableau 19 : Exemple des résultats approximatifs obtenus à partir des données portuaires sur les exportations d'ordinateurs portables américaines vers l'Argentine en 2010

Pays partenaire n et mois m $n = \text{Argentine, } m = \text{septembre 2010}$ (Note : On a exclu certains enregistrements de cet exemple.)

District, d	Houston Galveston, TX		Miami, FL			New York, NY
	Aéroport intercontinental de Houston, TX	Houston, TX	Aéroport international de Miami, FL	Miami, FL	Port Everglades, FL	Aéroport international JFK, NY
$v_2(f_{g-e}, m, n, r_d)$	634 444 \$	634 444 \$	3 389 603 \$	3 389 603 \$	3 389 603 \$	\$-
$q_2(f_{g-e}, m, n, r_d)$	912	912	5 742	5 742	5 742	-
$w_2(f_{g-e}, m, n)$	5 877 \$	5 877 \$	27 842 \$	27 842 \$	27 842 \$	\$-
$(, m, n)$	-	-	350	350	350	-
$(, m, n)$	113 541 \$	113 541 \$	4 099 759 \$	4 099 759 \$	4 099 759 \$	56 440 \$
$(, m, n, r_d)$	300	300	10 941	10 941	10 941	208
$u_2(f_e, m, n, r_d)$	378 \$	378 \$	375 \$	375 \$	375 \$	271 \$
$w_2(f_e, m, n, r_d, t_{air})$	-	-	26 625	26 625	26 625	212
$w_2(f_e, m, n, r_d, t_{ves})$	815	815	589	589	589	-
$w_2(f_e, m, n, r_d)$	815	815	27 214	27 214	27 214	212
$x_2(f_e, m, n, r_d)$	3	3	2	2	2	1
$v_1(f_g, m, n, r_p, t_{air})$	634 444 \$	\$-	7 412 903 \$	\$-	\$-	56 440 \$
$w_1(f_g, m, n, r_p, t_{air})$	5 877	-	54 467	-	-	212
$u_{1-2}(f_e, m, n, r_p, t_{air})$	293 \$	\$-	339 \$	\$	\$	271 \$
$v_1(f_g, m, n, r_p, t_{ves})$	\$-	113 541 \$	\$-	48 674 \$	27 785 \$	\$-
$w_1(f_g, m, n, r_p, t_{ves})$	-	815	-	589	350	
$u_{1-2}(f_e, m, n, r_p, t_{ves})$	\$-	378 \$	\$-	206 \$	197 \$	\$-
$w_2(f_e, m, n, r_d, t_{air})$ $w_2(f_g, m, n, r_d, t_{air})$	0 %	0 %	49 %	49 %	49 %	100 %
$w_2(f_e, m, n, r_d, t_{ves})$ $w_2(f_g, m, n, r_d, t_{ves})$	100 %	100 %	63 %	63 %	63 %	0 %
$q_{1-2}(f_{g-e}, m, n, r_p, t_{air})$	912	-	5 671	-	-	-
$q_{1-2}(f_{g-e}, m, n, r_p, t_{ves})$	-	-		45	27	-
$q_{1-2}(f_e, m, n, r_p, t_{air})$	-	-	10 704	-	-	208
$q_{1-2}(f_e, m, n, r_p, t_{ves})$	-	300	-	149	88	-

Note : Les résultats des équations 22 et 23 sont indiqués en gras.

Équation 25

$$\bar{h}(u) = [h(u - m) + \dots + h(u - 1) + h(u) + h(u + 1) + \dots + h(u + m)]$$

Les modes (ou les catégories) sont définis comme étant $c_0 = [0, \dots, z]$ et $c_1 = [z + 1, \dots, B - 1]$; $B - 1$; $B - 1$ étant la valeur binaire unitaire maximale. Comme le montrent l'équation 26 et l'équation 27, on obtient les probabilités totales de chaque catégorie avec de simples additions. L'équation 28 et l'équation 29 donnent la moyenne dans chaque catégorie.

Équation 26

$$p_0(z) = \sum_{u=0}^z h(u)$$

Équation 27

$$p_1(z) = \sum_{u=z+1}^{B-1} h(u)$$

Équation 28

$$\mu_0(z) = \sum_{u=0}^z u \cdot h(u) / p_0(z)$$

Équation 29

$$\mu_1(z) = \sum_{u=z+1}^{B-1} u \cdot h(u) / p_1(z)$$

Dans l'équation 30, le seuil optimal correspond au maximum de toutes les valeurs binaires dans la fonction objective de mise en valeur des points d'intersection des courbes $\xi(z)$.

Équation 30

$$\xi(z) = (1 - \bar{h}(z)) (p_0(z)\mu_0^2(z) + p_1(z)\mu_1^2(z))$$

Annexe 5 – Résultats des données sur l’approvisionnement et les exportations d’ordinateurs et de produits électroniques connexes

Au Canada

Méthode hybride de collecte de données sur l’obsolescence des produits commerciaux

Tableau 20 : Quantités d’ordinateurs et d’écrans générés, collectés et exportés au Canada en 2010, en moyenne et avec les limites minimales et maximales de l’intervalle de confiance de 95 % (en milliers d’unités)

Produit		Résidentiel			Public et privé			Total		
		Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.
Ordinateurs de bureau	Générés	1 237	1 037	1 468	309	282	336	1 547	1 344	1 780
	Collectés	995	789	1 235	262	211	317	1 256	1 040	1 506
	Exportés (NVEM)							17	16	18
	Exportés (doc. pub.)							13	7	20
Ordinateurs portables	Générés	374	178	627	221	202	240	595	397	849
	Collectés	251	112	445	185	149	224	436	290	634
	Exportés (NVEM)							43	43	43
	Exportés (doc. pub.)							42	40	45
Ordinateurs	Générés	1 611	1 269	2 014	530	484	577	2 141	1 792	2 548
	Collectés	1 246	952	1 597	447	360	541	1 692	1 379	2 056
	Exportés (NVEM)							60	58	61
	Exportés (doc. pub.)							55	47	64
Écrans cathodiques	Générés	1 002	410	1 890	256	234	278	1 258	664	2 150
	Collectés	684	197	1 531	214	171	260	898	407	1 748
	Exportés (NVEM)							9	9	9
	Exportés (doc. pub.)							9	9	9
Écrans plats	Générés	224	68	519	198	181	216	422	264	717
	Collectés	175	51	419	157	117	200	332	195	575
	Exportés (NVEM)							15	8	22
	Exportés (doc. pub.)							13	3	23
Écrans	Générés	1 226	514	2 298	454	415	494	1 680	965	2 751
	Collectés	859	291	1 815	371	289	460	1 230	650	2 188
	Exportés (NVEM)							24	17	31
	Exportés (doc. pub.)							22	11	32

Tableau 21 : Poids des ordinateurs et des écrans générés, collectés et exportés au Canada en 2010, en moyenne et avec les limites minimales et maximales de l'intervalle de confiance de 95 % (en tonnes métriques)

Produit		Résidentiel			Public et privé			Total		
		Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.
Ordinateurs de bureau	Générés	13 125	6 217	22 779	3 277	1 580	5 615	16 402	7 826	28 329
	Collectés	10 551	4 901	18 759	2 774	1 287	4 877	13 325	6 283	23 486
	Exportés (NVEM)							182	81	333
	Exportés (doc. pub.)							141	36	353
Ordinateurs portables	Générés	1 153	345	2 860	683	270	1 512	1 836	659	4 263
	Collectés	773	219	1 980	571	223	1 274	1 344	477	3 098
	Exportés (NVEM)							132	54	293
	Exportés (doc. pub.)							130	50	306
Ordinateurs	Générés	14 278	7 133	24 210	3 960	2 147	6 389	18 238	9 354	30 334
	Collectés	11 324	5 557	19 598	3 345	1 746	5 522	14 669	7 449	24 886
	Exportés (NVEM)							313	134	625
	Exportés (doc. pub.)							271	86	658
Écrans cathodiques	Générés	15 696	5 791	32 577	4 003	2 623	5 782	19 699	9 084	37 387
	Collectés	10 723	2 827	25 528	3 346	2 073	5 047	14 069	5 609	29 604
	Exportés (NVEM)							134	89	193
	Exportés (doc. pub.)							134	89	193
Écrans plats	Générés	2 778	334	10 064	2 452	489	7 019	5 230	945	16 241
	Collectés	2 170	259	7 967	1 939	372	5 680	4 108	728	12 957
	Exportés (NVEM)							188	21	775
	Exportés (doc. pub.)							160	6	810
Écrans	Générés	18 474	6 842	38 615	6 455	3 790	11 334	24 929	11 794	47 621
	Collectés	12 892	3 847	29 718	5 285	2 955	9 391	18 177	7 872	36 564
	Exportés (NVEM)							322	109	968
	Exportés (doc. pub.)							294	95	1 003

