

Louvain School of Management

L'indice de réparabilité français au service de l'économie circulaire : analyse et critique.

Mémoire en vue de l'obtention du titre de

Master 60 en sciences de gestion (horaire décalé)

Auteur : Nicolas Roisin

Promotrice : Pr. Valérie Swaen

Année académique 2021-2022

Remerciements

Un travail de fin d'études ne se réalise jamais seul et il convient de remercier correctement toutes les personnes sans lesquelles ce travail n'aurait pas été possible.

Je remercie premièrement ma promotrice la Professeure Valérie Swaen pour l'encadrement, les discussions et les retours de qualité à mes questions et suggestions.

Merci à Sébastien Toussaint et l'OpenHub pour l'encadrement quotidien, les échanges sur le travail et les conseils prodigués tout au long de l'année.

Je souhaite également remercier Madame Aurora Goosens de chez FNAC-Vanden Borre pour le temps consacré aux demandes d'informations et les échanges téléphoniques.

Merci à ma fiancée Mélanie Lechien pour l'accompagnement durant les soirées et week-end de travail ainsi que la relecture de ce document.

Finalement, un travail de fin d'études n'est possible que grâce à tout l'encadrement fourni par les équipes enseignantes et le personnel administratif de l'université. Merci donc à l'ensemble des professeurs, assistants, secrétaires, etc. que j'ai eu la chance de rencontrer durant ces études.

Résumé

Les transformations que subissent nos sociétés entraînent une production et une utilisation de plus en plus importantes d'équipements électroniques. Cette augmentation a pour conséquence une génération grandissante de déchets liés à ces produits avec des impacts importants sur l'environnement. De nombreuses initiatives politiques et privées se sont développées dans différents pays afin de réduire la quantité de déchets électriques et électroniques. Au niveau européen, la directive 2012/19/UE du Parlement européen et du Conseil fixe ainsi des objectifs clairs de récolte et de revalorisation de ces déchets. Parmi les solutions de revalorisation, la réparation est celle avec l'impact environnemental le plus faible comparé à d'autres solutions comme la revalorisation énergétique ou le recyclage.

Ce travail investigate l'initiative française d'indice de réparabilité déployé le 1^e janvier 2021 qui a comme double objectif la sensibilisation à la réparation auprès des consommateurs et l'incitation à l'éco-conception chez les producteurs. Pour mener à bien l'analyse, une revue de la littérature sur les déchets électroniques, les initiatives politiques dans le formalisme de l'économie circulaire et le point de vue des consommateurs est réalisée dans la première partie du travail. La seconde partie concerne la critique de l'indice dans laquelle les scores de plus de 700 équipements électroniques (téléviseurs, smartphones et ordinateurs portables) ont été analysés. Les résultats ont ensuite été discutés et plusieurs variantes à la méthode de calcul de l'indice ont été proposées pour réduire les biais induits par le calcul utilisant une simple moyenne arithmétique. Nos résultats, corroborés à d'autres études, montrent le bien-fondé et l'impact positif de la démarche. Des améliorations possibles dans la transparence, l'application et le calcul de l'indice ont cependant été avancées afin d'augmenter l'impact de l'indice.

Table des matières

Remerciements	i
Résumé	ii
Table des matières	iii
Introduction	1
1. Revue de la littérature	3
1.1. Les déchets électroniques	3
1.2. L'économie circulaire	7
1.3. Les initiatives politiques	9
1.4. Le point de vue du consommateur	13
2. Critique de l'indice de réparabilité	16
2.1. Méthodologie d'analyse	16
2.2. L'indice de réparabilité français	17
2.3. Analyse des scores des différentes catégories de produits	23
2.4. Améliorations possibles dans la construction de l'indice	33
2.5. Discussion	36
Conclusion	39
Bibliographie	41

Introduction

Les enjeux climatiques et la confrontation aux limites terrestres nous poussent à repenser l'économie et la société de manière plus responsable et durable. Ainsi, le rapport Brundtland de la commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'ONU (1987), intitulé « Our common future », définit le développement durable comme suit :

« Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. »

Cette définition mène à deux concepts comprenant les « besoins essentiels », notamment des plus démunis à qui il convient d'être particulièrement attentif, et les « limitations » de notre monde par rapport à l'état de nos techniques et de notre organisation sociale.

L'économie circulaire, par opposition au modèle linéaire traditionnel (extraction-fabrication-utilisation-élimination), intègre ces limitations en allongeant le cycle de vie des produits tout en réduisant la quantité de déchets et les matières premières utilisées. Un plan d'action pour l'économie circulaire a ainsi été voté par le parlement européen en février 2021 dans le but d'atteindre une économie neutre en carbone, durable, non-toxique et entièrement circulaire d'ici 2050¹. Une des priorités de ce plan est notamment la réduction des déchets d'équipements électroniques et électriques. Afin d'assurer cette réduction, la réparation et le réemploi d'équipements électroniques est une des stratégies majeures pour atteindre les objectifs que s'est fixée l'Union Européenne.

L'indice de réparabilité adopté en France le 1^{er} janvier 2021 souhaite répondre à ces défis avec pour objectif la sensibilisation des consommateurs à la réparation en vue de réduire la quantité de déchets électroniques par l'extension de la durée de vie des équipements. La promotion de l'éco-conception chez les fabricants est le deuxième objectif poursuivi par l'indice grâce à la nouvelle visibilité de la réparabilité au travers de celui-ci.

Ce travail est divisé en deux parties. La première comprend le contexte et une revue de la littérature sur les déchets électroniques dans le monde et plus spécialement en Europe. Les initiatives politiques existantes sont notamment abordées et liées aux principes de l'économie circulaire. L'indice de réparabilité français est décrit et analysé dans la deuxième partie. Afin de réaliser cette analyse, les données de 216 téléviseurs, 112 smartphones et 383 ordinateurs

¹ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/ip_20_420

portables ont été récupérées au sein de la société Darty. Différentes pistes sont finalement proposées afin d'améliorer la pertinence de l'indice au regard des résultats obtenus.

1. Revue de la littérature

1.1. Les déchets électroniques

Les équipements électriques et électroniques (EEE) sont devenus indispensables et omniprésents dans notre société. Leur disponibilité et dissémination ont largement augmenté le niveau de vie de la population mondiale. Cependant, leur utilisation massive et surtout le traitement de leur fin de vie représentent maintenant un sérieux défi (Widmer, Oswald-Krapf, Sinha-Khetriwal, Schnellmann, & Böni, 2005). Le traitement classique au sein de l'économie linéaire (par opposition à l'économie circulaire) consiste à produire, utiliser, pour finalement jeter. Cette méthodologie non-durable entraîne des effets de plus en plus importants au fur et à mesure que le volume de déchets provenant de ces équipements augmente : consommation de ressources, émissions de gaz à effets de serre, dispersion de substances toxiques lors de recyclage informel, création de décharges électroniques, etc. (Van Yken, et al., 2021). La gestion des déchets provenant d'équipements électriques et électroniques (DEEE) est donc devenue un enjeu politique majeur avec des risques environnementaux et sanitaires considérables (Kallis & Butler, 2001).

D'après le rapport « The Global E-waste Monitor 2020 » (Forti, Baldé, Kuehr, & Bel, 2020), le poids total des équipements électriques et électroniques augmente chaque année de 2.5 millions de tonnes (Mt). La quantité de déchets liée à ces équipements a atteint 53.6 Mt en 2019 (soit 7.3 kg par habitant). Cela représente une augmentation de 9.2 Mt par rapport à 2014 et mène à une projection de 74.7 Mt d'ici 2030. Les causes avancées de cette augmentation sont la consommation grandissante d'EEE, leur court temps de vie et le peu de solutions pour les réparer.

L'Asie a généré la plus grande quantité de déchets électroniques en 2019, soit 24.9 Mt, suivie par les Amériques (13.1 Mt) et l'Europe (12 Mt), tandis que l'Afrique et l'Océanie ont généré respectivement 2.9 Mt et 0.7 Mt. La figure 1.1 illustre la quantité de déchets générée par chaque pays et région. Ainsi, le poids de la Chine et des U.S.A. dans la production de déchets est mis en évidence. L'Europe représente également un poids non négligeable mais réparti entre les pays.

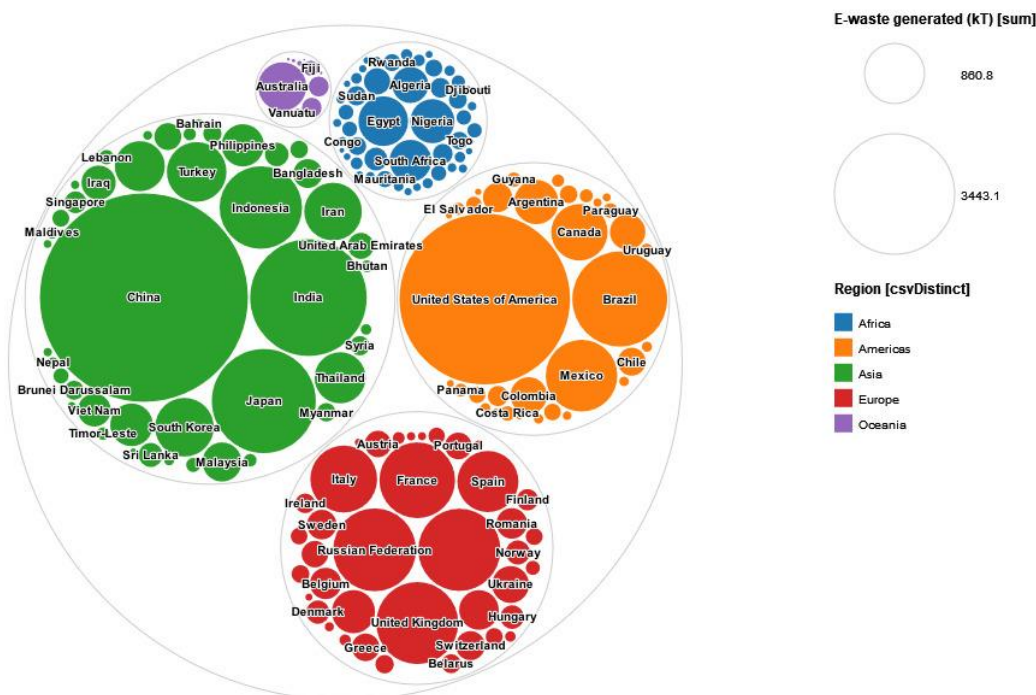


Figure 1.1 - Déchets électroniques générés par pays et région d'après les données du rapport « The Global E-waste Monitor 2020 » (Forti, Baldé, Kuehr, & Bel, 2020).

La figure 1.2 représente la génération de déchets électroniques par habitant pour les différents pays du monde en fonction du PIB. Une corrélation claire est visible entre le niveau de vie du pays et les déchets. La taille du cercle représente la quantité totale générée. On retrouve les grands consommateurs comme la Chine et les Etats-Unis. On s'aperçoit que les pays européens et d'Amérique du Nord ont tendance à avoir une quantité de déchets par habitant élevée. A l'inverse, les pays africains et asiatiques se retrouvent principalement dans le coin inférieur gauche du graphique, à l'exception de certains états comme le Japon et la Corée du Sud. La représentation de la quantité de déchets par habitant plutôt que totale permet de mettre en évidence l'impact du PIB du pays sur la quantité générée. Ainsi, la Chine qui est le premier producteur de déchets électroniques se retrouve loin derrière les pays dits « développés » comme les U.S.A., l'Allemagne, le Royaume-Uni ou encore le Japon.

Le continent européen se classe premier en termes de production de déchets électroniques par habitant, avec 16.2 kg par habitant. L'Océanie est deuxième (16.1 kg par habitant), suivie par les Amériques (13.3 kg par habitant), tandis que l'Asie et l'Afrique n'ont généré que 5.6 et 2.5 kg par habitant, respectivement.

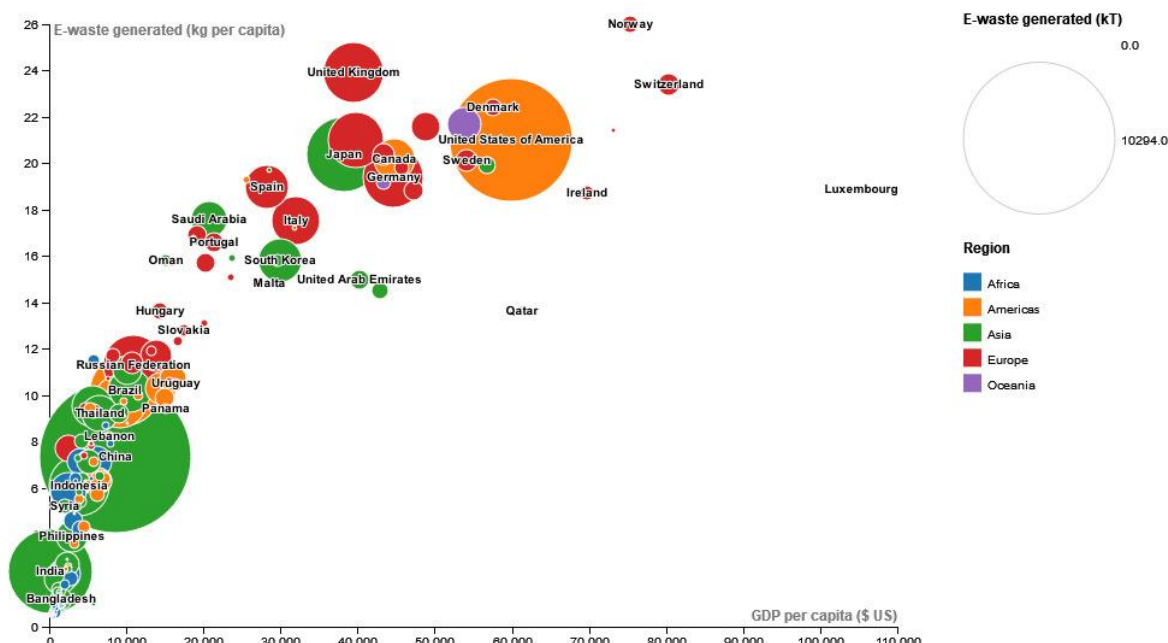


Figure 1.2 - Déchets électroniques générés en fonction du PIB d'après les données région d'après les données du rapport « The Global E-waste Monitor 2020 » (Forti, Baldé, Kuehr, & Bel, 2020).

Les déchets électroniques sont composés d'un grand nombre de matériaux différents, représentant une réserve importante à condition de savoir correctement les revaloriser. Ongondo, Williams, & Cherret (2011) classifient les matériaux présents dans les déchets électroniques en 5 catégories : les métaux ferreux, les métaux non ferreux, le verre, les plastiques et les autres matériaux. Le fer et l'acier sont les matériaux les plus courants, représentant près de la moitié du poids total des déchets. Au total, on dénombre jusqu'à 69 métaux différents (ferreux et non ferreux représentant 61% du poids total) (Forti, Baldé, Kuehr, & Bel, 2020), (Cui & Zhang, 2008) (Khaliq, Rhamdhani, Brooks, & Masood, 2014). Les plastiques représentent la deuxième catégorie la plus importante avec une proportion de 20%. (Van Yken, et al., 2021). La figure 1.3 reprend la répartition en poids des différents matériaux contenus dans les déchets électroniques. Cette figure met en évidence la quantité importante de métaux ferreux et non-ferreux, suivi par les plastiques.