Tableau 22 : Les 20 principaux pays destinataires des ordinateurs et des écrans usagés canadiens

Classement en fonction de la quantité moyenne exportée	Pays destinataire	Moyenne et fourchette des exportations (NVEM)		Moyenne et fourchette des exportations (doc. publiée)	
1	États-Unis	S.O.	S.O.	25,3	± 5,2
2	France	7,9	± 0	7,7	± 0,3
3	Italie	8,0	± 0	4,1	± 3,9
4	Émirats arabes unis	4,0	± 1,1	4,6	± 1,4
5	Sri Lanka	3,9	± 0	3,9	± 0
6	Allemagne	3,7	± 0	3,5	± 0,2
7	Royaume-Uni	3,5	± 0	3,4	± 0,1
8	Chili	3,4	± 0	2,5	± 1
9	Chine	2,8	± 0	2,4	± 0,3
10	Pérou	2,6	± 0	2,0	± 0,6
11	Chine, Hong Kong (RAS)	1,4	± 0	2,5	± 1,2
12	État plurinational de Bolivie	2,2	± 0,2	1,2	± 1,2
13	Philippines	1,6	± 0,6	1,6	± 0,6
14	Pays-Bas	1,7	± 0	1,3	± 0,4
15	Pakistan	1,2	± 0,2	1,2	± 0,3
16	Cuba	0,8	± 0	0,7	± 0,2
17	Danemark	0,6	± 0	0,6	± 0
18	Malaisie	0,5	± 0	0,6	± 0,1
19	Brésil	0,6	± 0	0,5	± 0,1
20	Mexique	0,5	± 0	0,5	± 0,1

Note : Ces valeurs découlent de l'application de celles des États-Unis (MHCDOPC) aux données sur les exportations canadiennes vers la plupart des pays ainsi que des données sur les importations américaines, et ce, en raison de contraintes liées aux données, ainsi que les quantités moyennes exportées (en milliers d'unités) et la fourchette de seuils obtenues avec chaque méthode. Tous les autres pays ont reçu moins de 500 unités d'ordinateurs et d'écrans usagés. On sait que plusieurs pays destinataires réexportent couramment des produits à l'échelle régionale, notamment Hong Kong, les Émirats arabes unis et le Liban, et qu'ils ne constituent probablement pas des destinations finales.

Tableau 23 : Les 19 principaux pays destinataires des ordinateurs et des écrans usagés canadiens

Classement en fonction du poids moyen des exportations	Pays destinataire	Méthode appliquée aux exportations : NVEM (incertitude moyenne)		Méthode appliquée aux exportations : doc. publiée (incertitude moyenne)	
1	États-Unis	S.O.	S.O.	156	+363 / -115
2	Italie	84	+102 / -43	42	+100 / -42
3	Sri Lanka	59	+47 / -21	59	+27 / -21
4	Émirats arabes unis	40	+138 / -33	43	+113 / -35
5	Chili	41	+77 / -25	30	+64 / -18
6	Pérou	37	+57 / -20	29	+46 / -15
7	France	26	+46 / -15	26	+32 / -15
8	Philippines	21	+53 / -12	21	+42 / -13
9	État plurinational de Bolivie	27	+78 / -22	15	+68 / -15
10	Royaume-Uni	15	+24 / -8	14	+18 / -8
11	Allemagne	13	+23 / -8	12	+16 / -8
12	Chine, Hong Kong (RAS)	10	+19 / -6	15	+41 / -12
13	Chine	10	+18 / -6	9	+12 / -6
14	Cuba	9	+11 / -5	7	+8 / -5
15	Malaisie	6	+6 / -3	7	+6 / -4
16	Pakistan	6	+18 / -4	6	+14 / -4
17	Kenya	5	+27 / -5	5	+22 / -5
18	Liban	5	+11 / -3	5	+8 / -3
19	Pays-Bas	5	+10 / -3	4	+8 / -3

Note : Ces valeurs découlent de l'application de celles des États-Unis (MHCDOPC) aux données sur les exportations canadiennes vers la plupart des pays ainsi que des données sur les importations américaines, et ce, en raison de contraintes liées aux données, ainsi que les quantités moyennes exportées (en milliers d'unités) et la fourchette de seuils obtenues avec chaque méthode. Tous les autres pays ont reçu moins de 500 unités d'ordinateurs et d'écrans usagés. On sait que plusieurs pays destinataires réexportent couramment des produits à l'échelle régionale, notamment Hong Kong, les Émirats arabes unis et le Liban, et qu'ils ne constituent probablement pas des destinations finales.

Méthode du bilan massique

Tableau 24 : Quantités d'ordinateurs et d'écrans générés, collectés et exportés au Canada en 2010, en moyenne et avec les limites minimales et maximales de l'intervalle de confiance de 95 % (en milliers d'unités)

Produit		Résidentiel			Public et privé			Total		
		Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.
Ordinateurs de bureau	Générés	578	511	645	309	281	337	887	793	982
	Collectés	451	370	555	270	238	308	721	608	863
	Exportés							87	78	304
Ordinateurs portables	Générés	243	215	271	221	201	241	464	416	512
	Collectés	208	176	246	182	158	212	390	334	459
	Exportés							28	25	144
Ordinateurs	Générés	821	726	915	530	483	578	1 351	1 209	1 494
	Collectés	659	546	801	452	397	521	1 111	942	1 322
	Exportés							114	103	448
Écrans cathodiques	Générés	358	317	400	256	233	279	614	550	679
	Collectés	254	201	326	182	152	225	437	353	551
	Exportés							138	74	225
Écrans plats	Générés	139	123	155	198	180	216	337	303	371
	Collectés	116	97	138	176	156	200	292	253	338
	Exportés							80	72	159
Écrans	Générés	497	440	554	454	413	495	951	853	1 050
	Collectés	370	298	464	358	308	425	728	606	890
	Exportés							218	146	384

Tableau 25 : Quantification des flux canadiens en appliquant la méthode du bilan massique (en milliers d'unités)

Produit	Flux	Scénario de l'utilisation finale prévue			Scénario de la diminution de la réutilisation			Scénario de l'accroissement des exportations		
		Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.
Ordinateurs de bureau	FFR	728	644	812	728	644	812	728	644	812
	FFPuPr	1 380	1 256	1 505	1 380	1 256	1 505	1 380	1 256	1 505
	FRI	578	511	645	578	511	645	578	511	645
	FPuPrI	309	281	337	309	281	337	309	281	337
	FIR	231	205	258	231	205	258	231	205	258
	FIPuPr	112	102	122	112	102	122	112	102	122
	FIRc	291	260	322	360	321	399	183	163	202
	FRR	203	180	226	252	223	281	136	120	152
	FPuPrR	88	80	96	109	99	118	47	42	51
	FIL	167	148	185	133	119	148	167	148	185
	FRL	127	113	142	102	90	113	127	113	142
	FPuPrL	39	36	43	32	29	34	39	36	43
	FIMI	0	0	0	36	31	40	80	71	89
	FIEx	87	78	95	87	78	95	275	247	304

Tableau 25 (suite)

Produit	Flux	Scénario de l'utilisation finale prévue			Scénario de la diminution de la réutilisation			Scénario de l'accroissement des exportations		
		Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.
Ordinateurs portables	FFR	1 491	1 319	1 663	1 491	1 319	1 663	1 491	1 319	1 663
	FFPuPr	805	732	877	805	732	877	805	732	877
	FRI	243	215	271	243	215	271	243	215	271
	FPuPrI	221	201	241	221	201	241	221	201	241
	FIR	335	297	374	335	297	374	335	297	374
	FIPuPr	71	65	78	71	65	78	71	65	78
	FIRc	118	106	130	172	154	190	78	70	86
	FRR	68	61	76	95	84	106	45	40	51
	FPuPrR	50	45	54	77	70	84	33	30	36
	FIL	74	67	82	59	53	65	74	67	82
	FRL	35	31	39	28	25	31	35	31	39
	FPuPrL	39	36	43	32	29	34	39	36	43
	FIMI	162	143	182	202	178	226	226	200	252
FIEx	28	25	30	28	25	30	131	118	144	
Écrans cathodiques	FFR	81	72	90	81	72	90	81	72	90
	FFPuPr	108	98	118	108	98	118	108	98	118
	FRI	358	317	400	358	317	400	358	317	400
	FPuPrI	256	233	279	256	233	279	256	233	279
	FIR	46	41	52	46	41	52	46	41	52
	FIPuPr	14	13	15	14	13	15	14	13	15
	FIRc	238	214	263	330	295	364	173	155	191
	FRR	134	119	150	184	163	205	97	86	108
	FPuPrR	104	95	114	146	133	159	76	69	83
	FIL	178	159	197	142	127	157	178	159	197
	FRL	104	92	116	83	74	93	104	92	116
	FPuPrL	74	67	81	59	54	64	74	67	81
	FIMI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FIEx	138	124	152	82	74	91	204	182	225	
Écrans plats	FFR	751	665	838	751	665	838	751	665	838
	FFPuPr	1 100	1 001	1 200	1 100	1 001	1 200	1 100	1 001	1 200
	FRI	139	123	155	139	123	155	139	123	155
	FPuPrI	198	180	216	198	180	216	198	180	216
	FIR	220	194	245	220	194	245	220	194	245
	FIPuPr	78	71	85	78	71	85	78	71	85
	FIRc	90	80	99	123	110	136	64	57	70
	FRR	52	46	58	65	57	72	39	34	43
	FPuPrR	38	34	41	58	53	63	25	23	27
	FIL	45	41	50	36	33	40	45	41	50
	FRL	23	20	26	18	16	21	23	20	26
	FPuPrL	22	20	24	18	16	20	22	20	24
	FIMI	175	155	195	199	177	222	214	190	238
FIEx	80	72	87	80	72	87	145	130	159	

Note : Les abréviations des flux renvoient à la figure 7, qui illustre l'analyse des flux de matériel exportés par un pays.

Les flux sont ceux des fabricants (F) vers les utilisateurs du secteur résidentiel (R) et des secteurs public et privé (PuPr), ainsi que vers les intermédiaires (I). Ces derniers collectent aussi les importations (Im) et les réexpédient aux fins de réutilisation par les utilisateurs du secteur résidentiel (R) et des secteurs public et privé (PuPr), les dirigent vers des lieux d'enfouissement ou des incinérateurs (L), les vendent à l'échelle nationale aux fins du recyclage des pièces et des matières (R) ou les exportent à l'étranger (Ex). Le cheminement du processus se fait d'un indice à un autre. Par exemple, F_{RI} illustre les flux de produits électroniques du secteur résidentiel (R) vers les intermédiaires (I), et F_{IR} illustre les flux de produits électroniques des intermédiaires (I) vers le secteur résidentiel (R).

Tableau 26: Poids des ordinateurs et des écrans générés, collectés et exportés au Canada en 2010, en moyenne et avec les limites minimales et maximales de l'intervalle de confiance de 95 % (en tonnes métriques)

Produit		Résidentiel			Public et privé			Total		
		Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.
Ordinateurs de bureau	Générés	6 135	2 619	11 624	3 281	1 441	6 077	9 416	4 059	17 702
	Collectés	4 785	1 892	10 002	2 863	1 221	5 561	7 648	3 113	15 562
	Exportés							919	399	5 481
Ordinateurs portables	Générés	748	270	1 850	682	253	1 647	1 430	523	3 496
	Collectés	642	221	1 682	560	199	1 451	1 202	420	3 133
	Exportés							85	32	984
Ordinateurs	Générés	6 883	2 889	13 474	3 963	1 693	7 724	10 846	4 582	21 198
	Collectés	5 426	2 114	11 684	3 424	1 420	7 011	8 850	3 533	18 695
	Exportés							1 005	431	6 466
Écrans cathodiques	Générés	5 608	3 280	9 006	4 007	2 411	6 289	9 614	5 691	15 295
	Collectés	3 980	2 080	7 347	2 851	1 577	5 078	6 830	3 657	12 425
	Exportés							2 161	764	5 064
Écrans plats	Générés	1 705	313	5 339	2 436	460	7 458	4 141	772	12 797
	Collectés	1 421	247	4 774	2 162	397	6 897	3 582	644	11 671
	Exportés							977	183	5 483
Écrans	Générés	7 312	3 593	14 345	6 443	2 870	13 748	13 755	6 463	28 093
	Collectés	5 400	2 327	12 121	5 012	1 975	11 975	10 413	4 302	24 096
	Exportés							3 138	946	10 546

Au Mexique

Méthode hybride de collecte de données sur l'obsolescence des produits commerciaux

Tableau 27 : Quantités d'ordinateurs et d'écrans générés, collectés et exportés au Mexique en 2010, en moyenne et avec les limites minimales et maximales de l'intervalle de confiance de 95 % (en milliers d'unités)

Produit		Résidentiel			Public et privé			Total		
		Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.
Ordinateurs de bureau	Générés	899	714	1 107	276	167	387	1 175	945	1 420
	Collectés	478	348	637	261	157	365	739	559	934
	Exportés (NVEM)							865	828	913
	Exportés (doc. pub.)							849	711	1 345
Ordinateurs portables	Générés	128	55	241	127	76	177	255	156	379
	Collectés	91	38	171	123	74	172	214	134	310
	Exportés (NVEM)							230	227	459
	Exportés (doc. pub.)							187	181	196
Ordinateurs	Générés	1 027	795	1 295	403	243	564	1 430	1 125	1 759
	Collectés	569	404	774	384	231	537	953	705	1 217
	Exportés (NVEM)							1 095	1 055	1 372
	Exportés (doc. pub.)							1 035	892	1 541
Écrans cathodiques	Générés	325	173	539	300	181	420	625	415	873
	Collectés	187	95	322	271	163	380	458	300	632
	Exportés (NVEM)							1 446	1 380	1 619
	Exportés (doc. pub.)							597	174	1 136
Écrans plats	Générés	240	131	391	259	156	362	499	334	687
	Collectés	127	66	216	235	142	330	362	240	495
	Exportés (NVEM)							23	23	23
	Exportés (doc. pub.)							23	23	23
Écrans	Générés	85	30	180	41	25	57	126	66	222
	Collectés	60	21	129	36	21	51	96	51	165
	Exportés (NVEM)							1 423	1 358	1 597
	Exportés (doc. pub.)							574	151	1 114

Tableau 28 : Poids des ordinateurs et des écrans générés, collectés et exportés au Mexique en 2010, en moyenne et avec les limites minimales et maximales de l'intervalle de confiance de 95 % (en tonnes métriques)

Produit		Résidentiel			Public et privé			Total		
		Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.
Ordinateurs de bureau	Générés	9 514	4 364	16 902	2 927	1 161	5 696	12 440	5 757	21 915
	Collectés	5 065	2 225	9 287	2 759	1 096	5 360	7 824	3 508	13 971
	Exportés (NVEM)							9 179	4 238	16 466
	Exportés (doc. pub.)							9 008	3 641	24 244
Ordinateurs portables	Générés	398	108	1 046	393	131	951	790	275	1 873
	Collectés	281	75	742	381	127	924	663	231	1 581
	Exportés (NVEM)							709	285	3 136
	Exportés (doc. pub.)							575	227	1 340
Ordinateurs	Générés	9 912	4 725	17 340	3 319	1 415	6 217	13 231	6 414	22 736
	Collectés	5 346	2 434	9 650	3 141	1 344	5 898	8 487	4 046	14 732
	Exportés (NVEM)							9 887	4 523	19 602
	Exportés (doc. pub.)							9 583	3 868	25 585
Écrans cathodiques	Générés	4 798	2 253	9 025	4 556	2 304	7 669	9 354	5 179	15 376
	Collectés	2 718	1 196	5 352	4 118	2 081	6 976	6 836	3 747	11 144
	Exportés (NVEM)							17 840	3 691	55 606
	Exportés (doc. pub.)							7 411	618	38 944
Écrans plats	Générés	3 752	1 806	6 750	4 051	2 028	6 912	7 803	4 367	12 709
	Collectés	1 979	923	3 712	3 681	1 839	6 283	5 660	3 151	9 187
	Exportés (NVEM)							352	233	507
	Exportés (doc. pub.)							352	233	507
Écrans	Générés	1 046	141	3 562	505	92	1 514	1 551	257	4 850
	Collectés	739	99	2 516	437	78	1 308	1 176	199	3 655
	Exportés (NVEM)							17 487	3 458	55 099
	Exportés (doc. pub.)							7 058	385	38 437