La valeur de toutes les matières premières contenues dans les déchets électroniques mondiaux était estimée à environ 57 milliards de dollars américains en 2019 (Forti, Baldé, Kuehr, & Bel, 2020). La réduction des ressources en métaux primaires couplée à l'augmentation de la demande (la demande en cuivre devrait augmenter de 275 à 300 % d'ici 2050 (Cui & Forsberg, 2003)) entraînent un intérêt de plus en plus grand pour la récupération de nombreux métaux et éléments de terres rares à partir de ressources secondaires, comme les déchets électroniques (Calvo, Mudd, Valero, & Valero, 2016).

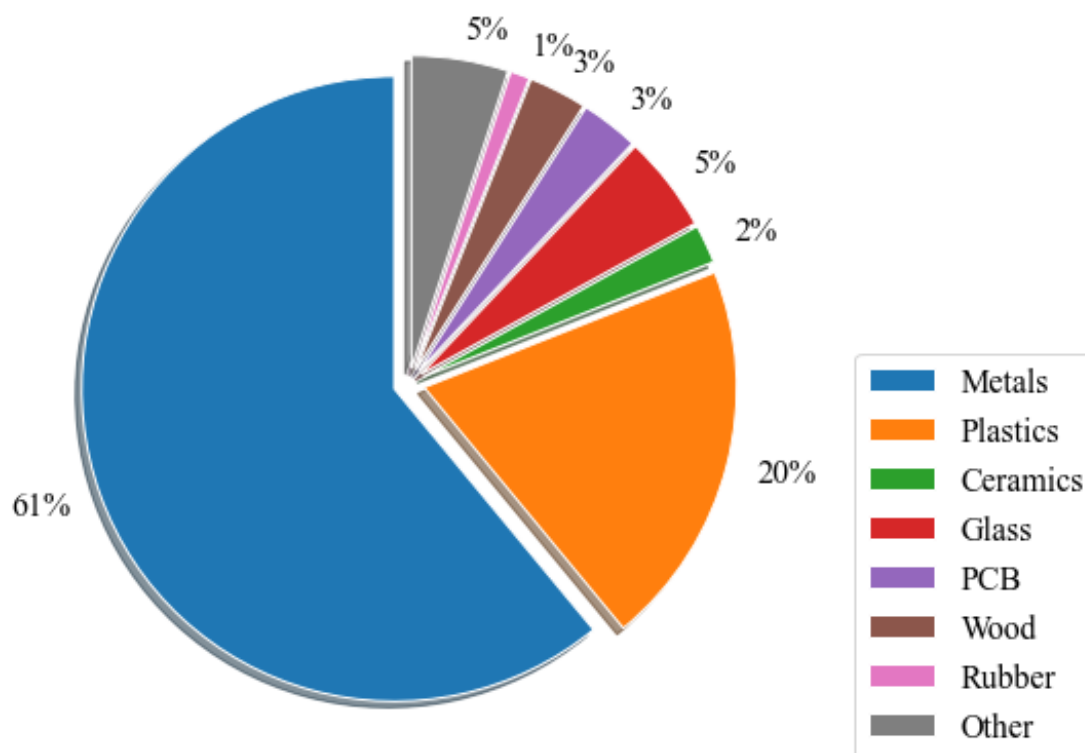


Figure 1.3 – Proportion des matériaux retrouvés au sein des déchets électroniques, adapté de (Kaya, 2018).

Une première solution possible à ces déchets est le recyclage qui permet la revalorisation en séparant les matières importantes contenues dans ceux-ci. L'un des principaux obstacles au recyclage des déchets électroniques réside dans la nature hautement hétérogène et complexe de leur composition. Ainsi, un grand nombre de matériaux différents se retrouvent mélangés en faibles quantités au sein des déchets, ce qui rend compliquée la séparation chimique et physique des matières indispensables pour une réutilisation dans de nouvelles applications. En plus de compliquer la revalorisation, l'augmentation de la complexité de la technologie entraîne des cycles de vie plus courts pour les produits et *de facto* un accroissement de la quantité de déchets. (Widmer, Oswald-Krapf, Sinha-Khetriwal, Schnellmann, & Böni, 2005).

Différentes entraves au recyclage sont avancées (Ongondo, Williams, & Cherret, 2011) (Schluep & Wasswa, 2008):

- Les faibles taux de collecte ;
- Les limites des processus de traitement chimique (conduisant dans de nombreux cas à une perte totale de matériaux importants) ;
- Les systèmes de collecte insuffisamment développés dans de nombreux pays ;
- Une culture de conservation des appareils électroniques en fin de vie qui ont une valeur financière (perçue) relativement élevée.

1.2. L'économie circulaire

La Commission Européenne définit l'économie circulaire comme « un modèle de production et de consommation qui consiste à partager, réutiliser, réparer, rénover et recycler les produits et les matériaux existants le plus longtemps possible afin qu'ils conservent leur valeur. De cette façon, le cycle de vie des produits est étendu afin de réduire l'utilisation de matières premières et la production de déchets. »²

Ainsi lorsqu'un produit arrive en fin de vie, les matériaux et ressources utilisés dans ce produit sont gardés dans le cycle économique et peuvent être réutilisés pour recréer de la valeur.

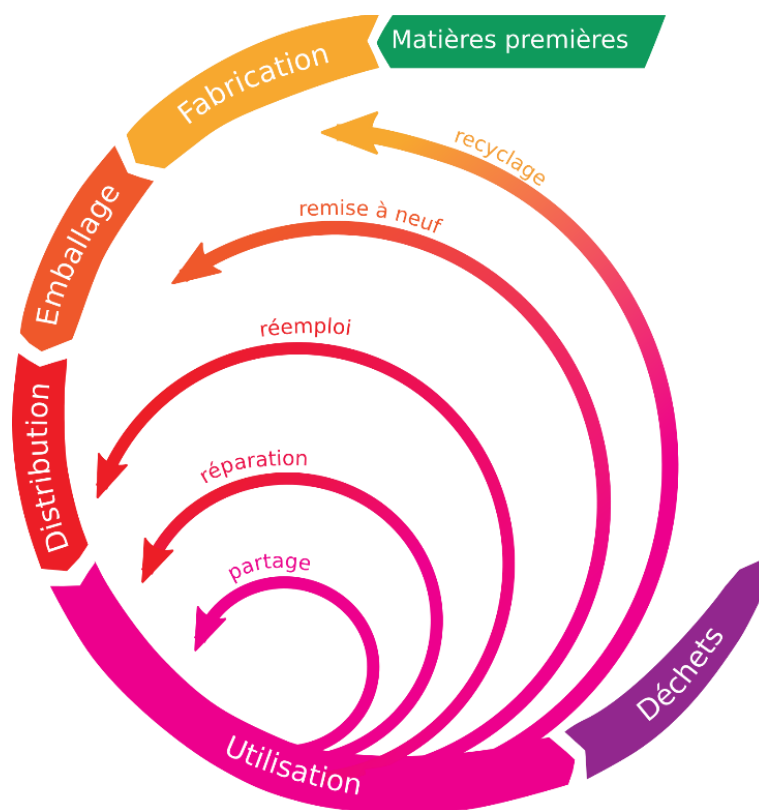


Figure 1.4 - Schéma de l'économie circulaire

(https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Economie_circulaire.png)

Au sein de l'économie circulaire, la règle des 3 R (Réduire, Réutiliser et Recycler) définit les trois types de solutions possibles afin de réduire la quantité de déchets produits. L'application correcte des 3 R peut avoir plusieurs avantages. Elle peut contribuer à prévenir les émissions de gaz à effet de serre, à réduire les polluants, à économiser l'énergie, à préserver les ressources,

² <https://www.europarl.europa.eu/news/fr/headlines/economy/20151201STO05603/economie-circulaire-definition-importance-et-benefices>

créer des emplois et à stimuler le développement de technologies vertes. (Franquesa & Navarro, 2018)

Cette règle simple indique un ordre de préférence pour ces trois dimensions :

1. Réduire : moins de déchets sont produits simplement parce que les déchets sont évités. En principe, cela inclut la réparation des produits, la réduction des emballages et des conditionnements à usage multiple, les produits à usage unique, etc.
2. Réutiliser : la réutilisation est définie comme la réaffectation d'un produit pour lequel il a été conçu, en prolongeant son cycle de vie à l'aide d'une gamme de stratégies d'extension de la durée de vie du produit, telles que la réparation, la remise à neuf et/ou la refabrication (Bovea, Ibáñez-Forés, Pérez-Belis, & Quemades-Beltrán, 2016). C'est dans cette catégorie que sont classés tous les sites et marchés d'occasion et d'échange.
3. Recyclage : démontage, fragmentation, désassemblage ou séparation des parties d'un déchet et conversion ultérieure en matériau pour un autre processus ou produit. Un produit ou un composant potentiellement réutilisable se trouvant dans le flux de déchets peut également être préparé en vue de sa réutilisation à la place d'être recyclé. Ce processus, similaire à la remise en état, doit cependant être effectué par des agents de traitement des déchets agréés.

Dans le cadre des déchets électroniques, la réutilisation des équipements électroniques défectueux est considérée comme la meilleure option de fin de vie en termes d'impact environnemental et d'avantages socio-économiques tels que des opportunités d'emploi, la réduction de la fracture numérique et de nouveaux modèles commerciaux (Clarke, Williams, & Turner, 2019) (Kissling, et al., 2013). Le coût de la simple remise à neuf de certains produits ne représentant qu'une fraction du coût environnemental de fabrication initiale (Dindarian, Gibson, & Quariguasi-Frota-Neto, 2012), la réutilisation devrait être plus courante que le recyclage ou la récupération d'énergie (Cole, Cooper, & Gnanapragasam, 2016).

Ainsi, la refabrication offre une nouvelle opportunité au produit d'être réintégré dans la chaîne de vie en évitant la transformation des composants, pièces et assemblages en matériaux secondaires (Zlamparet, Tan, Stevels, & Li, 2018). Cela permet de réduire les émissions de CO₂, la consommation de matières premières et d'énergie ainsi que la dégradation de l'environnement (Gutowski, Sahni, Boustani, & Graves, 2011) (Miao, Mao, Fu, & Wang, 2018).

Parmi les appareils électroniques, les ordinateurs (personnels et portables), les écrans et les smartphones sont les plus couramment traités et remis en circulation par le biais de la réparation (Ongondo F., Williams, Dietrich, & Carroll, 2013) (Chi, Wang, & Reuter, 2014).

Thiébaud et al. (2017) ont mentionné qu'après réparation, la durée de vie moyenne des produits est prolongée d'au moins 30 %. Il est cependant important de comparer le gain environnemental de la réparation par rapport aux progrès technologiques. En effet, les produits récents ont tendance à avoir une consommation d'énergie plus faible comparé à des produits plus anciens. De ce point de vue, les smartphones ou les ordinateurs portables, dont l'impact environnemental dominant se situe dans leur phase de production, doivent être réutilisés indépendamment de leur âge, alors que pour les machines à laver, les réfrigérateurs et les téléviseurs, l'âge est un facteur décisif (Hischier & Böni, 2021). Ainsi, les machines à laver et les réfrigérateurs ne devraient pas être utilisés pendant plus d'une dizaine d'années, tandis que pour un téléviseur, le seuil est d'environ 8 ans.

1.3. Les initiatives politiques

La réutilisation des équipements électroniques a été privilégiée par un large éventail de politiques et de réglementations mondiales pour conserver les ressources et réduire la pollution environnementale. La majorité des lois qui réglementent le mouvement et l'élimination des équipements contenant des matières potentiellement dangereuses exhortent à réutiliser les équipements usagés. On citera à titre d'exemples la directive DEEE de l'UE (European, 2002), la directive sur l'écoconception de l'UE (Bertoldi & Atanasiu, 2007), la directive-cadre sur les déchets de l'UE (Kallis & Butler, 2001), le décret chinois 551 (Lin, Yan, & Davis, 2001), la loi sur le recyclage et la réutilisation des produits électroniques de l'Illinois (Kang & Schoenung, 2005), la certification PAS 141 au Royaume-Uni, etc. Ongondo et al. (2011) ont montré que les pratiques de gestion des DEEE varient fortement d'un pays à l'autre.

En Europe, l'étude sur la préparation à la réutilisation (Seyring, et al., 2015) a examiné la question de la réutilisation dans tous les États membres de l'UE. Les principales conclusions du rapport ont montré qu'il existe de nombreuses formes différentes d'organisations et de pratiques de gestion pour la réutilisation et la préparation à la réutilisation actuellement en vigueur dans l'UE. Cette diversité rend ainsi difficile l'évaluation du potentiel de réutilisation au sein de l'Union et freine le développement de ces solutions. Par conséquent, la mise en œuvre d'objectifs distincts de réutilisation/préparation à la réutilisation au niveau européen nécessite un alignement préalable des pratiques au sein des États membres.

La directive DEEE a été établie pour la première fois en 2003 (2002/96/CE), et a ensuite été réformée en 2012 sous le code 2012/19/UE (European Parliament and Council, 2012). Cette version plus récente est entrée pleinement en vigueur en 2014. Les objectifs généraux de cette directive sont de minimiser la masse de DEEE entrant dans les décharges chaque année, de protéger la santé environnementale et humaine, d'augmenter la masse de matériaux de base

réutilisés chaque année et de tenir les producteurs responsables des équipements qu'ils mettent sur le marché (Roller & Führ, 2008). Plus précisément, le taux de collecte cible des DEEE en fin de vie est de 45 % entre 2016 et 2019 et de 65 % à partir de 2019. Les taux de collecte sont mesurés en fonction de la masse, et non du nombre d'équipements ou de la valeur économique de ceux-ci (European Parliament and Council, 2012).

Une critique est cependant faite, (Ford, et al., 2016), sur les mesures basées uniquement sur la masse qui ne permettent pas de cibler suffisamment les matériaux spécifiques présents en petite quantité mais avec un impact important.

La directive 2019/19/EC exige des producteurs qu'ils fournissent des informations, des moyens logistiques et de collecte pour faciliter le traitement durable des déchets provenant de leurs propres produits, soit individuellement (les producteurs assument la responsabilité de la gestion de la fin de vie de leurs propres produits), soit dans le cadre d'un système collectif (un groupe de producteurs assume collectivement la responsabilité de la gestion de la fin de vie de ses produits, quelle que soit la marque).

On constate ainsi que la responsabilité des producteurs est au cœur de la directive. Alors que celle-ci souligne à plusieurs reprises l'importance de ce concept, il semble que sa mise en œuvre dans les législations des États membres est plus difficile que prévu. En particulier, il n'y a pas d'exemple cohérent de système de reprise dans les États membres qui soit basé sur la responsabilité individuelle du producteur. Au lieu de cela, des systèmes collectifs sont mis en place dans lesquels les producteurs ne paient pas spécifiquement pour la reprise de leurs propres déchets mais plutôt pour une part calculée sur la base du poids de leurs produits (Roller & Führ, 2008).