Tableau 29 : Les 28 principaux pays destinataires des ordinateurs et des écrans usagés mexicains, en quantités moyennes exportées (en milliers d'unités) et avec une fourchette de seuils obtenus en fonction de chaque méthode

Classement en fonction de la quantité moyenne exportée	Pays destinataire	Moyenne et fourchette des exportations (NVEM)	Moyenne et fourchette des exportations (doc. publiée)
1	États-Unis	2 151,1 ± 102,9	1 210,4 ± 436,4
2	Pays-Bas	160,8 ± 0	160,8 ± 0
3	Colombie	29,2 ± 0	65,4 ± 49,7
4	Canada	40,3 ± 0,1	11,1 ± 11
5	Venezuela	23,3 ± 0	24,1 ± 24,1
6	Hong Kong	22,2 ± 0	22,2 ± 0
7	Singapour	18,8 ± 0,8	18,8 ± 0,8
8	Chili	14,5 ± 0	22,5 ± 16,6
9	Chine	13,6 ± 1,1	13,6 ± 1,1
10	Inde	13,1 ± 0	13,1 ± 0
11	Pérou	10,7 ± 0	15 ± 5,9
12	Argentine	3,3 ± 0	17,1 ± 15
13	Australie	8 ± 0	8 ± 0
14	Brésil	8,9 ± 0	4,8 ± 1,5
15	Équateur	2,2 ± 0	4,7 ± 2,3
16	Costa Rica	2,5 ± 0,2	2,2 ± 1
17	Surinam	2,3 ± 0	2,3 ± 0
18	Corée du Sud	2,1 ± 0	2,1 ± 0
19	Japon	2 ± 0	2 ± 0
20	Indonésie	2 ± 0	2 ± 0
21	Nouvelle-Zélande	2 ± 0	2 ± 0
22	Taiwan	1,4 ± 0	1,4 ± 0
23	Roumanie	1 ± 0	1 ± 0
24	Guatemala	1 ± 0	1 ± 0
25	Paraguay	1 ± 0	1 ± 0
26	Cuba	0,9 ± 0,1	0,7 ± 0,2
27	Espagne	0,7 ± 0	0,7 ± 0
28	Uruguay	0 ± 0	0,6 ± 0,6

Note : Tous les autres pays ont reçu moins de 500 unités d'ordinateurs et d'écrans usagés. On sait que plusieurs pays destinataires réexportent couramment des produits à l'échelle régionale, notamment Hong Kong, les Émirats arabes unis et le Liban, et qu'ils ne constituent probablement pas des destinations finales.

Tableau 30 : Les 27 principaux pays destinataires des ordinateurs et des écrans usagés mexicains, en quantités moyennes exportées (en tonnes métriques) et avec une fourchette de seuils obtenus en fonction de chaque méthode

Classement en fonction du poids moyen des exportations	Pays destinataire	Méthode appliquée aux exportations : NVEM (incertitude moyenne)		Méthode appliquée aux exportations : doc. publiée (incertitude moyenne)	
1	États-Unis	23 555	+42 243 / -16 917	12 390	+38 069 / -9 299
2	Pays-Bas	1,707	+1 194 / -883	1,707	+1 194 / -883
3	Colombie	270	+897 / -208	710	+2 191 / -645
4	Canada	496	+895 / -393	137	+1 192 / -136
5	Venezuela	275	+495 / -217	293	+1 226 / -293
6	Hong Kong	255	+330 / -170	255	+330 / -170
7	Singapour	200	+147 / -107	200	+147 / -107
8	Chili	104	+216 / -73	242	+947 / -219
9	Chine	149	+139 / -88	149	+139 / -88
10	Pérou	120	+212 / -89	172	+826 / -144
11	Inde	139	+120 / -72	139	+120 / -72
12	Argentine	25	+31 / -14	182	+225 / -172
13	Australie	85	+59 / -44	85	+59 / -44
14	Brésil	108	+195 / -86	59	+197 / -50
15	Équateur	22	+58 / -17	53	+136 / -44
16	Costa Rica	28	+47 / -22	27	+195 / -23
17	Surinam	24	+17 / -12	24	+17 / -12
18	Corée du Sud	22	+16 / -11	22	+16 / -11
19	Japon	21	+15 / -11	21	+15 / -11
20	Indonésie	21	+15 / -11	21	+15 / -11
21	Nouvelle-Zélande	21	+15 / -11	21	+15 / -11
22	Guatemala	12	+28 / -10	12	+28 / -10
23	Paraguay	12	+23 / -10	12	+25 / -10
24	Taiwan	12	+9 / -6	12	+9 / -6
25	Roumanie	11	+9 / -6	11	+9 / -6
26	Cuba	9	+14 / -7	8	+12 / -6
27	Espagne	8	+14 / -6	8	+14 / -6

Note : Tous les autres pays ont reçu moins de 500 unités d'ordinateurs et d'écrans usagés. On sait que plusieurs pays destinataires réexportent couramment des produits à l'échelle régionale, notamment Hong Kong, les Émirats arabes unis et le Liban, et qu'ils ne constituent probablement pas des destinations finales.

Méthode du bilan massique

Tableau 31 : Quantités d'ordinateurs et d'écrans générés, collectés et exportés au Mexique en 2010, en moyenne et avec les limites minimales et maximales de l'intervalle de confiance de 95 % (en milliers d'unités)

Produit		Résidentiel			Public et privé			Total		
		Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.
Ordinateurs de bureau	Générés	155	117	192	392	228	558	547	345	750
	Collectés	143	102	185	378	208	551	521	309	736
	Exportés							107	3	262
Ordinateurs portables	Générés	155	117	192	300	174	427	455	291	619
	Collectés	131	87	178	297	170	425	428	257	603
	Exportés							208	59	365
Ordinateurs	Générés	309	234	385	692	402	984	1 001	636	1 369
	Collectés	274	189	363	675	378	976	948	567	1 340
	Exportés							315	62	627
Écrans cathodiques	Générés	369	278	459	294	171	418	663	449	877
	Collectés	285	175	409	271	138	407	556	313	816
	Exportés							197	41	360
Écrans plats	Générés	83	63	104	76	44	108	159	107	211
	Collectés	59	33	89	67	32	104	127	65	193
	Exportés							18	0	57
Ordinateurs	Générés	452	341	562	370	215	526	822	556	1 088
	Collectés	345	208	498	338	170	511	683	378	1 009
	Exportés							215	41	416

Tableau 32 : Quantification des flux mexicains, en milliers d'unités, en appliquant la méthode du bilan massique

Produit	Produit	Scénario de l'utilisation finale prévue			Scénario de la diminution de la réutilisation			Scénario de l'accroissement des exportations		
		Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.
Ordinateurs de bureau	FFR	1 819	1 374	2 265	1 819	1 374	2 265	1 819	1 374	2 265
	FFPuPr	1 643	957	2 343	1 643	957	2 343	1 643	957	2 343
	FRI	155	117	192	155	117	192	155	117	192
	FPuPrL	391	228	558	391	228	558	391	228	558
	FIR	297	225	370	297	225	370	297	225	370
	FIPuPr	23	14	33	23	14	33	23	14	33
	FIRc	92	58	127	198	109	304	29	18	50
	FRR	24	18	30	39	29	61	7	5	10
	FPuPrR	69	40	98	159	80	244	22	13	39
	FIL	26	17	35	21	14	28	26	17	35
	FRL	12	9	15	10	7	12	12	9	15
	FPuPrL	14	8	20	11	7	16	14	8	20
	FIMI	0	0	0	0	20	0	14	43	0
	FIEx	106	31	184	6	3	14	184	114	262
Ordinateurs portables	FFR	2 878	2 174	3 582	2 878	2 174	3 582	2 878	2 174	3 582
	FFPuPr	635	370	905	635	370	905	635	370	905
	FRI	155	117	192	155	117	192	155	117	192
	FPuPrL	299	174	427	299	174	427	299	174	427
	FIR	131	99	163	131	99	163	131	99	163
	FIPuPr	10	6	14	10	6	14	10	6	14
	FIRc	80	53	106	175	112	239	34	24	43
	FRR	40	31	50	58	44	73	25	19	31
	FPuPrR	39	23	56	117	68	166	9	5	12
	FIL	27	20	34	21	16	27	27	20	34
	FRL	24	18	30	19	14	24	24	18	30
	FPuPrL	3	2	4	2	1	3	3	2	4
	FIMI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	FIEx	207	114	302	117	59	176	253	143	365

Tableau 32 (suite)

Produit	Produit	Scénario de l'utilisation finale prévue			Scénario de la diminution de la réutilisation			Scénario de l'accroissement des exportations		
		Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.
Écrans cathodiques	FFR	321	243	400	321	243	400	321	243	400
	FFPuPr	147	86	210	147	86	210	147	86	210
	FRI	369	278	459	369	278	459	369	278	459
	FPuPrI	293	171	418	293	171	418	293	171	418
	FIR	250	189	311	250	189	311	250	189	311
	FIPuPr	3	1	4	3	1	4	3	1	4
	FIRc	107	71	143	238	157	319	50	33	67
	FRR	52	40	65	108	82	135	25	19	31
	FPuPrR	55	32	78	129	75	184	25	14	35
	FIL	106	76	136	85	61	109	106	76	136
	FRL	83	63	104	67	50	83	83	63	104
	FPuPrL	23	13	33	18	11	26	23	13	33
	FIMI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	FIEx	196	111	283	87	41	134	254	150	360
Écrans plats	FFR	1 498	1 132	1 865	1 498	1 132	1 865	1 498	1 132	1 865
	FFPuPr	755	440	1 077	755	440	1 077	755	440	1 077
	FRI	83	63	104	83	63	104	83	63	104
	FPuPrI	75	44	108	75	44	108	75	44	108
	FIR	71	54	89	71	54	89	71	54	89
	FIPuPr	18	10	25	18	10	25	18	10	25
	FIRc	20	12	27	44	28	64	5	3	7
	FRR	6	4	7	17	13	21	0	0	0
	FPuPrR	14	8	20	27	15	42	5	3	7
	FIL	32	23	42	26	18	33	32	23	42
	FRL	24	18	30	19	14	24	24	18	30
	FPuPrL	8	5	12	7	4	10	8	5	12
	FIMI	0	0	0	0	4	0	9	10	8
	FIEx	18	7	28	0	0	0	42	27	57

Note : Les abréviations des flux renvoient à la figure 7, qui illustre l'analyse des flux de matériel exportés par un pays.

Les flux sont ceux des fabricants (F) vers les utilisateurs du secteur résidentiel (R) et des secteurs public et privé (PuPr), ainsi que vers les intermédiaires (I). Ces derniers collectent aussi les importations (Im) et les réexpédient aux fins de leur réutilisation par les utilisateurs du secteur résidentiel (R) et des secteurs public et privé (PuPr), les dirigent vers des lieux d'enfouissement ou des incinérateurs (L), les vendent à l'échelle nationale aux fins du recyclage des pièces et des matières (R) ou les exportent à l'étranger (Ex). Le cheminement du processus se fait d'un indice à un autre. Par exemple, F_{RI} illustre les flux de produits électroniques du secteur résidentiel (R) vers les intermédiaires (I), et F_{IR} illustre les flux de produits électroniques des intermédiaires (I) vers le secteur résidentiel (R).

Tableau 33 : Poids des ordinateurs et des écrans générés, collectés et exportés au Mexique en 2010, en moyenne et avec les limites minimales et maximales de l'intervalle de confiance de 95 % (en tonnes métriques)

Produit		Résidentiel			Public et privé			Total		
		Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.
Ordinateurs de bureau	Générés	1 641	598	3 469	4 163	1 167	10 057	5 803	1 765	13 526
	Collectés	1 514	522	3 340	4 011	1 063	9 937	5 525	1 585	13 277
	Exportés							1 139	18	4 723
Ordinateurs portables	Générés	477	147	1 314	925	219	2 914	1 401	366	4 228
	Collectés	403	110	1 216	916	214	2 904	1 319	323	4 120
	Exportés							640	74	2 495
Ordinateurs	Générés	2 117	745	4 784	5 088	1 386	12 971	7 205	2 130	17 754
	Collectés	1 918	632	4 556	4 927	1 276	12 841	6 844	1 908	17 397
	Exportés							1 779	92	7 218
Écrans cathodiques	Générés	5 768	2 881	10 338	4 600	1 767	9 419	10 368	4 648	19 757
	Collectés	4 465	1 809	9 205	4 241	1 429	9 178	8 706	3 238	18 383
	Exportés							3 081	425	8 103
Écrans plats	Générés	1 023	160	3 575	930	112	3 712	1 952	272	7 287
	Collectés	731	85	3 079	826	81	3 577	1 557	166	6 656
	Exportés							219	0	1 950
Écrans	Générés	6 791	3 041	13 913	5 529	1 879	13 131	12 320	4 920	27 044
	Collectés	5 196	1 894	12 284	5 067	1 511	12 756	10 263	3 404	25 039
	Exportés							3 300	425	10 053

Aux États-Unis

Méthode hybride de collecte de données sur l'obsolescence des produits commerciaux

Tableau 34 : Quantités d'ordinateurs et d'écrans générés, collectés et exportés aux États-Unis en 2010, en moyenne et avec les limites minimales et maximales de l'intervalle de confiance de 95 % (en milliers d'unités)

Produit		Résidentiel			Public et privé			Total		
		Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.
Ordinateurs de bureau	Générés	14 385	12 823	16 049	8 219	7 501	8 938	22 604	20 773	24 481
	Collectés	10 181	8 322	12 249	6 473	4 698	8 404	16 654	13 821	19 584
	Exportés (NVEM)							331	319	344
	Exportés (doc. pub.)							226	101	351
Ordinateurs portables	Générés	3 728	2 203	5 627	3 570	3 258	3 883	7 298	5 731	9 233
	Collectés	2 727	1 575	4 243	2 790	2 005	3 645	5 517	4 013	7 252
	Exportés (NVEM)							871	865	878
	Exportés (doc. pub.)							896	748	1 044
Ordinateurs	Générés	18 113	15 673	20 843	11 789	10 759	12 821	29 902	27 145	32 878
	Collectés	12 908	10 346	15 817	9 263	6 703	12 049	22 171	18 237	26 301
	Exportés (NVEM)							1 203	1 184	1 222
	Exportés (doc. pub.)							1 122	849	1 395
Écrans cathodiques	Générés	7 485	4 631	11 188	3 264	2 979	3 550	10 750	7 872	14 446
	Collectés	5 122	3 081	7 864	2 896	2 454	3 369	8 018	5 897	10 782
	Exportés (NVEM)							288	288	288
	Exportés (doc. pub.)							343	343	343
Écrans plats	Générés	2 953	1 690	4 596	3 968	3 622	4 316	6 921	5 571	8 602
	Collectés	2 020	1 115	3 224	2 730	1 554	4 009	4 750	3 101	6 536
	Exportés (NVEM)							553	527	579
	Exportés (doc. pub.)							436	23	848
Écrans	Générés	10 439	7 007	14 615	7 232	6 601	7 865	17 671	14 171	21 910
	Collectés	7 142	4 629	10 397	5 626	4 035	7 359	12 768	9 523	16 421
	Exportés (NVEM)							841	815	867
	Exportés (doc. pub.)							779	367	1 192

Tableau 35 : Poids des ordinateurs et des écrans générés, collectés et exportés aux États-Unis en 2010, en moyenne et avec les limites minimales et maximales de l'intervalle de confiance de 95 % (en tonnes métriques)

Produit		Résidentiel			Public et privé			Total		
		Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.
Ordinateurs de bureau	Générés	152 660	65 660	289 377	87 224	38 409	161 160	239 884	106 367	441 413
	Collectés	108 046	42 612	220 860	68 695	24 056	151 531	176 740	70 770	353 116
	Exportés (NVEM)							3 515	1 633	6 194
	Exportés (doc. pub.)							2 396	516	6 327
Ordinateurs portables	Générés	11 493	2 769	38 437	11 006	4 095	26 524	22 499	7 203	63 068
	Collectés	8 407	1 979	28 983	8 601	2 520	24 898	17 008	5 043	49 537
	Exportés (NVEM)							2 687	1 087	5 999
	Exportés (doc. pub.)							2 763	940	7 132
Ordinateurs	Générés	164 153	68 428	327 814	98 230	42 503	187 683	262 383	113 570	504 481
	Collectés	116 453	44 592	249 843	77 296	26 576	176 429	193 748	75 813	402 653
	Exportés (NVEM)							6 202	2 720	12 193
	Exportés (doc. pub.)							5 159	1 456	13 458
Écrans cathodiques	Générés	117 114	47 913	252 077	51 070	30 821	79 985	168 200	81 444	325 483
	Collectés	80 141	31 876	177 184	45 312	25 389	75 907	125 454	61 011	242 929
	Exportés (NVEM)							4 506	2 980	6 489
	Exportés (doc. pub.)							5 374	3 554	7 739
Écrans plats	Générés	36 285	4 305	158 583	48 757	9 226	148 922	85 042	14 191	296 809
	Collectés	24 821	2 840	111 243	33 545	3 958	138 329	58 366	7 899	225 522
	Exportés (NVEM)							6 796	1 343	19 971
	Exportés (doc. pub.)							5 355	60	29 264
Écrans	Générés	153 399	52 218	410 660	99 827	40 047	228 907	253 242	95 635	622 291
	Collectés	104 962	34 716	288 427	78 857	29 348	214 236	183 819	68 910	468 451
	Exportés (NVEM)							11 302	4 323	26 460
	Exportés (doc. pub.)							10 729	3 614	37 003