D'après la directive 2012/19/EC (European Parliament and Council, 2012), les équipements électroniques peuvent être répartis en 6 catégories avec des objectifs de récupération et de préparation pour réutilisation ou recyclage distincts :

Catégories	Produits	Objectifs	
		Récupération (%)	Préparation pour réutilisation ou recyclage (%)
1 Equipements d'échanges thermiques	Équipements d'échange de température : réfrigérateurs, congélateurs, climatiseurs (AC), pompes à chaleur.	85	80
2 Écrans, moniteurs et équipements comprenant des écrans d'une surface supérieure à 100 cm ²	Téléviseurs, écrans, ordinateurs portables et tablettes.	80	70
3 Lampes	Lampes fluorescentes, lampes à décharge à haute intensité et lampes à diode électroluminescente (LED).	-	80
4 Gros équipements (dont l'une des dimensions extérieures au moins est supérieure à 50 cm	Lave-linge (WM), sèche-linge, lave-vaisselle, cuisinières électriques, grandes imprimantes, photocopieuses et panneaux photovoltaïques.	85	80
5 Petits équipements (dont toutes les dimensions extérieures sont inférieures ou égales à 50 cm)	Aspirateurs, micro-ondes, appareils de ventilation, grille-pain, bouilloires électriques, rasoirs électriques, balances, calculatrices, postes de radio, caméras vidéo, jouets électriques et électroniques (EE), petits outils électriques et électroniques (SEE), petits	75	55

	appareils médicaux, petits instruments de surveillance et de contrôle.		
6	Petits équipements informatiques et de télécommunications (dont toutes les dimensions extérieures sont inférieures ou égales à 50 cm)	Téléphones mobiles (MP), systèmes de positionnement global (GPS), calculatrices de poche, routeurs, ordinateurs personnels (PC)/ordinateurs de bureau (DC), imprimantes, téléphones.	75 55

Tableau 1.1 - Catégorie des déchets électroniques avec objectifs de la directives européenne 2012/19/EC, adapté de (Islam, et al., 2021)

L'état actuel de la génération et récupération des déchets électroniques en Europe est représenté à la figure 1.5. Les pays de l'Union européenne atteignent ainsi un taux de collecte de 47,3% remplissant les objectifs de 45% fixés entre 2016 et 2019 mais laissant un effort non-négligeable pour atteindre 65%.

On notera les excellentes performances de la Croatie et de l'Estonie avec 75% et 76% des déchets électroniques collectés et revalorisés, respectivement. L'Italie et l'Espagne font figure de mauvais élèves avec des taux de respectivement 32% et 35%. Les plus grands producteurs de déchets au sein de l'UE que sont l'Allemagne et la France ont des taux de recyclage proches de la moyenne européenne de 47,3%.

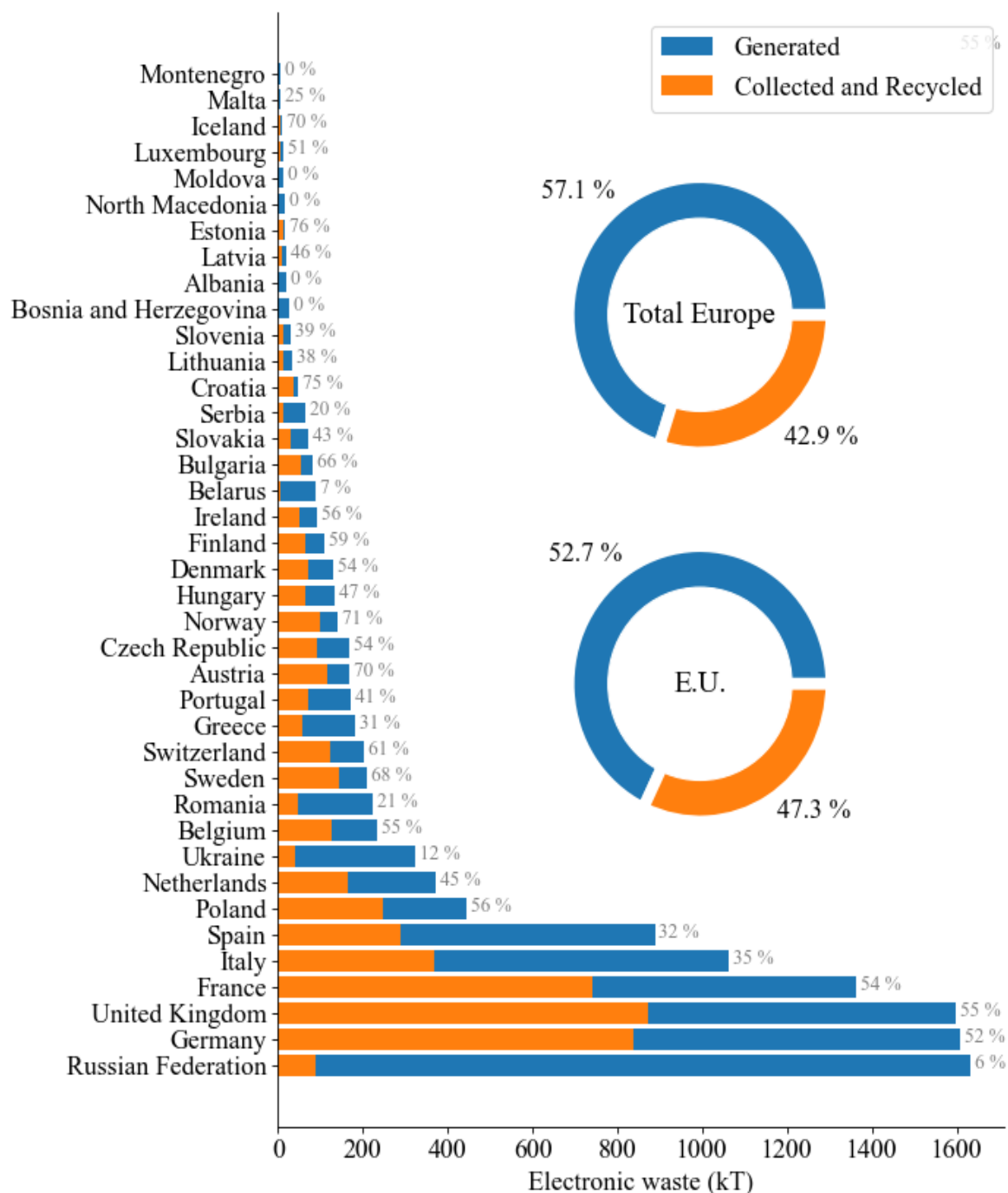


Figure 1.5- Déchets électroniques générés et traités en Europe en 2019 d'après les données du rapport « The Global E-waste Monitor 2020 » (Forti, Baldé, Kuehr, & Bel, 2020).

Le Royaume-Uni présente une tendance semblable avec un taux de 55% tandis que les résultats de la Russie reflètent son manque de politique de gestion des déchets électroniques avec un taux de recyclage de 6%.

1.4. Le point de vue du consommateur

Dans un processus de réparation typique, les produits non fonctionnels sont apportés dans des ateliers de réparation sans connaître le niveau de réparation nécessaire et sa difficulté. De plus, le résultat des opérations de réparation dépend principalement du niveau de compétence et

d'expertise du réparateur. Les entreprises de réparation sont également confrontées à des obstacles d'ordre technique, opérationnel et logistique, tels que le manque de manuels de réparation, l'inadéquation des outils de réparation et l'indisponibilité des pièces de rechange (Sabbaghi, Cade, Behdad, & Bisantz, 2017). De plus, la faible rentabilité des entreprises de réparation réduit encore leur nombre au sein de l'Union européenne, ce qui rend encore plus difficile l'accès des consommateurs à leurs services (Abeliotis, et al., 2021). La concurrence déloyale, les raisons économiques, l'imprévisibilité de l'offre et de la demande, la difficulté d'obtenir des pièces de rechange bon marché et le manque d'interopérabilité des composants clés entre différentes marques sont les principaux obstacles identifiés pour justifier cette faible rentabilité des entreprises de réparation (Bovea, Pérez-Belis, & Quemades-Beltran, 2017).

Parajuly & Wenzel (2017) ont identifié le consommateur comme étant l'un des éléments critiques du problème des déchets électroniques. La croissance de la demande d'équipements électroniques, la conscience environnementale des consommateurs et leur comportement étant considérés comme des facteurs clés.

La plupart du temps, les contraintes économiques dominent à la fois l'achat et la réparation d'un appareil. Sabbaghi & Behdad (2018) ont constaté que les consommateurs ont un comportement sensible à la réparation des produits, mais que le coût du service de réparation des fabricants peut être un inhibiteur important.

Ainsi, la baisse du coût des produits nouvellement fabriqués par rapport au coût de réparation incite les consommateurs à remplacer directement leurs équipements défectueux sans tenter de les réparer (Perez-Belis, Braulio-Gonzalo, Juan, & Bovea, 2017). Cette tendance est d'autant plus marquée pour les petits équipements électroniques. La principale raison avancée est le peu de différence entre le coût de réparation et le coût d'un nouvel appareil pour les équipements plus petits et moins onéreux. (Bovea, Pérez-Belis, & Quemades-Beltran, 2017). En revanche, les équipements qui sont achetés pour durer longtemps ou avec un prix plus important sont censés être fiables pendant leur utilisation. Cette attente des consommateurs se reflète également dans une attitude plus favorable à la réparation tout en tenant compte de la durée de vie restante de l'appareil, du coût de la réparation et de la durée de celle-ci (Sabbaghi & Behdad, 2018). Ainsi, les ordinateurs (personnels et portables), les téléphones mobiles et les tablettes avec des coûts d'achat et de réparation plus élevés sont les plus souvent réparés (Bovea, Pérez-Belis, & Quemades-Beltran, 2017), de même que les gros électroménagers comme les machines à laver et les réfrigérateurs (Mashhadi, Esmailian, & Behdad, 2016).

En plus du coût du service, Sabbaghi et al. (2017) concluent que les principales raisons de ne pas réparer sont la difficulté à obtenir des pièces de rechange, le coût de ces dernières, le

manque d'outils de réparation nécessaires, les réparations qui prennent du temps, la complexité des processus de réparation et le manque de manuels de réparation.

Makov & Fitzpatrick (2021) indique que les aspects non techniques, tels que la dépréciation mentale et l'obsolescence perçue, jouent un rôle essentiel dans la détermination de la durée de vie de certains appareils comme les smartphones. Les consommateurs tiennent compte non seulement du coût du nouveau produit, mais aussi du coût mental associé à la mise au rebut de l'ancien produit qu'ils possèdent déjà. Ce coût mental est ainsi réduit par des justifications techniques et pratiques comme la baisse de performances, la difficulté de la réparation, le prix de la réparation, etc.

Toute augmentation de l'intérêt du public pour la réparation contribuera à la durabilité environnementale en prolongeant la durée de vie des produits. Cette augmentation de l'intérêt peut également jouer un rôle important dans le problème du stockage des équipements électroniques défectueux à la maison. En effet, la plupart des consommateurs ont tendance à conserver les vieux équipements plutôt que de les soumettre à un processus de recyclage ou de réparation (Islam, et al., 2021). L'importance de l'étiquetage environnemental des produits a été jugée critique, en particulier pour une prise de décision éclairée des consommateurs (Bovea, Ibáñez-Forés, Pérez-Belis, & Juan, 2018).

Par ailleurs, la simplification du mécanisme de réparation permettra sa réalisation par des consommateurs individuels, reportera le remplacement de l'équipement et étendra sa durée de vie (Nes & Cramer, 2005). Par conséquent, la facilité de réparation est un facteur important pour les décisions d'achat et de recommandation des consommateurs. Il est ainsi nécessaire que les fabricants rendent les informations sur la réparation faciles à suivre et disponibles pour les utilisateurs finaux.

2. Critique de l'indice de réparabilité

Dans cette seconde partie la méthodologie d'analyse est explicitée et suivie par la présentation de l'indice de réparabilité français avec ses différents critères et sa méthode de calcul. Les résultats de notre étude sont présentés, comprenant les indices de réparabilité de 216 téléviseurs, 112 smartphones et 383 ordinateurs portables qui ont été récoltés auprès de la société Darty. Elle se base sur une analyse statistique effectuée avec les scores obtenus pour chaque critère et sous-critère de l'indice pour trois catégories de produits (téléviseurs, smartphones et ordinateurs portables). Différentes variantes de calcul ont finalement été proposées et discutées pour améliorer l'indice et corriger les biais de celui-ci.

2.1. Méthodologie d'analyse

2.1.1. Objectif du travail

L'objectif principal de ce travail est double :

- Analyser l'indice de réparabilité mis en place en France le 1^e janvier 2021 afin de discuter de sa pertinence et de son efficacité à remplir sa mission d'information et de sensibilisation auprès du consommateur.
- Critiquer l'indice de réparabilité et proposer des pistes d'amélioration au niveau de sa construction et de son organisation.

Afin d'atteindre ces objectifs, une revue de la littérature complète a été nécessaire afin de cerner correctement les problématiques et les enjeux de la réparabilité des objets électroniques. A la suite de cela, l'analyse et la critique de l'indice ont été réalisées sur base des données récoltés auprès de la société Darty.

2.1.2. Récolte de données

Les données utilisées dans ce travail ont été récupérées au sein de la société Darty spécialisée dans la distribution de matériel électroménager et électronique. La récupération a été effectuée au travers du site internet de l'enseigne en parcourant individuellement chaque produit de la catégorie des téléviseurs, smartphones et ordinateurs portables. Ces trois types d'équipement ont été sélectionnés car ils représentent les produits avec le potentiel de réparabilité le plus important comparé, par exemple, aux lave-linges qui atteignent déjà de bon taux de réparation.

Pour chaque produit, les données suivantes ont ainsi été récoltées et placées au sein d'un document (fichier Excel) :

- Type de produit (téléviseurs, smartphones ou ordinateurs portables),
- Prix de vente du produit (en €),

- Marque du produit,
- Modèle du produit,
- Indice de réparabilité (note entre 0 et 10),
- Score de chaque critère et sous-critère de l'indice (note entre 0 et 10).

2.1.3. Analyse des données

L'analyse des données est séparée en deux parties : l'analyse statistique des données obtenues et l'utilisation de ces données pour reconstruire l'indice de réparabilité avec de nouvelles règles de calculs.

Ainsi, après la récolte des données pour chaque produit, une analyse statistique des données (moyenne et déviation standard) par type d'équipement a été effectuée :

- Globalement, pour avoir un résultat pour chaque catégorie d'équipements ;
- Par marque, afin de voir les différences et tendances de l'indice en fonction du fabricant ;
- Par critère, afin d'identifier les freins à la réparation et investiguer les liens entre les critères dans le score global.

Les données récoltées ont également été utilisées afin de recalculer les scores obtenus pour chaque produit mais en modifiant les règles de calculs afin de proposer des pistes d'amélioration à l'indice existant.

2.1.4. Outils et ressources utilisés

Le langage de programmation Python au sein de l'environnement Spyder a été utilisé afin d'effectuer l'analyse de données et de calculer les résultats. Le même outil a été utilisé pour la présentation des résultats sous forme de graphiques.

Le rapport d'enquête réalisé par l'association Halte à l'Obsolescence Programmée (HOP) intitulé « The French Reparability Index : A First assessment – one year after its implementation » a été utilisé afin d'approfondir la discussion et de confronter les résultats (Halte à l'Obsolescence Programmée, 2022).

2.2. L'indice de réparabilité français

Depuis le 1^e janvier 2021, la France a déployé un indice de réparabilité sur 5 catégories de produits électroménagers et électroniques : lave-linge à hublot, smartphones, ordinateurs portables, téléviseurs et tondeuses à gazon électriques (Ministère de la transition écologique, 2020).

Ces catégories de produits ont été sélectionnées car très répandues et présentant un impact significatif sur le budget des ménages ainsi que sur l'environnement. De plus, la mise en pratique du déploiement s'est trouvée facilitée par le nombre suffisant d'acteurs volontaires (dont des fabricants) prêts à participer aux groupes de travail de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) et le ministère de la transition écologique (ADEME, 2021).

Pour accroître l'impact de l'indice de réparabilité et son déploiement, il a été décidé d'étendre son champ d'application à cinq nouvelles catégories de produits chaque année. Pour 2022, les groupes de produits suivants ont été sélectionnés : lave-linge à chargement par le haut, lave-vaisselle, nettoyeurs haute pression, aspirateurs et tablettes.