Tableau 36 : Les 100 principaux pays destinataires des ordinateurs et des écrans usagés américains

Classement en fonction de la quantité moyenne exportée	Pays destinataire	Moyenne et fourchette des exportations (NVEM)	Moyenne et fourchette des exportations (doc. publiée)
1	Mexique	273,8 ± 3,4	312,4 ± 239,4
2	Canada	229,1 ± 2,4	180,1 ± 63,9
3	Hong Kong	90,8 ± 1	161,8 ± 69,7
4	Émirats arabes unis	79,7 ± 3	118,9 ± 13,3
5	Liban	114,3 ± 0	83,2 ± 23,4
6	Argentine	87,2 ± 0,3	81,3 ± 6,3
7	Chili	74,5 ± 0,1	69,7 ± 7,1
8	Colombie	79,2 ± 1,8	57,8 ± 25,3
9	Italie	89,8 ± 0	46,5 ± 43,7
10	Bolivie	68,5 ± 0,5	65,4 ± 5,4
11	Chine	65,9 ± 1,6	61,2 ± 5,7
12	Royaume-Uni	61,5 ± 0,3	60,2 ± 3,3
13	Venezuela	71,9 ± 0	46,0 ± 26,3
14	Équateur	51,6 ± 1,5	39,8 ± 13,8
15	Brésil	44,6 ± 0,9	35,4 ± 13,9
16	Pérou	39,3 ± 0	27,7 ± 13,3
17	France	28,4 ± 0	28,5 ± 0,9
18	Israël	34,1 ± 0,2	19,9 ± 13,8
19	Allemagne	23,4 ± 0,3	24,7 ± 4
20	Pays-Bas	26,0 ± 0,1	20,5 ± 5,9
21	Égypte	22,7 ± 0,4	22,2 ± 0,5
22	Paraguay	23,5 ± 0,7	17,0 ± 8,2
23	Pakistan	15,9 ± 0,9	15,6 ± 1,3
24	Guatemala	18,3 ± 1,7	12,9 ± 7,1
25	République dominicaine	18,0 ± 0	13,0 ± 5,3
26	Taiwan	16,7 ± 1,2	12,5 ± 6,9
27	Singapour	12,5 ± 0,1	16,1 ± 4,1
28	Uruguay	14,5 ± 0,8	11,4 ± 4,3
29	Irlande	14,3 ± 0,2	11,6 ± 3
30	Costa Rica	15,0 ± 0,1	9,6 ± 6,3
31	Kenya	11,4 ± 0	11,7 ± 0,1
32	Russie	11,5 ± 0,1	10,8 ± 0
33	El Salvador	12,8 ± 0,2	9,5 ± 3,9
34	Australie	10,7 ± 1	9,6 ± 2,4
35	Malaisie	12,9 ± 0,8	7,3 ± 2,9
36	Ghana	10,0 ± 1,1	9,3 ± 1,6
37	Japon	8,9 ± 2	9,1 ± 2,4
38	Nigéria	7,6 ± 0,8	6,7 ± 0,9
39	Inde	6,5 ± 0,1	7,0 ± 0,3
40	Corée du Sud	6,5 ± 0,6	6,2 ± 1,1
41	Philippines	6,1 ± 0,1	6,4 ± 0,3
42	Barbade	5,9 ± 0,2	6,0 ± 0,2
43	Honduras	9,4 ± 0,8	2,5 ± 1,7
44	Arabie saoudite	5,0 ± 0,7	6,3 ± 0
45	Koweït	5,5 ± 0,2	5,6 ± 0,2
46	Trinité-et-Tobago	5,4 ± 3,4	5,3 ± 3,6
47	Afghanistan	5,2 ± 1,9	5,2 ± 1,7
48	Panama	5,9 ± 1,3	4,1 ± 3,2
49	Jordanie	5,3 ± 0,1	4,6 ± 0,7
50	Thaïlande	4,8 ± 0,1	4,8 ± 0,1

Tableau 36 (suite)

Classement en fonction de la quantité moyenne exportée	Pays destinataire	Moyenne et fourchette des exportations (NVEM)	Moyenne et fourchette des exportations (doc. publiée)
51	Maroc	4,8 ± 0,2	4,6 ± 0,4
52	Bermudes	3,8 ± 0,4	3,9 ± 0,4
53	Jamaïque	3,7 ± 0	3,0 ± 1
54	Finlande	3,2 ± 0,2	3,1 ± 0,3
55	Vietnam	3,1 ± 0	3,1 ± 0
56	Afrique du Sud	3,1 ± 0,3	2,6 ± 0,8
57	Tanzanie	1,9 ± 0	3,6 ± 0
58	Pologne	2,8 ± 0	2,7 ± 0,1
59	Ukraine	2,5 ± 0,1	2,5 ± 0,1
60	Norvège	2,4 ± 0,3	2,6 ± 0,3
61	Antilles néerlandaises	2,5 ± 0,6	2,5 ± 0,9
62	Belgique	2,3 ± 0	2,7 ± 0,3
63	Espagne	2,5 ± 0	2,3 ± 0,3
64	Danemark	2,0 ± 0	2,1 ± 0,1
65	Mozambique	1,7 ± 0	2,1 ± 0,1
66	Bahamas	2,0 ± 0	1,7 ± 0,2
67	Nicaragua	1,8 ± 0,2	1,5 ± 0,6
68	Hongrie	1,9 ± 0	1,4 ± 0,6
69	Suède	1,7 ± 0	1,3 ± 0,5
70	République tchèque	1,1 ± 0	1,3 ± 0,1
71	Qatar	1,1 ± 0	1,2 ± 0
72	Aruba	1,0 ± 0,5	1,0 ± 0,5
73	Autriche	1,1 ± 0	0,9 ± 0,2
74	Angola	0,9 ± 0,6	1,0 ± 0,6
75	Turquie	0,9 ± 0,1	1,0 ± 0,1
76	Bénin	0,9 ± 0	0,9 ± 0
77	Haïti	0,8 ± 0,3	0,8 ± 0,3
78	Suisse	0,5 ± 0	1,0 ± 0,3
79	Surinam	0,8 ± 0	0,7 ± 0,2
80	Nouvelle-Zélande	0,7 ± 0,1	0,6 ± 0,1
81	Guyane	0,7 ± 0	0,6 ± 0,5
82	Sri Lanka	0,7 ± 0	0,7 ± 0
83	Bulgarie	0,6 ± 0	0,6 ± 0
84	Rwanda	0,6 ± 0	0,6 ± 0
85	Madagascar	0,5 ± 0	0,6 ± 0,1
86	Tchad	0,6 ± 0	0,6 ± 0
87	Algérie	0,6 ± 0	0,6 ± 0
88	Sénégal	0,6 ± 0	0,5 ± 0
89	Bangladesh	0,5 ± 0	0,5 ± 0
90	Gabon	0,5 ± 0	0,5 ± 0
91	Monténégro	0,5 ± 0	0,5 ± 0
92	Îles Caïmans	0,5 ± 0,2	0,5 ± 0,2
93	Sainte-Lucie	0,6 ± 0	0,4 ± 0,3
94	Népal	0,5 ± 0	0,5 ± 0
95	Belize	0,5 ± 0	0,5 ± 0,1
96	Maldives	0,6 ± 0	0,4 ± 0,1
97	Saint-Vincent-et-les-Grenadines	0,5 ± 0	0,5 ± 0,1
98	Djibouti	0,5 ± 0	0,5 ± 0
99	Dominique	0,5 ± 0	0,4 ± 0,1
100	Sierra Leone	0,5 ± 0	0,4 ± 0

Tableau 37 : Les 90 principaux pays destinataires des ordinateurs et des écrans usagés américains

Classement en fonction du poids moyen des exportations	Pays destinataire	Méthode appliquée aux exportations : NVEM (incertitude moyenne)		Méthode appliquée aux exportations : doc. publiée (incertitude moyenne)	
1	Mexique	3 088	+7 042 / -2 192	3 655	+13 454 / -3 158
2	Canada	2 250	+2 743 / -1 087	2 003	+2 377 / -1 141
3	Colombie	967	+1 936 / -612	706	+1 641 / -458
4	Venezuela	940	+1 955 / -623	622	+1 657 / -436
5	Italie	952	+1 154 / -489	493	+1 130 / -475
6	Chine	611	+731 / -262	606	+482 / -261
7	Équateur	674	+1 152 / -375	534	+925 / -292
8	Hong Kong	463	+859 / -286	648	+1 377 / -478
9	Brésil	521	+983 / -325	434	+832 / -266
10	Émirats arabes unis	353	+622 / -204	484	+646 / -294
11	Argentine	405	+769 / -251	336	+586 / -219
12	Chili	388	+780 / -249	320	+616 / -210
13	Pérou	394	+908 / -285	256	+809 / -205
14	Bolivie	333	+678 / -214	287	+522 / -188
15	Royaume-Uni	313	+531 / -178	305	+403 / -172
16	Liban	356	+644 / -211	261	+477 / -184
17	Israël	340	+616 / -214	187	+553 / -171
18	Égypte	247	+234 / -95	246	+138 / -94
19	Paraguay	268	+524 / -170	189	+444 / -132
20	Taiwan	206	+472 / -139	155	+432 / -113
21	Pays-Bas	189	+304 / -104	156	+246 / -89
22	France	154	+204 / -74	164	+143 / -78
23	Costa Rica	185	+434 / -135	122	+381 / -94
24	Guatemala	184	+487 / -144	117	+410 / -106
25	Allemagne	137	+201 / -71	162	+269 / -99
26	Irlande	157	+229 / -88	127	+173 / -81
27	Uruguay	155	+365 / -113	119	+296 / -92
28	République dominicaine	162	+322 / -105	110	+275 / -80
29	Australie	121	+158 / -58	116	+119 / -60
30	Singapour	93	+128 / -47	110	+136 / -59
31	Japon	95	+216 / -56	107	+166 / -60
32	El Salvador	112	+254 / -79	71	+219 / -59
33	Koweït	82	+77 / -30	84	+50 / -31
34	Pakistan	76	+116 / -39	78	+80 / -40
35	Malaisie	73	+140 / -41	76	+136 / -46
36	Philippines	70	+70 / -27	73	+50 / -30
37	Trinité-et-Tobago	63	+250 / -49	65	+202 / -50
38	Corée du Sud	61	+97 / -29	64	+71 / -30
39	Thaïlande	60	+65 / -26	61	+39 / -26
40	Inde	55	+76 / -27	64	+56 / -30
41	Panama	69	+192 / -52	48	+164 / -39
42	Bermudes	57	+64 / -23	58	+42 / -23
43	Afghanistan	48	+131 / -32	52	+99 / -33
44	Russie	45	+72 / -25	48	+46 / -25
45	Nigeria	47	+88 / -27	46	+59 / -26

Tableau 37 (suite)

Classement en fonction du poids moyen des exportations	Pays destinataire	Méthode appliquée aux exportations : NVEM (incertitude moyenne)	Méthode appliquée aux exportations : doc. publiée (incertitude moyenne)
46	Arabie saoudite	41 +52 / -19	50 +34 / -22
47	Ghana	45 +120 / -31	44 +90 / -31
48	Maroc	44 +50 / -19	45 +32 / -20
49	Honduras	59 +138 / -42	26 +89 / -21
50	Kenya	39 +68 / -22	40 +47 / -23
51	Jamaïque	39 +80 / -26	32 +68 / -20
52	Pologne	34 +34 / -13	33 +21 / -13
53	Norvège	28 +42 / -13	32 +31 / -14
54	Belgique	24 +25 / -10	29 +23 / -13
55	Afrique du Sud	27 +40 / -14	26 +27 / -14
56	Barbade	23 +46 / -14	25 +33 / -15
57	Antilles néerlandaises	22 +55 / -14	26 +43 / -16
58	Bahamas	25 +37 / -13	22 +25 / -12
59	Vietnam	19 +23 / -9	21 +15 / -9
60	Nicaragua	22 +53 / -15	18 +44 / -12
61	Jordanie	20 +35 / -11	18 +26 / -11
62	Finlande	18 +30 / -10	17 +20 / -10
63	Espagne	17 +20 / -8	17 +14 / -8
64	Mozambique	15 +37 / -11	17 +27 / -12
65	Qatar	14 +25 / -9	15 +18 / -9
66	Hongrie	17 +21 / -9	11 +19 / -8
67	Suède	14 +27 / -9	11 +22 / -7
68	République tchèque	10 +12 / -5	15 +10 / -6
69	Haïti	11 +23 / -6	12 +17 / -6
70	Tanzanie	8 +13 / -4	14 +15 / -8
71	Angola	10 +25 / -8	11 +17 / -8
72	Aruba	10 +39 / -9	10 +30 / -9
73	Suisse	7 +7 / -3	13 +23 / -8
74	Surinam	9 +16 / -5	9 +13 / -5
75	Autriche	9 +10 / -4	9 +8 / -4
76	Danemark	8 +14 / -5	9 +13 / -6
77	Guyana	9 +23 / -7	7 +23 / -6
78	Ukraine	8 +15 / -5	8 +10 / -5
79	Nouvelle-Zélande	7 +10 / -3	7 +7 / -3
80	Saint-Vincent-et-les-Grenadines	6 +6 / -2	7 +6 / -3
81	Djibouti	6 +5 / -2	6 +3 / -2
82	Sainte-Lucie	7 +17 / -5	5 +17 / -5
83	Turquie	6 +9 / -3	7 +7 / -4
84	Sri Lanka	6 +7 / -3	6 +4 / -3
85	Algérie	6 +7 / -3	6 +4 / -3
86	Iraq	6 +5 / -2	6 +3 / -2
87	Cambodge	6 +5 / -2	6 +3 / -2
88	Monténégro	6 +7 / -3	6 +4 / -3
89	Dominique	6 +5 / -2	5 +4 / -2
90	Îles Caïmans	5 +17 / -4	6 +13 / -4

Méthode du bilan massique

Tableau 38 : Quantités d'ordinateurs et d'écrans générés, collectés et exportés aux États-Unis en 2010, en moyenne et avec les limites minimales et maximales de l'intervalle de confiance de 95 % (en milliers d'unités)

Produit		Résidentiel			Public et privé			Total		
		Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.
Ordinateurs de bureau	Générés	5 725	5 027	6 423	10 704	9 722	11 690	16 429	14 749	18 113
	Collectés	4 763	3 948	5 747	7 636	6 371	9 461	12 399	10 319	15 209
	Exportés							4 746	2 489	7 102
Ordinateurs portables	Générés	2 702	2 373	3 032	6 531	6 531	6 531	9 233	8 904	9 563
	Collectés	2 427	2 064	2 839	5 090	5 090	5 379	7 518	7 155	8 217
	Exportés							2 247	855	3 260
Ordinateurs	Générés	8 427	7 400	9 455	17 235	16 253	18 221	25 662	23 653	27 676
	Collectés	7 191	6 013	8 586	12 726	11 462	14 840	19 917	17 474	23 426
	Exportés							6 992	3 344	10 362
Écrans cathodiques	Générés	3 298	2 896	3 700	7 465	6 780	8 153	10 763	9 676	11 853
	Collectés	2 885	2 433	3 410	6 985	6 256	7 804	9 871	8 689	11 215
	Exportés							5 622	3 497	7 585
Écrans plats	Générés	1 237	1 086	1 387	4 494	4 082	4 908	5 730	5 167	6 295
	Collectés	824	623	1 098	2 086	1 452	3 159	2 911	2 075	4 256
	Exportés							47	43	1 008
Écrans	Générés	4 534	3 981	5 087	11 959	10 862	13 061	16 493	14 843	18 148
	Collectés	3 710	3 057	4 508	9 072	7 708	10 963	12 782	10 765	15 471
	Exportés							5 669	3 540	8 593

Tableau 39 : Quantification des flux américains, en milliers d'unités, en appliquant la méthode du bilan massique