Le but de cet indice est d'informer les consommateurs sur le potentiel de réparabilité de leurs équipements au moment de l'achat. Cet indice sensibilise sur la possibilité d'allonger la durée de vie en orientant le choix vers des produits plus facilement réparables tout en incitant à recourir davantage à la réparation en cas de panne. Il poursuit ainsi un double objectif :

- Pousser les consommateurs vers des produits plus réparables, en remédiant à l'asymétrie d'information entre producteurs et consommateurs sur les caractéristiques des produits ;
- Encourager les producteurs à mettre l'éco-conception au cœur de leurs produits en facilitant la réparabilité de ces derniers. Un tel mécanisme a été observé pour le label énergétique européen, car les fabricants, poussés par la concurrence du marché, s'efforcent d'avoir le produit le plus performant sur le marché.

Au final, les autorités françaises espèrent que l'indice de réparabilité contribuera à atteindre un taux de réparation de 60% d'ici cinq ans (ADEME, 2021).

L'initiative française ne se limite pas seulement aux frontières du pays mais a également un impact en dehors de la France. En effet, les institutions européennes travaillent également sur un score de réparabilité. Dans un premier temps, les institutions européennes ont annoncé des mesures réglementaires pour les EEE, notamment les smartphones, les tablettes et les ordinateurs portables, afin d'inclure des exigences minimales pour leur conception en termes d'efficacité énergétique, de durabilité, de réparabilité et de recyclage. Puis, en septembre 2021, le Centre commun de recherche de la Commission européenne a présenté le premier projet d'un nouveau système européen de notation de la réparation des smartphones et tablettes, fortement inspiré de la méthodologie française. Il devrait entrer en vigueur dans les années à venir (Commission, 2022).

L'indice de réparabilité français est rendu visible auprès du consommateur par un pictogramme coloré affiché sur le produit. Ce dessin reprend la note de l'indice ainsi qu'un code couleur dépendant du score obtenu. En partant de 0, on a ainsi la couleur rouge pour les équipements ayant une note inférieure ou égale à 1.9, orange jusque 3.9, suivi par le jaune jusque 5.9 et enfin le vert clair et vert foncé jusque 7.9 et 10, respectivement.



Figure 2.1 - Illustration du visuel de l'indice de réparabilité.

Afin de calculer cet indice, cinq critères ont été définis :

1. Documentation : la note est calculée sur la volonté des producteurs de fournir gratuitement aux réparateurs et consommateurs la documentation technique des produits.
2. Démontabilité et accès, outils, fixations : la note est calculée sur base de la facilité de démontage, des outils nécessaires et du type de fixations utilisées.
3. Disponibilité des pièces détachées : la note est calculée en fonction de la durée de disponibilité des pièces et du délai de livraison.
4. Prix des pièces détachées : la note est calculée sur le rapport entre le prix de vente des pièces détachées et le prix du produit.
5. Spécifiques : note basée sur des critères propres à la catégorie du produit.

Le Tableau 1.2 reprend le détail du calcul de l'indice. Ce tableau doit ainsi être complété par le fabricant pour chaque produit électronique couvert par l'indice et mis en vente. L'acheteur a un premier aperçu du potentiel de réparabilité de l'objet qu'il achète grâce au pictogramme. Il peut ensuite comprendre la note de l'équipement grâce aux détails rendus disponibles par le fabricant. La volonté de l'état français est ainsi d'avoir un indice simple à comprendre pour les citoyens mais relativement détaillé et transparent dans l'attribution du score. On notera cependant le biais survenant au niveau du fabricant qui note lui-même ses propres produits. Il est en effet difficile d'imaginer que ceux-ci notent en toute impartialité leurs produits sachant que l'indice peut représenter un atout marketing non-négligeable suivant le positionnement de la marque.

Critère	Sous-critère	Note du sous-critère	Coefficient du sous-critère	Note du critère	Total des notes
1. Documentation	1.1. Durée de disponibilité de la documentation technique et relative aux conseils d'utilisation et d'entretien	/10	2	/20	/100
2. Démontabilité et accès, outils, fixations	2.1. Facilité de démontage des pièces	/10	1	/20	
	2.2. Outils nécessaires	/10	0.5		
	2.3. Caractéristiques des fixations entre les pièces	/10	0.5		
3. Disponibilité des pièces détachées	3.1. Durée de disponibilité des pièces de la liste 1.	/10	1	/20	
	3.2. Durée de disponibilité des pièces de la liste 2	/10	0.5		
	3.3. Délai de livraison des pièces de la liste 1.	/10	0.3		
	3.4. Délai de livraison des pièces de la liste 2	/10	0.2		
4. Prix des pièces détachées	4.1. Rapport des prix des pièces de la liste 2 sur prix de l'équipement neuf	/10	2	/20	
5. Critère spécifique	5.1.	/10	2	/20	
Note de l'indice					/10

Tableau 2.1 - Détails de la grille de calcul de l'indice.

Le critère 1 concerne l'accès à la documentation qui facilite les réparations. Ce critère comprend les 15 documents suivants, qui peuvent être fournis sous différents formats physiques ou numériques. Le fabricant doit indiquer son engagement sur la disponibilité dans le temps de chaque document pour les réparateurs et les consommateurs :

- 1.1.A - L'identification sans équivoque du produit ;
- 1.1.B - Un plan de démontage ou une vue éclatée ;
- 1.1.C - Des schémas de câblage et de connexion ;
- 1.1.D - Les schémas des cartes électroniques ;
- 1.1.E - Liste des équipements de réparation et de test nécessaires ;
- 1.1.F - Manuel technique d'instructions de réparation ;
- 1.1.G - Codes de diagnostic des défauts et des erreurs ;
- 1.1.H - Informations sur les composants et le diagnostic ;
- 1.1.I - Instructions pour le logiciel et le firmware ;
- 1.1.J - Informations sur la manière d'accéder aux enregistrements de données des incidents de défaillance signalés, stockés sur le produit ;
- 1.1.K - Bulletin technique ;
- 1.1.L - Guide d'autoréparation ;
- 1.1.M - Comment avoir accès à des réparateurs professionnels ;
- 1.1.N - Détection des défaillances et action requise ;
- 1.1.O - Instructions d'utilisation et de maintenance.

Le critère 2 décrit la facilité de démontage et comprend trois sous-critères :

- 2.1 Le nombre d'étapes nécessaires au démontage des pièces détachées ;
- 2.2 Le type d'outils nécessaires au démontage ;
- 2.3 Le type de fixations utilisées pour fixer chaque pièce détachée.

Pour chaque catégorie de produits, deux listes de pièces de rechange ont été établies. « La liste 2 » comprend les 3 à 5 pièces de rechange qui représentent la majorité des pannes. La « liste 1 » comprend jusqu'à 10 autres pièces de rechange fonctionnelles qui sont nécessaires au fonctionnement de l'appareil. Les sous-critères 2.1 et 2.2 ne concernent que la liste 2, tandis

que le type de fixations utilisées pour fixer chaque pièce de rechange (2.3) doit être déclaré pour toutes les pièces de rechange des listes 1 et 2.

Le critère 3 informe de l'engagement du fabricant sur la disponibilité dans le temps des pièces de rechange, y compris celles des listes 1 et 2, ainsi que son engagement sur le délai de livraison de ces pièces de rechange. Pour chaque pièce de rechange, le fabricant doit indiquer la disponibilité pour les différents intervenants, à savoir :

- Le centre de réparation du fabricant ;
- Les détaillants de pièces de rechange ;
- Les réparateurs ;
- Les consommateurs.

La disponibilité des pièces de rechange de la liste 2 est la plus critique, puisqu'elle représente un poids de 50% pour le calcul du critère 3 contre 25% pour celles de la liste 1. Le délai de livraison des pièces de la liste 2 représente 15%, laissant 10% au délai de livraison des pièces de la liste 1.

Le critère 4 concerne le prix des pièces détachées principales. Le score est établi en calculant le rapport entre :

- Le prix hors taxe de la pièce la plus chère de la liste 2 auquel est ajoutée la moyenne des prix hors taxe des autres pièces de la liste 2. Le tout divisé par 2
- Le prix de l'ensemble de l'appareil concerné, hors taxes.

Les frais de livraison sont déduits du calcul. En cas d'indisponibilité d'une pièce de la liste 2 au moment du calcul de l'indice, le nombre de points attribués à ce critère est de 0.

Le critère 5 est spécifique à la catégorie de produits concernée. Les différents sous-critères possibles sont détaillés dans le tableau 2.2.

Type	Sous-critères spécifiques	Poids
Téléviseurs	5.1. - Accessibilité du compteur d'utilisation	1
	5.2. - Téléassistance gratuite	0.5
	5.3.A - Possibilité de réinitialiser la carte électronique	0.25
	5.3.B - Possibilité de réinitialiser les firmwares	0.25
Smartphones	5.1. - Informations sur les types de mises à jour	1
	5.2 - Assistance à distance gratuite	0.5
	5.3.A - Possibilité de réinitialisation des logiciels	0.25

	5.3.B - Possibilité de réinitialiser les firmwares	0.25
Ordinateurs portables	5.1. - Informations sur les types de mises à jour	1
	5.2 - Assistance à distance gratuite	0.5
	5.3.A - Possibilité de réinitialisation des logiciels	0.25
	5.3.B - Possibilité de réinitialiser les firmwares	0.25

Tableau 2.2 - Détails des sous-critères spécifiques pour les différentes catégories de produits analysées.

2.3. Analyse des scores des différentes catégories de produits

2.3.1. Analyse des téléviseurs

Le tableau ci-dessous reprend les résultats obtenus (moyenne et variance) pour les 216 scores de téléviseurs. La moyenne et variance globales obtenues pour l'indice de réparabilité sont 6.52 et 0.9567, respectivement. Le résultat corrobore l'étude réalisée par HOP qui affirme que les scores obtenus par les téléviseurs semblent plutôt généreux. En effet, dans la pratique, les petits téléviseurs qui coûtent entre 250 et 300 euros ne sont souvent pas réparés pour des raisons économiques mais obtiennent pourtant des nombreux scores supérieurs à la moyenne. Ainsi, malgré certains critères clairement insuffisant (notamment les critères 3 et 4 concernant les pièces détachées) il est possible pour certaines marques d'obtenir de bons résultats. C'est notamment le cas pour les télévisions Philips qui, malgré une moyenne de 1.76 sur 10 pour la disponibilité de ses pièces détachées, réussissent tout de même à avoir un score global de 6.

Equipement	Marque	Critère 1	Critère 2	Critère 3	Critère 4	Critère 5	Global
Téléviseurs	JVC <i>n</i> = 5	7.50 (0.346)	8.98 (0.942)	4.15 (0.000)	0.00 (0.000)	3.75 (0.000)	4.96 (0.233)
	Proline <i>n</i> = 5	8.10 (0.000)	7.35 (0.000)	4.15 (0.000)	0.00 (0.000)	3.75 (0.000)	4.70 (0.000)
	Philips <i>n</i> = 37	8.12 (0.355)	8.21 (0.163)	5.01 (0.616)	1.76 (2.238)	9.93 (0.405)	6.60 (0.544)
	Xiaomi <i>n</i> = 5	7.30 (0.000)	9.15 (0.000)	4.45 (0.000)	1.00 (0.894)	5.75 (0.000)	5.50 (0.179)
	LG <i>n</i> = 49	8.78 (0.120)	8.85 (0.306)	6.43 (0.275)	0.64 (1.149)	4.42 (1.164)	5.81 (0.316)

Sharp <i>n</i> = 4	9.20 (0.000)	9.30 (0.000)	6.00 (0.528)	0.00 (0.000)	6.08 (0.000)	6.10 (0.100)
Hisense <i>n</i> = 9	6.96 (0.579)	8.68 (0.752)	5.92 (0.804)	0.56 (1.571)	8.33 (1.748)	5.98 (0.614)
TCL <i>n</i> = 15	9.20 (0.000)	8.72 (0.177)	4.38 (0.000)	1.40 (0.779)	9.00 (0.000)	6.57 (0.174)
Samsung <i>n</i> = 54	9.38 (0.378)	7.27 (0.881)	7.14 (0.279)	6.56 (2.618)	8.38 (2.143)	7.75 (0.538)
Schneider <i>n</i> = 1	5.40 (0.000)	9.25 (0.000)	5.27 (0.000)	4.50 (0.000)	6.50 (0.000)	6.20 (0.000)
Panasonic <i>n</i> = 8	5.20 (0.000)	6.83 (0.000)	2.18 (0.000)	3.31 (2.384)	5.74 (0.165)	4.66 (0.477)
Sony <i>n</i> = 27	5.40 (0.000)	9.86 (0.076)	10.00 (0.000)	0.00 (0.000)	7.04 (0.971)	6.50 (0.203)
Wemoove <i>n</i> = 1	1.90 (0.000)	7.75 (0.000)	7.57 (0.000)	10.00 (0.000)	5.00 (0.000)	7.10 (0.000)

Tableau 2.3 - Scores obtenus par les téléviseurs. Les scores ont été calculés par marque et pour chacun des cinq critères principaux.

Le tableau 2.3 reprend les résultats obtenus pour les téléviseurs suivant la marque et le critère. Une première observation lors de la collecte de données est l'amélioration possible du référencement du score obtenu par les différentes marques. Ainsi, malgré l'obligation depuis le 1^{er} janvier 2021 de rendre disponible le score obtenu lors de la vente de l'équipement, on constate deux choses :

- Certaines marques n'ont pas encore rendu disponible le score de leurs produits
- Certaines marques ont exactement le même score pour toute leur gamme. Soit il n'y a aucune différence dans les scores entre les produits (ce qui serait assez étonnant vu le nombre de critères repris dans l'indice), soit ces marques ont uniquement rempli la grille de calcul de score de façon globale sans inclure les spécificités de chaque produit.

Une analyse peut être réalisée pour voir le lien possible entre le prix de vente et l'indice de réparabilité. Ainsi la figure 2.2 montre une tendance pour l'indice qui ne dépend pas ou peu du prix de vente de l'équipement électronique. On peut également apercevoir la différence entre les différentes marques dans les stratégies de réparabilité. Ainsi Samsung possède les appareils avec les plus hauts scores, suivi par Philips et Sony. Ces résultats montrent également que la majorité des scores obtenus se retrouvent dans la seconde partie de l'échelle des notes (> 5). Cela montre un manque d'efficacité dans l'utilisation de l'échelle complète et témoigne d'un manque de sanction en cas de mauvais score dans un critère.

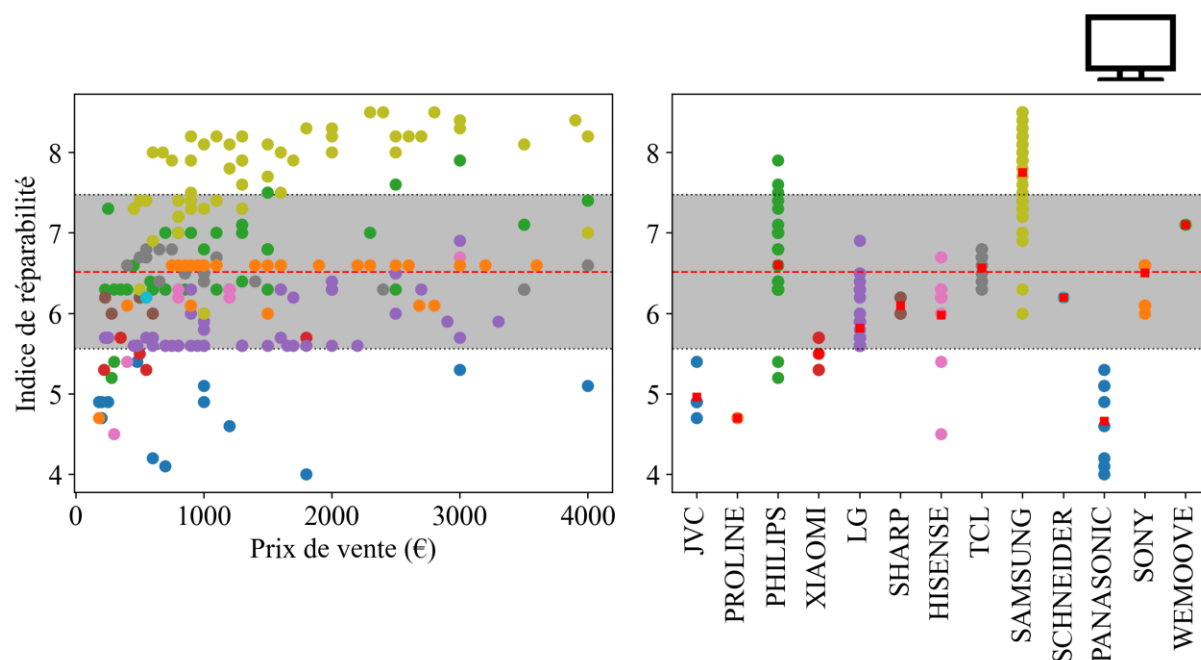


Figure 2.2 – Score obtenue par les téléviseurs en fonction de la marque et du prix de vente. La ligne rouge pointillée représente la moyenne des scores et la zone grise l'écart d'une déviation standard.

En approfondissant les différents critères, on peut apercevoir que presque tous les appareils démontrent des scores élevés pour les deux premiers critères. Cela indique une grille de cotation trop ouverte concernant ces critères. A l'inverse, les scores pour le prix des pièces détachées sont plutôt bas avec une moyenne inférieure à 5/10 et une grande variation suivant la marque du téléviseur. On en conclut que la politique de pièces détachées est un point faible actuel dans le potentiel de réparation au niveau des téléviseurs.

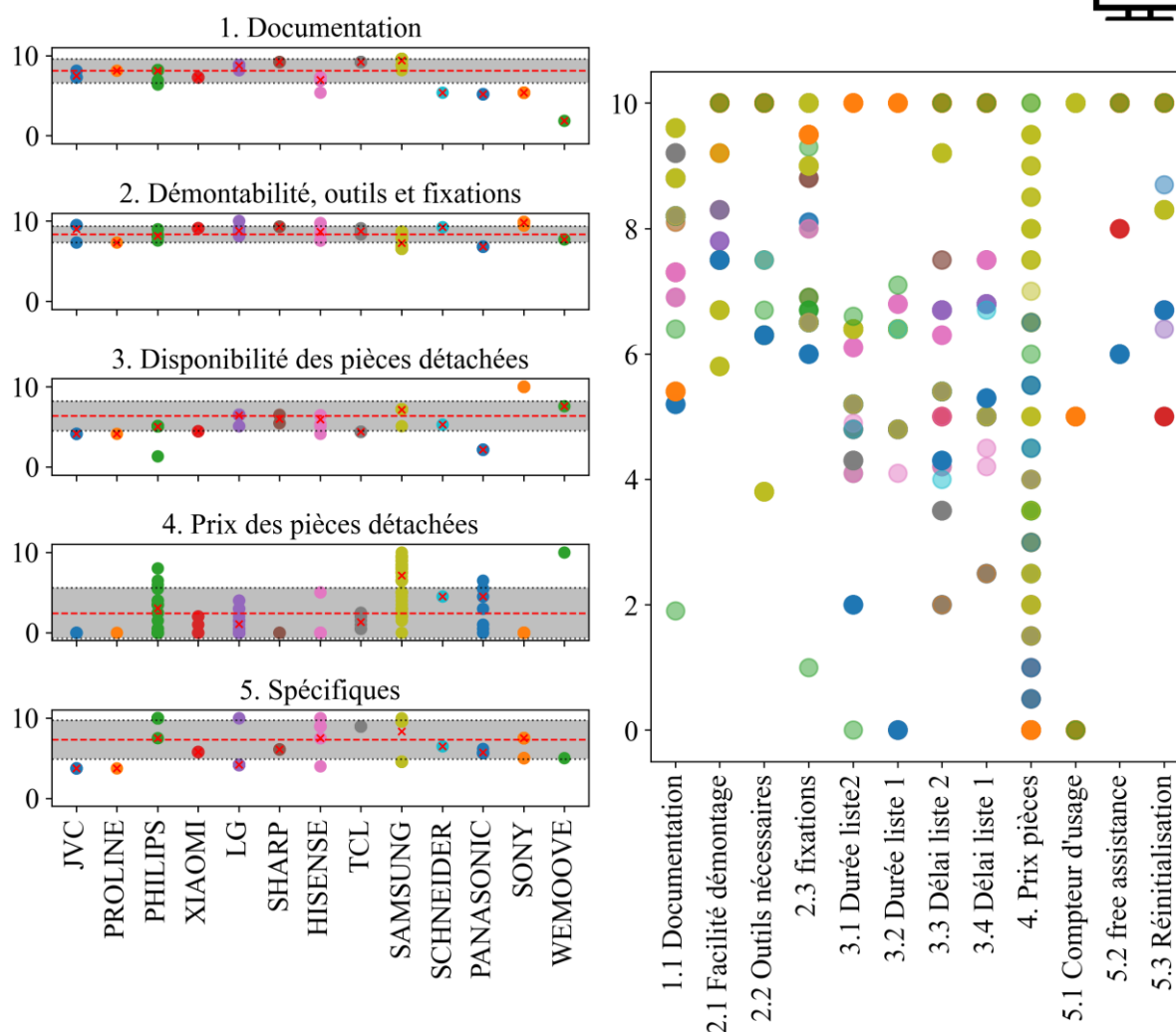


Figure 2.3 – Score obtenue par les téléviseurs pour les différents sous-critères. La ligne rouge pointillée représente la moyenne des scores et la zone grise l'écart d'une déviation standard.

2.3.2. Analyse des smartphones

Le tableau 2.4 reprend les résultats obtenus (moyenne et variance) pour les 112 smartphones analysés. La moyenne et variance globales obtenues pour l'indice de réparabilité sont 7.02 et 0.9226, respectivement. Le score moyen supérieur de 0.5 point laisse penser que les smartphones sont, en général, plus réparables que les ordinateurs portables. Le meilleur score des smartphones comparé aux téléviseurs doit cependant être relativisé.

En effet, d'après l'étude de HOP, les réparateurs ont signalé l'émergence de nouveaux obstacles à la réparation de ces objets électroniques non pris en compte par l'indice, telles que la sérialisation et la compatibilité des pièces détachées. On constate de plus un score plus faible pour la disponibilité des pièces détachées qui peut s'expliquer par la miniaturisation et la compacité du design de ces équipements. Ainsi, ces tendances rendent la réparation par des acteurs indépendants plus difficile et limite l'expansion de la réparabilité des smartphones. Il

faut cependant noter que le critère 4 sur le prix des pièces détachés est assez bon. Ce qui indique un prix correct comparé au prix de vente du téléphone.

Equipement	Marque	Critère 1	Critère 2	Critère 3	Critère 4	Critère 5	Global
Smartphone	Wiko n = 6	6.20 (0.000)	9.38 (0.225)	1.46 (0.212)	7.25 (0.250)	9.50 (0.500)	6.95 (0.198)
	Motorola n = 9	6.90 (0.000)	8.10 (0.959)	2.78 (0.193)	8.72 (1.652)	9.00 (0.000)	7.11 (0.446)
	Realme n = 6	5.40 (0.000)	7.25 (0.000)	0.74 (0.000)	9.33 (0.986)	7.67 (0.000)	6.07 (0.197)
	Nokia n = 1	5.40 (0.000)	4.78 (0.000)	1.50 (0.000)	10.00 (0.000)	9.00 (0.000)	6.10 (0.000)
	Xiaomi n = 12	6.50 (0.000)	7.54 (0.222)	2.14 (0.151)	9.75 (0.559)	10.00 (0.000)	7.19 (0.111)
	TCL n = 4	4.60 (0.000)	6.33 (0.960)	1.29 (0.000)	9.38 (0.415)	9.00 (0.000)	6.15 (0.150)
	Samsung n = 10	8.80 (0.000)	3.75 (0.461)	8.33 (0.000)	9.55 (0.820)	10.00 (0.000)	8.08 (0.214)
	Oppo n = 10	8.24 (0.280)	7.91 (0.466)	2.63 (1.981)	9.10 (1.200)	8.50 (0.000)	7.26 (0.650)
	Vivo n = 6	7.70 (0.000)	8.35 (0.000)	3.73 (0.000)	9.00 (0.957)	10.00 (0.000)	7.80 (0.191)
	Doro n = 1	3.80 (0.000)	6.03 (0.000)	0.74 (0.000)	9.50 (0.000)	10.00 (0.000)	6.00 (0.000)
Honor n = 3	5.80 (0.000)	9.35 (0.000)	5.50 (0.014)	9.50 (0.408)	10.00 (0.000)	8.00 (0.082)	

Huawei n = 5	4.48 (1.078)	5.50 (0.597)	6.74 (0.208)	8.90 (0.970)	9.40 (0.490)	7.00 (0.228)
OnePlus n = 8	5.80 (0.400)	7.08 (0.686)	3.05 (0.100)	9.50 (0.612)	9.00 (0.000)	6.88 (0.171)
Crosscall n = 4	7.70 (0.000)	7.10 (0.000)	10.00 (0.000)	10.00 (0.000)	9.00 (0.000)	8.80 (0.000)
Sony n = 3	3.10 (0.000)	6.70 (0.000)	2.15 (0.000)	8.50 (0.408)	8.50 (0.000)	5.80 (0.082)
Fairphone n = 3	9.50 (0.707)	9.67 (0.236)	6.98 (0.125)	9.33 (0.624)	10.00 (0.000)	9.03 (0.236)
Asus n = 5	8.62 (0.147)	4.70 (1.068)	1.25 (0.000)	10.00 (0.000)	9.00 (0.000)	6.70 (0.219)
Google n = 1	3.10 (0.000)	6.38 (0.000)	3.75 (0.000)	10.00 (0.000)	9.00 (0.000)	6.40 (0.000)
Apple n = 15	6.20 (0.000)	3.94 (1.285)	4.68 (0.000)	3.33 (2.357)	10.00 (0.000)	5.81 (0.612)

Tableau 2.4 - Scores obtenus par les smartphones. Les scores ont été calculés par marque et pour chacun des cinq critères principaux.

La figure 2.3 montre les indices de réparabilités en fonction des prix de vente des appareils. Similairement aux résultats des scores des téléviseurs, il semble y avoir peu (voire pas) de lien entre le prix de vente et l'indice de réparabilité. La marque Fairphone qui prône une démarche durable performe le mieux. Les marques reconnues comme Samsung et Sony ont tendance à également obtenir de bons scores de réparabilité. L'analyse des smartphones montre également le nombre plus important de concurrents et de marques sur le marché. Cela nécessite ainsi une communication plus robuste et un suivi plus approfondi pour englober l'ensemble des acteurs dans une démarche durable de réparation. Les scores des critères 1 et 2 sont légèrement plus bas comparés à ceux des téléviseurs. Cela montre l'effort possible sur la disponibilité de la documentation et la démontabilité des smartphones. La disponibilité des pièces détachées est significativement plus basse tandis que le prix des pièces (relatif au prix de vente) est plus faible, entraînant un meilleur score pour le critère 4. Au final, la disponibilité des pièces

détachées couplée à la difficulté de démonter les appareils semblent être les freins principaux à la réparation pris en compte dans l'indice.

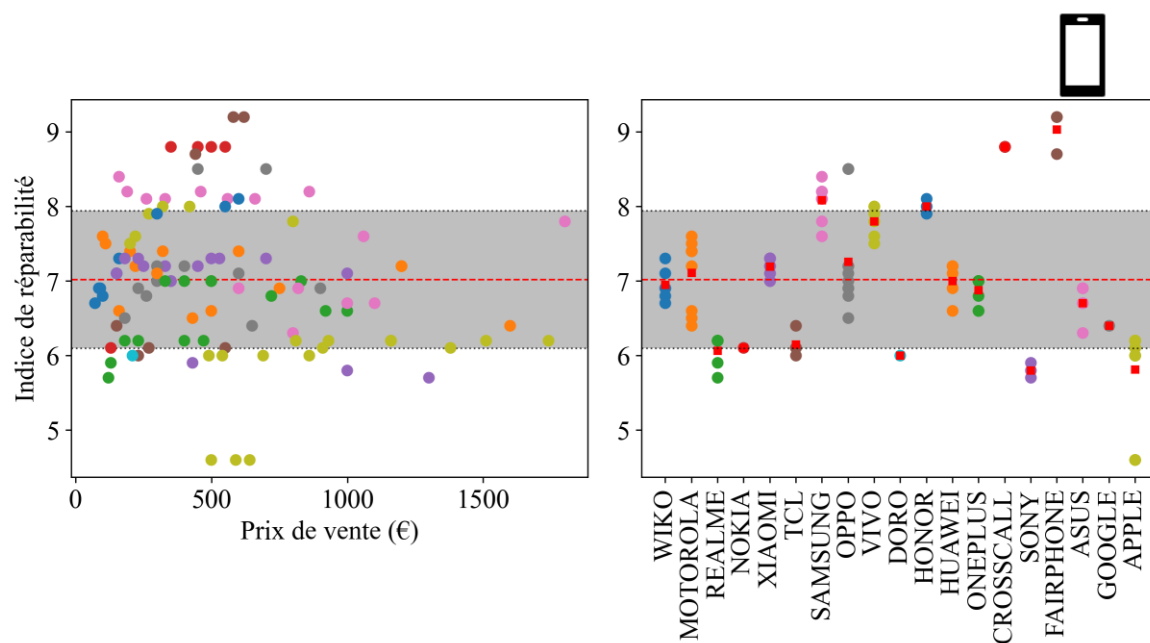


Figure 2.3 - Score obtenue par les smartphones en fonction de la marque et du prix de vente. La ligne rouge pointillée représente la moyenne des scores et la zone grise l'écart d'une déviation standard.