Produit	Flux	Scénario de l'utilisation finale prévue			Scénario de la diminution de la réutilisation			Scénario de l'accroissement des exportations		
		Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.
Ordinateurs de bureau	FFR	6 962	6 113	7 811	6 962	6 113	7 811	6 962	6 113	7 811
	FFPuPr	16 236	14 753	17 740	16 236	14 753	17 740	16 236	14 753	17 740
	FRI	5 725	5 027	6 423	5 725	5 027	6 423	5 725	5 027	6 423
	FPuPrI	10 699	9 722	11 690	10 699	9 722	11 690	10 699	9 722	11 690
	FIR	1 374	1 207	1 542	1 374	1 207	1 542	1 374	1 207	1 542
	FIPuPr	905	823	989	905	823	989	905	823	989
	FIRc	5 373	4 803	5 946	8 179	7 326	9 037	3 658	3 267	4 051
	FRR	2 592	2 276	2 908	3 435	3 016	3 854	1 860	1 633	2 086
	FPuPrR	2 781	2 526	3 038	4 744	4 310	5 183	1 798	1 634	1 965
	FIL	4 028	3 631	4 430	3 223	2 905	3 544	4 028	3 631	4 430
	FRL	962	845	1 079	769	676	863	962	845	1 079
	FPuPrL	3 067	2 786	3 351	2 453	2 229	2 680	3 067	2 786	3 351
	FIMI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	FIEEx	4 744	4 286	5 207	2 744	2 489	3 002	6 459	5 822	7 102
Ordinateurs portables	FFR	14 519	12 749	16 289	14 519	12 749	16 289	14 519	12 749	16 289
	FFPuPr	9 554	9 554	9 554	9 554	9 554	9 554	9 554	9 554	9 554
	FRI	2 702	2 373	3 032	2 702	2 373	3 032	2 702	2 373	3 032
	FPuPrI	6 531	6 531	6 531	6 531	6 531	6 531	6 531	6 531	6 531
	FIR	2 153	1 890	2 415	2 153	1 890	2 415	2 153	1 890	2 415
	FIPuPr	603	603	603	603	603	603	603	603	603
	FIRc	2 515	2 364	2 667	4 096	3 903	4 290	1 578	1 469	1 688
	FRR	1 241	1 090	1 393	1 589	1 396	1 783	898	788	1 007
	FPuPrR	1 274	1 274	1 274	2 507	2 507	2 507	681	681	681
	FIL	1 715	1 682	1 749	1 372	1 346	1 399	1 715	1 682	1 749
	FRL	275	241	308	220	193	247	275	241	308
	FPuPrL	1 441	1 441	1 441	1 152	1 152	1 152	1 441	1 441	1 441
	FIMI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	FIEEx	2 247	2 364	2 129	1 009	1 162	855	3 184	3 260	3 108

Tableau 39 (suite)

Produit	Flux	Scénario de l'utilisation finale prévue			Scénario de la diminution de la réutilisation			Scénario de l'accroissement des exportations		
		Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.
Écrans cathodiques	FFR	275	241	308	275	241	308	275	241	308
	FFPuPr	1 206	1 096	1 317	1 206	1 096	1 317	1 206	1 096	1 317
	FRI	3 298	2 896	3 700	3 298	2 896	3 700	3 298	2 896	3 700
	FPuPrI	7 462	6 780	8 153	7 462	6 780	8 153	7 462	6 780	8 153
	FIR	412	362	462	412	362	462	412	362	462
	FIPuPr	302	274	330	302	274	330	302	274	330
	FIRc	3 534	3 162	3 908	5 470	4 904	6 040	2 247	2 006	2 489
	FRR	1 608	1 412	1 804	2 162	1 898	2 425	1 154	1 013	1 295
	FPuPrR	1 926	1 750	2 105	3 308	3 006	3 615	1 093	993	1 194
	FIL	892	798	986	713	638	789	892	798	986
	FRL	412	362	462	330	290	370	412	362	462
	FPuPrL	479	436	524	384	348	419	479	436	524
	FIMI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	FEx	5 620	5 080	6 166	3 862	3 497	4 231	6 907	6 235	7 585
Écrans plats	FFR	8 244	7 239	9 249	8 244	7 239	9 249	8 244	7 239	9 249
	FFPuPr	16 827	15 290	18 385	16 827	15 290	18 385	16 827	15 290	18 385
	FRI	1 237	1 086	1 387	1 237	1 086	1 387	1 237	1 086	1 387
	FPuPrI	4 492	4 082	4 908	4 492	4 082	4 908	4 492	4 082	4 908
	FIR	1 466	1 287	1 644	1 466	1 287	1 644	1 466	1 287	1 644
	FIPuPr	1 542	1 401	1 685	1 542	1 401	1 685	1 542	1 401	1 685
	FIRc	989	888	1 090	1 812	1 632	1 993	665	597	733
	FRR	330	290	370	469	412	526	231	203	259
	FPuPrR	659	599	720	1 343	1 220	1 467	434	394	474
	FIL	2 819	2 549	3 092	2 255	2 039	2 474	2 819	2 549	3 092
	FRL	412	362	462	330	290	370	412	362	462
	FPuPrL	2 407	2 187	2 629	1 925	1 749	2 104	2 407	2 187	2 629
	FIMI	1 134	1 001	1 267	1 393	1 234	1 552	1 680	1 493	1 867
	FEx	47	43	52	47	43	52	917	827	1 008

Note : Les abréviations des flux renvoient à de la figure 7, qui illustre l'analyse des flux de matériel exportés par un pays.

Les flux sont ceux des fabricants (F) vers les utilisateurs du secteur résidentiel (R) et des secteurs public et privé (PuPr), ainsi que vers les intermédiaires (I). Ces derniers collectent aussi les importations (Im) et les réexpédient aux fins de leur réutilisation par les utilisateurs du secteur résidentiel (R) et des secteurs public et privé (PuPr), les dirigent vers des lieux d'enfouissement ou des incinérateurs (L), les vendent à l'échelle nationale aux fins du recyclage des pièces et des matières (R) ou les exportent à l'étranger (Ex). Le cheminement du processus se fait d'un indice à un autre. Par exemple, F_{RI} illustre les flux de produits électroniques du secteur résidentiel (R) vers les intermédiaires (I), et F_{IR} illustre les flux de produits électroniques des intermédiaires (I) vers le secteur résidentiel (R).

Tableau 40 : Poids des ordinateurs et des écrans générés, collectés et exportés aux États-Unis en 2010, en moyenne et avec les limites minimales et maximales de l'intervalle de confiance de 95 % (en tonnes métriques)

Produit		Résidentiel			Public et privé			Total		
		Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.
Ordinateurs de bureau	Générés	60 758	25 741	115 814	113 595	49 780	210 787	174 352	75 522	326 601
	Collectés	50 550	20 216	103 632	81 037	32 624	170 594	131 588	52 840	274 226
	Exportés							50 363	12 743	128 059
Ordinateurs portables	Générés	8 331	2 982	20 709	20 134	8 208	44 612	28 465	11 190	65 321
	Collectés	7 484	2 595	19 390	15 693	6 398	36 740	23 177	8 992	56 130
	Exportés							6 926	1 075	22 265
Ordinateurs	Générés	69 088	28 723	136 523	133 729	57 988	255 399	202 817	86 712	391 922
	Collectés	58 034	22 810	123 022	96 730	39 021	207 334	154 764	61 832	330 356
	Exportés							57 289	13 818	150 324
Écrans cathodiques	Générés	51 597	29 958	83 358	116 801	70 148	183 694	168 398	100 106	267 052
	Collectés	45 147	25 174	76 834	109 297	64 728	175 842	154 444	89 902	252 677
	Exportés							87 960	36 181	170 896
Écrans plats	Générés	15 195	2 766	47 872	55 218	10 397	169 349	70 413	13 163	217 220
	Collectés	10 130	1 588	37 880	25 635	3 699	108 988	35 765	5 287	146 868
	Exportés							579	109	34 796
Écrans	Générés	66 792	32 724	131 230	172 019	80 544	353 043	238 811	113 269	484 273
	Collectés	55 277	26 762	114 715	134 932	68 427	284 830	190 209	95 189	399 544
	Exportés							88 539	36 290	205 692



Commission de coopération environnementale

393, rue Saint Jacques Ouest, bureau 200

Montréal (Québec) Canada H2Y 1N9

Tél. : 514 350 4300; téléc. : 514 350 4314

Courriel : <info@cec.org> Site Web : <www.cec.org>