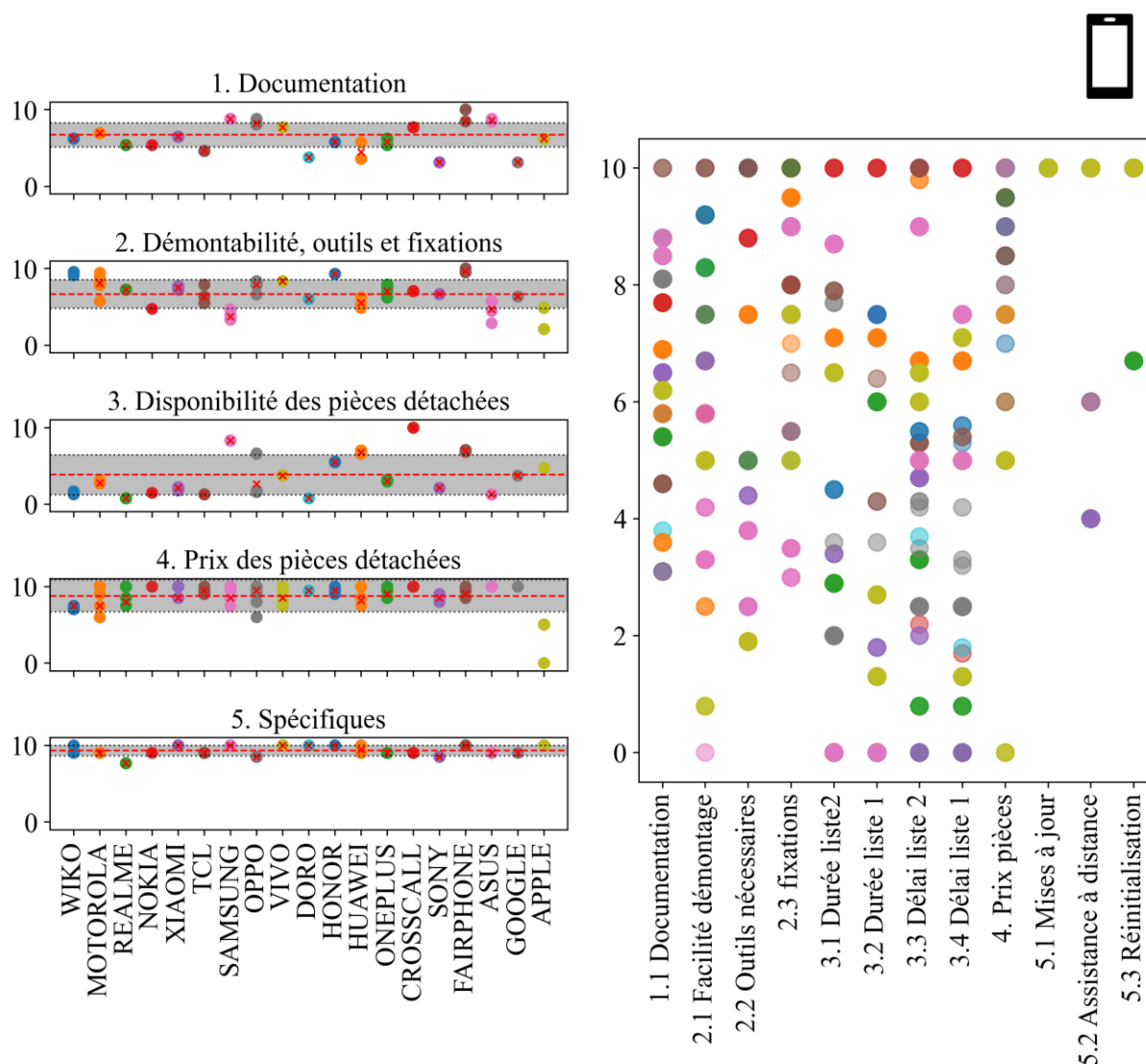


Figure 2.4 – Score obtenue par les smartphones pour les différents sous-critères. La ligne rouge pointillée représente la moyenne des scores et la zone grise l'écart d'une déviation standard.

2.3.3. Analyse des ordinateurs portables

Le tableau 2.5 reprend les résultats obtenus (moyenne et variance) pour les 383 scores d'ordinateurs portables. La moyenne et variance globales obtenues pour l'indice de réparabilité sont 6.37 et 1.0153, respectivement. Parmi les trois types d'équipements analysés, les ordinateurs portables possèdent le score moyen le plus bas et la déviation la plus importante.

D'après le rapport de HOP, les réparateurs ont signalé une diminution de la facilité de réparation des ordinateurs portables en raison de la miniaturisation constante des appareils et des composants. En outre, bien qu'il existe des différences entre les fabricants, les composants sont de plus en plus soudés ou collés. Cela semble valider le score moyen le plus faible des ordinateurs portables parmi les catégories de produits.

Equipement	Marque	Critère 1	Critère 2	Critère 3	Critère 4	Critère 5	Global
Ordinateur Portable	Lenovo <i>n</i> = 38	9.20 (0.000)	6.35 (0.672)	7.34 (0.553)	6.89 (1.220)	9.00 (0.000)	7.71 (0.471)
	Asus <i>n</i> = 84	5.55 (1.809)	9.22 (0.652)	0.93 (0.271)	7.92 (1.484)	9.15 (0.362)	6.53 (0.518)
	Acer <i>n</i> = 44	8.50 (0.000)	7.44 (0.836)	4.58 (0.612)	0.00 (0.000)	8.88 (1.125)	6.20 (0.736)
	HP <i>n</i> = 32	8.45 (0.714)	8.13 (0.846)	1.41 (0.000)	0.63 (0.846)	10.00 (0.000)	5.83 (0.405)
	Ordissimo <i>n</i> = 2	2.70 (0.000)	6.75 (0.000)	4.95 (0.000)	5.50 (0.000)	10.00 (0.000)	5.85 (0.150)
	Dell <i>n</i> = 43	8.50 (0.000)	8.40 (0.000)	6.15 (0.000)	0.00 (0.000)	10.00 (0.000)	6.63 (0.087)
	Microsoft <i>n</i> = 31	3.21 (1.412)	7.67 (0.384)	0.28 (0.007)	0.00 (0.000)	8.19 (0.597)	3.98 (0.381)
	Huawei <i>n</i> = 3	5.40 (0.000)	8.25 (0.000)	6.15 (0.000)	10.00 (0.000)	10.00 (0.000)	8.00 (0.000)
	Honor <i>n</i> = 1	5.40 (0.000)	8.25 (0.000)	6.15 (0.000)	10.00 (0.000)	10.00 (0.000)	8.00 (0.000)
	MSI <i>n</i> = 29	6.20 (0.000)	8.34 (0.247)	0.84 (0.000)	9.88 (0.288)	8.50 (0.000)	6.68 (0.202)
	Schneider <i>n</i> = 1	NC	NC	NC	NC	NC	4.00 (0.000)
	Apple <i>n</i> = 44	0.00 (0.000)	0.00 (0.000)	0.00 (0.000)	0.00 (0.000)	0.00 (0.000)	5.98 (0.275)
LG <i>n</i> = 8	8.80 (0.000)	7.15 (0.000)	7.82 (0.000)	8.00 (0.000)	8.12 (0.000)	7.79 (0.136)	

Alienware	8.50	8.40	6.15	0.00	10.00	6.60
$n = 9$	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)
Razer	NC	NC	NC	NC	NC	7.62
$n = 12$						(0.167)

Table 2.5 - Scores obtenus par les ordinateurs portables. Les scores ont été calculés par marque et pour chacun des cinq critères principaux.

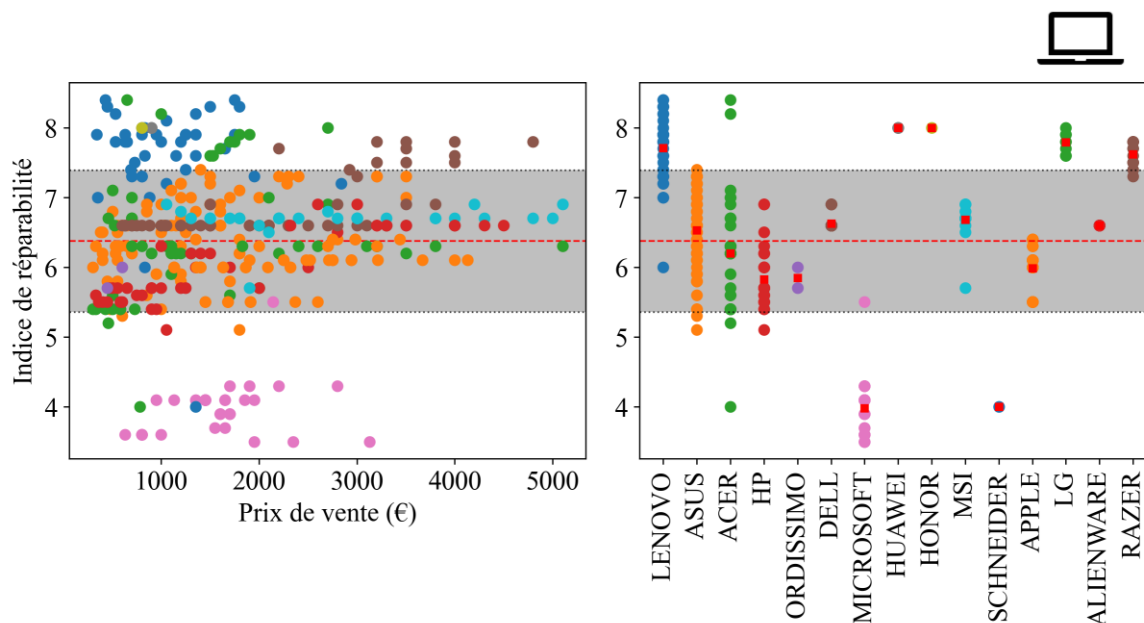


Figure 2.5 - Scores obtenus par les ordinateurs portables en fonction de la marque et du prix de vente. La ligne rouge pointillée représente la moyenne des scores et la zone grise l'écart d'une déviation standard.

La figure 2.5 reprend les résultats obtenus pour les ordinateurs portables en fonction de la marque et du prix de vente de l'appareil. On peut constater les bons scores des ordinateurs LG et Lenovo tandis que les ordinateurs portables de Microsoft présentent les plus bas résultats. Les mauvais scores de ces ordinateurs portables s'expliquent par le 0 obtenu pour la disponibilité et le prix des pièces détachés (critères 3 et 4). Les autres marques comme Asus, Acer et HP présentent des résultats similaires autour de la moyenne globale.

La figure 2.6 présente les scores en fonction des différents critères. A nouveau, la disponibilité des pièces détachées présente des notes assez basse (critère 3) tandis que les scores pour leurs prix (critère 4) sont moyens. Les critères 1 et 2 montrent des scores plus élevés mais un effort sur la documentation est possible. On peut constater que les indices plus faibles de certaines marques proviennent principalement de leur politique de réparation en matière de pièces détachées (prix et disponibilité). Cela se traduit par une grande disparité entre les marques mais également au sein de certaines marques avec par exemple Asus qui obtient des scores répartis entre 3 et 10 pour le critère 4.

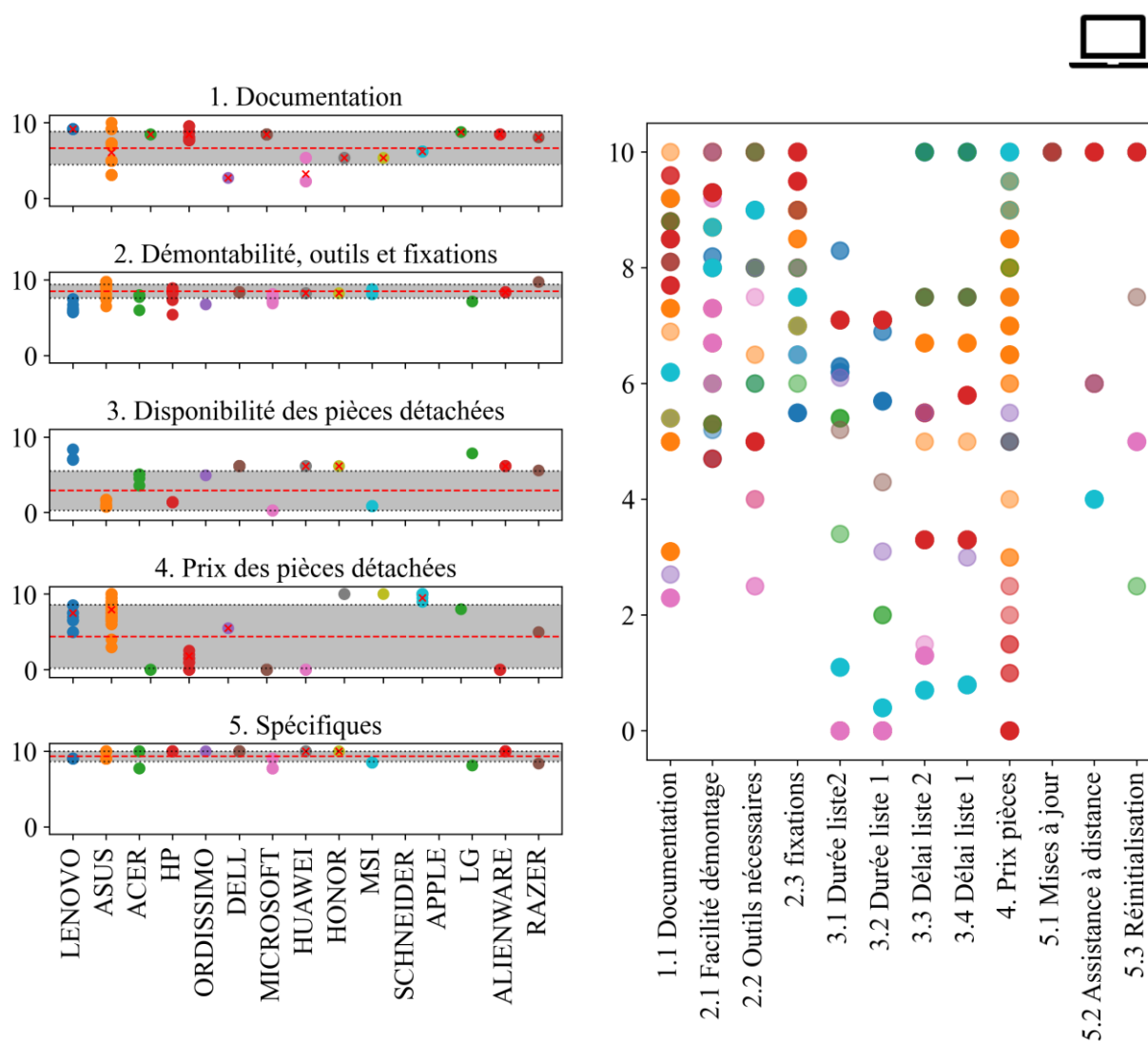


Figure 2.6 – Scores obtenus par les ordinateurs portables pour les différents sous-critères. La ligne rouge pointillée représente la moyenne des scores et la zone grise l'écart d'une déviation standard.

2.4. Améliorations possibles dans la construction de l'indice

Comme vu dans la section précédente, la construction de l'indice reposant sur une moyenne pondérée est relativement simple. Cette méthode purement mathématique peut permettre d'accorder un score relativement élevé à un équipement électronique qui dispose d'une lacune forte sur un certain point (rendant l'objet difficilement réparable) mais compensée par les scores dans les autres critères.

Afin de corriger ce biais, on a retenu trois variantes que propose HOP dans son rapport sur l'indice de réparabilité ainsi qu'une supplémentaire basée sur une moyenne géométrique.

- **Variante 1 :** *Différencier le poids attribué à chaque critère en donnant plus d'importance aux critères clés.*

A la place d'avoir un poids équivalent de 20% pour les cinq critères, un poids différent est accordé selon l'importance du critère : 15% pour le critère 1 (documentation), 25% pour le critère 2 (désassemblage), 25% pour le critère 3 (disponibilité des pièces détachées), 25% pour le critère 4 (prix des pièces détachées) et 10% pour le critère 5 (spécifique).

- **Variante 2 :** *Introduire un mécanisme de seuil minimum pour certains critères*

Si un des critères parmi les trois premiers est inférieur à 10 sur 20, le calcul de l'indice se fait sur 6 au lieu de 10 afin d'éviter un pictogramme vert pour le résultat final.

- **Variante 3 :** *Introduire une relation d'interdépendance entre certains critères*

Cette option diffère de la précédente en considérant les interdépendances entre les critères. Ainsi, si un des trois premiers critères est inférieur à 10 sur 20, la note des deux autres est réduite de moitié.

- **Variante 4 :** *Réaliser une moyenne géométrique plutôt qu'arithmétique avec les 5 critères principaux.*

Cette option a pour but de sanctionner de manière plus importante les écarts entre les notes des critères. Ainsi, une note proche de zéro pour un des critères aura tendance à réduire fortement le score final de l'indice.

Les figures 2.7, 2.8 et 2.9 montrent les résultats obtenus avec les différentes variantes. Concernant la première option qui est simplement de changer le poids des critères, on peut apercevoir une faible baisse des indices pour les trois types d'équipement électronique. Cette solution peut ainsi corriger légèrement l'indice mais ne change pas fondamentalement les conclusions précédentes et surtout l'effet de compensation des critères. Contrairement à l'option 2 et 3 qui permettent d'éviter l'effet de compensation grâce au mécanisme de seuil minimum. On constate que l'option 2 qui considère les critères comme indépendants entraîne une réduction de l'indice plus importante que l'option 3 qui réduit la note des autres critères de moitié si un critère n'atteint pas un certain seuil. L'option 4 (moyenne géométrique) sanctionne fortement les mauvais scores d'un critère. En effet, l'analyse des scores des téléviseurs a montré qu'un nombre important de produits avaient reçu la note minimale pour le critère 4 (prix des pièces détachées). Cela a pour conséquence de faire tomber la note à 0 dans le calcul géométrique de l'indice de réparabilité. Ainsi, cette solution pousse les fabricants à avoir des scores corrects dans tous les critères car un mauvais score dans un seul critère peut avoir un grand impact sur la note finale.

En regardant les scores et la différence avec les notes officielles de l'indice de réparabilité, on constate que, peu importe l'option choisie, les tendances restent les mêmes entre les marques et entre les différents produits. Cependant, ces options permettent de montrer les possibilités de correction de la méthode de calcul afin d'exploiter au mieux cette initiative pour encourager la réparation chez les utilisateurs mais également d'encourager les bonnes pratiques du côté des fabricants.

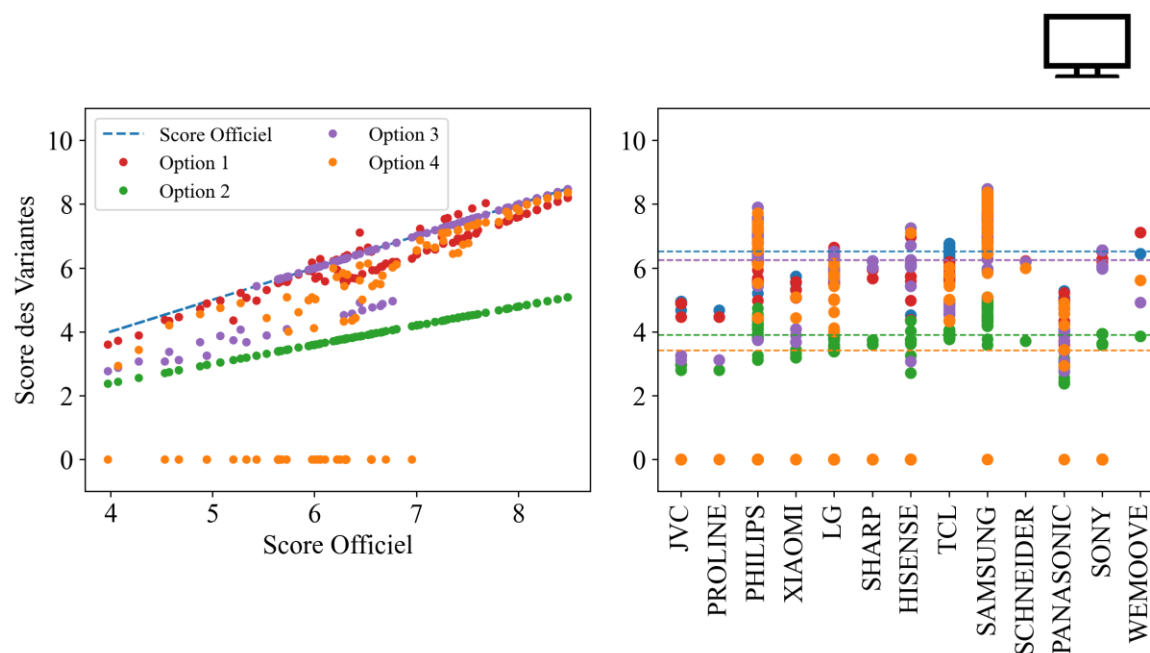


Figure 2.7 – Scores obtenus pour les téléviseurs suivant les différentes options considérées pour le calcul de l'indice. Les lignes en pointillés représentent les moyennes des différentes variantes.

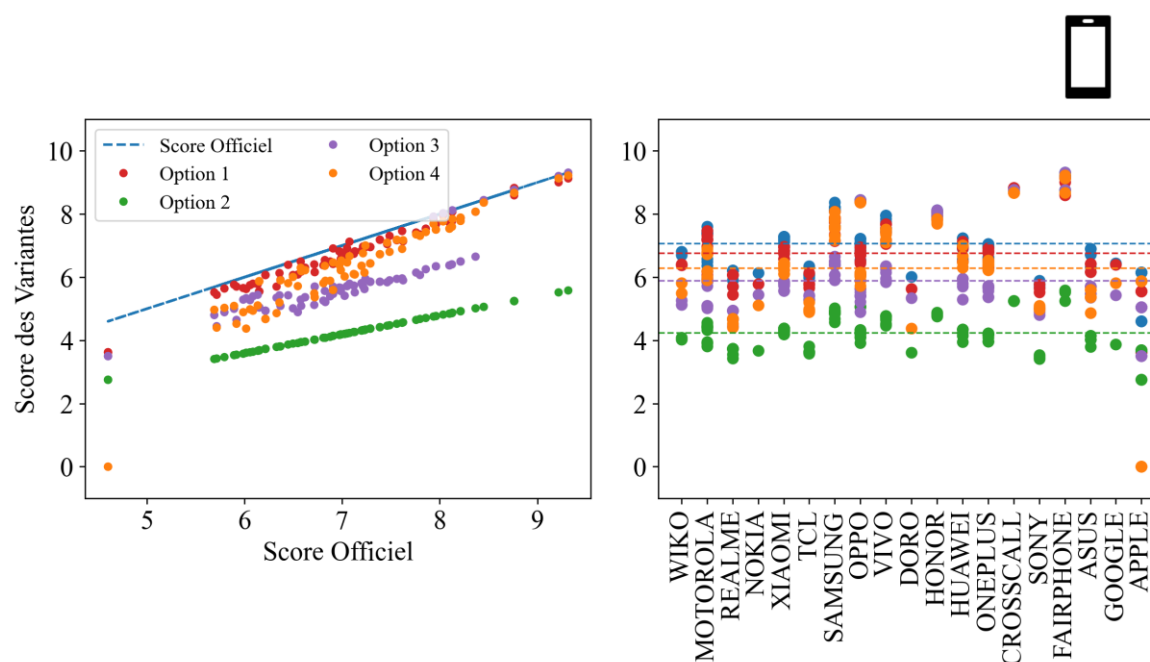


Figure 2.8 – Scores obtenus pour les smartphones suivant les différentes options considérées pour le calcul de l'indice. Les lignes en pointillés représentent les moyennes des différentes variantes.

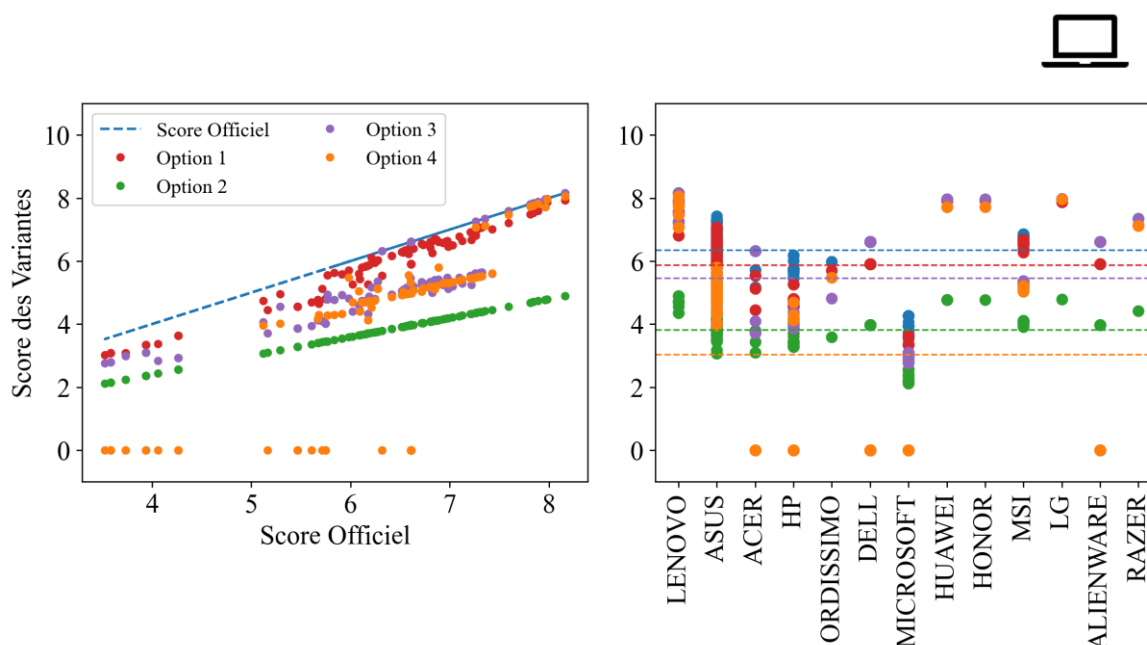


Figure 2.9 – Scores obtenus pour les ordinateurs portables suivant les différentes options considérées pour le calcul de l'indice. Les lignes en pointillés représentent les moyennes des différentes variantes.

2.5. Discussion

Les résultats obtenus ont tout d'abord montré le peu de relation entre le prix de vente des objets électroniques et l'indice de réparabilité. En approfondissant l'étude, on a pu apercevoir les différences d'indice entre les différentes marques et les différents équipements. Il faut cependant noter que la majorité des notes sont supérieures à 4. Ce qui rend le bas de l'échelle de l'indice peu utilisé. Nos résultats ont montré un indice de réparabilité moyen de 7.02, 6.52 et 6.37 pour les smartphones, téléviseurs et ordinateurs portables, respectivement.

Les scores pour la documentation (critère 1) et la facilité de démontage (critère 2) sont assez élevés, particulièrement pour les téléviseurs. Le prix et disponibilité des pièces détachées (critères 3 et 4) sont plus variables au sein des appareils de même marque mais également entre différentes marques. On notera cependant la bonne performance des smartphones avec des prix raisonnables pour les pièces détachées (critère 4) comparé au prix de vente.

De manière similaire à l'étude de HOP, les produits ayant un indice de réparabilité faible (entre 2 et 3,9) et très faible ($\leq 1,9$) restent marginaux. Cela signifie que soit la plupart des produits présentent de bonnes caractéristiques de réparation, soit la grille actuelle ne permet pas une discrimination suffisante entre les produits et n'est pas assez stricte avec les produits difficilement réparables. Cette constatation tempère le fait que l'indice de réparabilité permette effectivement aux consommateurs d'identifier facilement les produits plus réparables que les

autres. Ainsi, le fait que les indices soient principalement concentrés dans le haut de l'échelle (avec un score presque systématiquement supérieur à 5) limite le plein potentiel de l'initiative.

La possibilité de scores corrects malgré le fait qu'aucun effort n'ait été fait de la part du fabricant est ainsi en contradiction avec l'un des objectifs fondamentaux de l'indice de réparabilité, qui est de pousser les fabricants à adopter de meilleures pratiques d'éco-conception.

L'organisme HOP a réalisé certains tests pour vérifier la conformité de la note obtenue par les équipements et donnée par les fabricants. Ils ont trouvé des scores presque systématiquement inférieurs, sauf pour un produit. Les différences obtenues s'élèvent à 1,3 à 1,5 point sur 10 pour trois des six produits examinés. Dans certains cas, ces différences changent la couleur de l'indice. HOP avance que cela peut notamment avoir un impact important sur le comportement du consommateur.

Lors de l'élaboration de l'indice, il a été choisi de rendre les fabricants responsables de la déclaration de la note obtenue par leurs appareils. Ce système est ainsi basé sur le principe de transparence et soumis à la vigilance des acteurs du marché et de l'autorité publique. Pour assurer cette transparence, il est nécessaire que les fabricants fournissent la grille de calcul complète et détaillée ainsi que les engagements sur lesquels ils basent leurs calculs (en particulier les périodes de disponibilité de leurs pièces et leurs conditions d'accès). Cela obligera d'une part les fabricants à remplir avec sérieux cette liste et d'autre part, aux autres acteurs (publics et privés) d'être critiques par rapport aux notes obtenues par les appareils. Un véritable contrôle de l'indice de réparabilité par le marché est cependant difficilement réalisable. Selon le fabricant, certaines informations sont plus ou moins accessibles et donc vérifiables. Ainsi les engagements sur la disponibilité des pièces de rechange dans le temps ne sont presque jamais spécifiés, et un catalogue de pièces détachées est difficilement accessible. La vérification des déclarations des producteurs nécessite des interactions avec l'ensemble des acteurs concernés pour vérifier réellement les pratiques des producteurs (comme le fait de donner aux réparateurs indépendants l'accès aux pièces détachées ou non).

Plus généralement, certains obstacles spécifiques à la réparation ne sont pas encore pris en compte dans l'indice de réparabilité. Ces obstacles comprennent, par exemple, la facilité d'accès aux documents, la qualité des documents fournis ou la quantité de pièces de fixation. De grandes différences peuvent être observées entre modèles de produits, ce qui peut affecter la réparabilité d'un produit.

Dans certains cas, HOP a constaté des indications fortes que certains producteurs n'ont pas scrupuleusement rapporté l'encodage des caractéristiques de leurs produits. En particulier, pour le critère 3 (disponibilité des pièces de rechange), ils ont observé des scores élevés

déraisonnables. Ce critère repose entièrement sur les engagements des producteurs et nécessite donc plus de transparence de leur part. Dans une moindre mesure, la disponibilité des documents (critère 1) a également tendance à être surévaluée tandis que la facilité de démontage (critère 2) montre des scores en accord avec l'étude de HOP. Le critère 4 (prix des pièces de rechange) est impossible à vérifier correctement en raison de la confidentialité des données.

L'indice représente un progrès indéniable dans l'évaluation de la réparabilité des produits électroniques et prend en compte les principaux obstacles à la réparation. Les scores actuels semblent cependant assez généreux. Il apparaît ainsi nécessaire de revoir le système de pondération de l'indice pour donner la priorité au démontage, à la disponibilité et au prix des pièces détachées (critères 1 à 3). Bien qu'en réalité de très mauvais résultats dans l'un de ces critères rendraient la réparation impraticable, un tel produit peut encore atteindre un bon score global, car les mauvais scores dans un critère sont compensés par les autres.

Par exemple, la faible note des téléviseurs Philips pour le prix des pièces détachées semble suggérer que le prix pourrait empêcher la réparation de certaines pièces détachées dans la réalité. Pourtant le score moyen obtenu par les téléviseurs est tout de même à 6.6. Ces résultats suggèrent la nécessité de revoir le système de pondération de l'indice de réparabilité.

Afin de corriger cela, quatre nouvelles constructions de l'indice ont été proposées et toutes donnent des tendances plus faibles pour les scores obtenus en punissant plus ou moins fortement les mauvais scores de certains critères. La tendance des scores, c'est-à-dire le fait que certains équipements présentent des scores plus élevés que d'autres, reste cependant similaire. Cela démontre l'utilité de l'indice pour la comparaison de la réparabilité des différents produits à la condition que l'encodage des notes des différents critères soit réalisé honnêtement et de manière similaire par tous les acteurs.

Finalement, d'après l'étude de HOP, il semble qu'une application plus stricte de l'affichage de l'indice de réparabilité est nécessaire pour permettre à davantage de consommateurs d'identifier les produits les plus réparables.

Conclusion

L'augmentation des déchets électroniques (53.6 Mt en 2019 et 74.5 Mt attendues en 2030) a des conséquences sociétales et écologiques importantes : décharge sauvage, émission de gaz à effet de serre, pollution des sols, etc. Afin de répondre à ce problème, la réduction et la revalorisation des déchets suivant les principes de l'économie circulaire sont indispensables. Rester au sein d'une économie linéaire qui ne se préoccupe pas de la fin de vie des objets électroniques est en effet incompatible avec les nouveaux enjeux auxquels nous sommes confrontés.

Parmi les solutions possibles aux déchets électroniques, la réparation est celle qui présente un des plus grands potentiels en termes d'extension de la durée de vie des produits, de consommation énergétique et au final d'impact environnemental. Nos habitudes de consommation et de réparation doivent cependant évoluer pour correspondre aux objectifs de développements nationaux et européens fixés. L'Union européenne a ainsi récupéré et revalorisé 47.3% des déchets générés sur son territoire en 2019 alors que son objectif était de 65%.

La France a décidé de lancer un indice de réparabilité le 1^{er} janvier 2021 afin de sensibiliser les consommateurs à la réparation mais également d'inciter les fabricants à améliorer le design et la conception de leurs produits. L'indice a d'abord été appliqué pour cinq catégories de produits : smartphones, téléviseurs, ordinateurs portables, machine à laver et tondeuse à gazon électrique. L'initiative a cependant pour but d'être étendue à d'autres équipements électroniques mais également de s'exporter à d'autres territoires en dehors de la France.

Dans ce travail, nous nous sommes concentrés sur les appareils présentant le plus grand potentiel de réparabilité, à savoir les smartphones, les téléviseurs et les ordinateurs portables. 216 téléviseurs, 112 smartphones et 383 ordinateurs portables ont ainsi été analysés grâce aux données collectées au sein de la société française Darty. L'indice représente un réel progrès pour améliorer nos habitudes de réparation et répond à sa double mission d'information et de sensibilisation auprès du consommateur. Les scores obtenus semblent cependant assez généreux et le calcul du score basé sur une simple moyenne des critères présente des limites. Afin de corriger ce calcul simple, plusieurs variantes ont été proposées pour éviter le phénomène de compensation et dilution.

Cette correction est indispensable afin d'avoir un score final qui reflète correctement la réparabilité réelle de l'équipement et éviter les produits affichant un bon score mais irréparables en pratique.

Bibliographie

- Abeliotis, K., Boikou, K., Chroni, C., Kalafata, K., Angelakopoulos, H., & Lasaridi, K. (2021). WEEE Preparing for Reuse in Greece: Potential and Initiatives. *Waste and Biomass Valorization*, 12(6), 2959-2968.
- ADEME. (2021). *Etude de préfiguration en vue de la mise en oeuvre d'un indice de durabilité*. Paris: Expertises.
- ADEME. (2021). *Preparatory Study for the Introduction of a Durability Index*. Paris: Expertises.
- Bertoldi, P., & Atanasiu, B. (2007). *Electricity Consumption and Efficiency Trends in the Enlarged European Union*. Italy: Institute for Environment and Sustainability.
- Bovea, M. D., Ibáñez-Forés, V., Pérez-Belis, V., & Juan, P. (2018). A survey on consumers' attitude towards storing and end of life strategies of small information and communication technology devices in Spain. *Waste Management*, 71, 589-602.
- Bovea, M. D., Ibáñez-Forés, V., Pérez-Belis, V., & Quemades-Beltrán, P. (2016). Potential reuse of small household waste electrical and electronic equipment: Methodology and case study. *Waste Management*, 53, 204-2017.
- Bovea, M. D., Pérez-Belis, V., & Quemades-Beltran, P. (2017). Attitude of the stakeholders involved in the repair and second-hand sale of small household electrical and electronic equipment: Case study in Spain. *Journal of Environmental Management*, 196, 91-99.
- Calvo, G., Mudd, G., Valero, A., & Valero, A. D. (2016). Decreasing ore grades in global metallic mining: A theoretical issue or a global reality? *Resources*, 36(5).
- Chi, X., Wang, M. Y., & Reuter, M. A. (2014). E-waste collection channels and household recycling behaviors in Taizhou of China. *Journal of Cleaner Production*, 87-95.
- Clarke, C., Williams, I., & Turner, D. (2019). Evaluating the carbon footprint of WEEE management in the UK. *Resources Conservation Recycling*, 141, 465-473.
- Cole, C., Cooper, T., & Gnanapragasam, A. (2016). Extending product lifetimes through WEEE reuse and repair: Opportunities and challenges in the UK. *Electronics Goes Green 2016+*, 1-9.
- Comission, E. (2022, Mars 22). *Questions and Answers: A New Circular Economy Action Plan for a Cleaner and More Competitive Europe*. Récupéré sur European Comission: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_20_419
- Cui, J., & Forssberg, E. (2003). E. Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 243-263.

- Cui, J., & Zhang, L. (2008). Metallurgical recovery of metals from electronic waste: A review. *Journal Hazardous Materials*, 228-256.
- Dindarian, A., Gibson, A., & Quariguasi-Frota-Neto, J. (2012). Electronic product returns and potential reuse opportunities: a microwave case study in the United Kingdom. *Journal of Cleaner Production*, 22-31.
- E. P. (2002). *Directive, E.U. 96/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on waste electrical and electronic equipment (WEEE)*. Brussels, Belgium: Official Journal of the European Union.
- European Parliament and Council. (2012). *Directive 2012/19/EU Of The European Parliament And Of The Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE)*. Brussels, Belgium: Official Journal of the European Union.
- Ford, P., Santos, E., Ferrão, P., Margarido, F., Vliet, K. J., & Olivetti, E. (2016). Utilizing Economic Value, Resource Availability, and Environmental Impact Metrics to Improve the WEEE and Battery Directives and Promote Alignment with the European Commission Circular Economy Strategy. *REWAS 2016*, 289-295.
- Forti, V., Baldé, C. P., Kuehr, R., & Bel, G. (2020). *The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential*. United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosted SCYCLE Programme. Bonn/Geneva/Rotterdam: International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA).
- Franquesa, D., & Navarro, L. (2018). Devices as a Commons: limits to premature recycling. *Proceedings of the 2018 Workshop on Computing within Limits*, 1-10.
- Gutowski, T., Sahni, S., Boustani, A., & Graves, S. (2011). Remanufacturing and energy savings. *Environmental Science & Technology*, 4540-4547.
- Halte à l'Obsolescence Programmée. (2022). *The French Repairability Index*.
- Hischier, R., & Böni, H. W. (2021). Combining environmental and economic factors to evaluate the reuse of electrical and electronic equipment – a Swiss case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 1-8.
- Islam, M. T., Huda, N., Baumber, A., Shumon, R., Zaman, A., Ali, F., . . . Sahajwalla, V. (2021). A global review of consumer behavior towards e-waste and implications for the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 316, 1-36.
- Kallis, G., & Butler, D. (2001). The EU water framework directive: Measures and implications. *Water Policy*, 3, 125-142.
- Kang, H., & Schoenung, J. (2005). Electronic waste recycling: A review of US infrastructure and technology options. *Resources Conservation and Recycling*, 368-400.

- Kaya, M. (2018). *3 - Current WEEE recycling solutions*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Ltd.
- Khaliq, A., Rhamdhani, M., Brooks, G., & Masood, S. (2014). Metal extraction processes for electronic waste and existing industrial routes: A review and Australian perspective. *Resources*, 152-179.
- Kissling, R., Coughlan, D., Fitzpatrick, C., Boeni, H., Luepschen, C., Andrew, S., & Dickenson, J. (2013). Success factors and barriers in re-use of electrical and electronic equipment. *Resources Conservation Recycling*, 21-31.
- Lin, C., Yan, L., & Davis, A. G. (2001). Globalization, extended producer responsibility and the problem of discarded computers in China: An exploratory proposal for environmental protection. *Georgetown International Environmental Law Review*, 525.
- Makov, T., & Fitzpatrick, C. (2021). Is repairability enough? big data insights into smartphone obsolescence and consumer interest in repair. *Journal of Cleaner Production journal*, 313, 1-10.
- Mashhadi, A. R., Esmailian, B., & Behdad, S. (2016). Simulation Modeling of Consumers' Participation in Product Take-Back Systems. *Journal of Mechanical Design*, 138(5), 1-11.
- Miao, Z., Mao, H., Fu, K., & Wang, Y. (2018). Remanufacturing with trade-ins under carbon regulations. *Computers & Operations Research*, 253-258.
- Ministère de la transition écologique. (2020). *Décret n° 2020-1757 du 29 décembre 2020 relatif à l'indice de réparabilité des équipements électriques et électroniques*. Paris: Légifrance.
- Nes, N. v., & Cramer, J. (2005). Influencing product lifetime through product design. *Business Strategy and the Environment*, 14(5), 286-299.
- Ongondo, F., Williams, I., & Cherret, T. (2011). How are WEEE doing? A global review of the management of electrical and electronic wastes. *Waste Management*, 31(4), 714-730. doi:10.1016/j.wasman.2010.10.023
- Ongondo, F., Williams, I., Dietrich, J., & Carroll, C. (2013). ICT reuse in socio-economic enterprises. *Waste Management*, 2600-2606.
- Parajuly, K., & Wenzel, H. (2017). Potential for circular economy in household WEEE management. *Journal of Cleaner Production*, 151, 272-285.
- Perez-Belis, V., Braulio-Gonzalo, M., Juan, P., & Bovea, M. (2017). Consumer attitude towards the repair and the second-hand purchase of small household electrical and electronic equipment. A Spanish case study. *Journal of Cleaner Production*, 158, 261-275.

- Roller, G., & Führ, M. (2008). Individual Producer Responsibility: A Remaining Challenge under the WEEE Directive. *Review of European Community & International Environmental Law*, 17(3), 277-283.
- Sabbaghi, M., & Behdad, S. (2018). Consumer decisions to repair mobile phones and manufacturer pricing policies: The concept of value leakage. *Resources, Conservation and Recycling*, 133, 101-111.
- Sabbaghi, M., Cade, W., Behdad, S., & Bisantz, A. M. (2017). The current status of the consumer electronics repair industry in the U.S.: A survey-based study. *Resources, Conservation and Recycling*, 116, 137-151.
- Schluep, M., & Wasswa, J. (2008). *e-Waste Assessment in Uganda: A Situational Analysis of e-waste Management and Generation with Special Emphasis on Personal Computers*. Switzerland: EMPA – Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research.
- Seyring, N., Kling, M., Weissenbacher, J., Hestin, M., Lecerf, L., Magalini, F., . . . Kuehr, R. (2015). *Study on WEEE Recovery Targets, Preparation for Re-Use Targets and on the Method for Calculation of the Recovery Targets*. Brussels, Belgium: Publications Office of the European Union.
- Thiébaud, E., Hilty, L. M., Schluep, M., Widmer, R., & Faulstich, M. (2017). Service Lifetime, Storage Time, and Disposal Pathways of Electronic Equipment: A Swiss Case Study. *Journal of Industrial Ecology*, 196-208.
- Van Yken, J., Boxall, N. J., Cheng, K. Y., Nikoloski, A. N., Moheimani, N. R., & Kaksonen, A. H. (2021). E-Waste Recycling and Resource Recovery: A Review on Technologies, Barriers and Enablers with a Focus on Oceania. *Metals*, 11(8), 1313. doi:10.3390/met11081313
- Widmer, R., Oswald-Krapf, H., Sinha-Khetriwal, D., Schnellmann, M., & Böni, H. (2005). Global perspectives on e-waste. *Environmental Impact Assessment Review*, 436-458.
- World Commission on Environment and Development. (1987). *Our Common Future*. Oxford University Press.
- Zlamparet, G. I., Tan, Q., Stevels, A., & Li, J. (2018). Resource conservation approached with an appropriate collection and upgrade-remanufacturing for used electronic products. *Waste Management*, 78-86.

Abstract :

The transformations that our societies undergo leads to an increasing production and use of electronic equipment. This increase results in a growing generation of waste related to these products with important impacts on the environment. Many political and private initiatives have been developed in different countries to reduce the amount of electronic waste. At the European level, the directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council sets clear targets for the collection and recovery of this waste. Among the recovery solutions, repair has the lowest environmental impact compared to other solutions such as energy recovery or recycling.

This work investigates the French initiative of reparability index deployed on January 1, 2021, which has the dual objective of raising awareness of repair among consumers and encouraging eco-design on the part of producers. To carry out the analysis, a literature review on e-waste, policy initiatives in the circular economy formalism and the consumers' point of view is carried out in the first part of the work. The second part concerns the critique of the index in which the scores of more than 700 electronic devices (TVs, smartphones and laptops) were analyzed. The results were then discussed and several variants to the index calculation method were proposed to reduce the biases induced by the calculation via a simple arithmetic average. Our results, corroborated with other studies, show the validity and the positive impact of the approach but show the possible improvements in the transparency, application and calculation of the index.

Résumé :

Les transformations que subissent nos sociétés entraînent une production et une utilisation de plus en plus importantes d'équipements électroniques. Cette augmentation a pour conséquence une génération grandissante de déchets liés à ces produits avec des impacts importants sur l'environnement. De nombreuses initiatives politiques et privées se sont développées dans différents pays afin de réduire la quantité de déchets électriques et électroniques. Au niveau européen, la directive 2012/19/UE du Parlement européen et du Conseil fixe ainsi des objectifs clairs de récolte et de revalorisation de ces déchets. Parmi les solutions de revalorisation, la réparation est celle avec l'impact environnemental le plus faible comparé à d'autres solutions comme la revalorisation énergétique ou le recyclage.

Ce travail investigate l'initiative française d'indice de réparabilité déployé le 1^{er} janvier 2021 qui a comme double objectif la sensibilisation à la réparation auprès des consommateurs et l'incitation à l'éco-conception chez les producteurs. Pour mener à bien l'analyse, une revue de la littérature sur les déchets électroniques, les initiatives politiques dans le formalisme de l'économie circulaire et le point de vue des consommateurs est réalisée dans la première partie du travail. La seconde partie concerne la critique de l'indice dans laquelle les scores de plus de 700 équipements électroniques (téléviseurs, smartphones et ordinateurs portables) ont été analysés. Les résultats ont ensuite été discutés et plusieurs variantes à la méthode de calcul de l'indice ont été proposées pour réduire les biais induits par le calcul utilisant une simple moyenne arithmétique. Nos résultats, corroborés à d'autres études, montrent le bien-fondé et l'impact positif de la démarche. Des améliorations possibles dans la transparence, l'application et le calcul de l'indice ont cependant été avancées afin d'augmenter l'impact de l'indice.

UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN
Louvain School of Management

Place des Doyens, 1 bte L2.01.01, 1348 Louvain-la-Neuve
Boulevard Emile Devreux 6, 6000 Charleroi, Belgique
Chaussée de Binche 151, 7000 Mons, Belgique

www.uclouvain.be/lsm