Institut Français d'Économie
SciencesPo

Blog ??
2024

Écologique tout en étant intelligent?

Jessica Coria

Publié le 4 novembre 2024

Si les technologies vertes et intelligentes sont essentielles pour réduire les émissions, leur durabilité dépend de l'optimisation de leur cycle de vie, notamment en ce qui concerne l'approvisionnement en matériaux, le recyclage et la gestion des déchets.

Les sources d'énergie renouvelables telles que l'énergie solaire, l'énergie éolienne et l'énergie hydraulique sont essentielles pour réduire les émissions mondiales de carbone en remplaçant la production d'énergie à base de combustibles fossiles. Selon l'Agence internationale pour les énergies renouvelables ((IRENA), 2020), le déploiement à grande échelle des énergies renouvelables, associé à des améliorations de l'efficacité énergétique, pourrait réduire les émissions de CO2 liées à l'énergie de 70 % d'ici à 2050. Cela nous rapprocherait grandement de la réalisation de l'accord de Paris, même si des efforts supplémentaires dans d'autres secteurs seront encore nécessaires pour atteindre pleinement les objectifs de l'accord. L'adoption généralisée des véhicules électriques et l'électrification des transports publics et des poids lourds sont également des éléments essentiels de la transition énergétique, car ils réduisent considérablement les émissions provenant de l'une des plus grandes sources de pollution mondiale par le carbone, à savoir les transports. En outre, les technologies de l'information - en particulier les réseaux intelligents et la numérisation - sont essentielles pour optimiser les systèmes énergétiques. Ces technologies améliorent l'intégration des sources d'énergie renouvelables et l'utilisation efficace du stockage de l'énergie, ce qui est essentiel pour surmonter la nature intermittente de l'énergie solaire et éolienne. En outre, les technologies intelligentes améliorent l'efficacité énergétique des bâtiments et des industries, aident à gérer plus efficacement les ressources telles que l'eau et l'énergie en réduisant le gaspillage et la surconsommation, et permettent des solutions de transport plus intelligentes et à faibles émissions. Ensemble, ces avancées jouent un rôle important dans la réduction des émissions globales dans différents secteurs. Si les technologies vertes et intelligentes sont très prometteuses pour atténuer le changement climatique, un aspect critique souvent négligé est leur impact sur l'environnement tout au long de leur cycle de vie, de l'extraction des matières premières à leur élimination. Cela soulève une question importante : Les technologies *« vertes »* et*« intelligentes »* sont-elles vraiment aussi écologiques qu'elles le paraissent ?

1 Le dilemme du cycle de vie des technologies vertes et intelligentes

Bien qu'il n'existe pas de définition unique des technologies vertes, de nombreuses définitions émanant d'organisations telles que l'OCDE, le GIEC et la CCNUCC soulignent leur rôle dans l'adaptation au changement climatique et l'atténuation de ses effets. Cependant, l'approche du cycle de vie devient de plus en plus importante pour définir ce que signifie être vert. Selon cette approche, un produit doit minimiser son impact sur l'environnement à chaque étape - de l'extraction des matières premières à la production, l'utilisation et l'élimination ou le recyclage - en veillant à ce que son empreinte environnementale globale reste aussi faible que possible. En effet, de nombreuses technologies peuvent sembler vertes du fait de leur utilisation (par exemple, les panneaux solaires ou les voitures électriques). Cependant, le coût environnemental de l'extraction des matières premières, de la fabrication et de l'élimination en fin de vie peut compenser certains de leurs avantages. Par exemple, si les panneaux solaires produisent de l'énergie propre, l'extraction du silicium et des terres rares, ainsi que les difficultés liées à leur recyclage, constituent une charge environnementale importante. De même, la production de batteries pour les véhicules électriques nécessite l'extraction de lithium et de cobalt, ce qui peut épuiser les ressources en eau, endommager les écosystèmes et exposer les communautés locales à une contamination environnementale (Sovacool *et al.*, 2020).

Les technologies intelligentes conçues pour améliorer l'efficacité contribuent également au problème croissant des déchets électroniques en raison de leur courte durée de vie. Par exemple, les smartphones ont une durée de vie de 2 à 3 ans, tandis que les ordinateurs portables, les tablettes et les appareils domestiques intelligents ont une durée de vie de 3 à 5 ans. Ces appareils sont souvent remplacés en raison de la dégradation de la batterie, de l'absence de mises à jour logicielles ou de la sortie de nouveaux modèles (Aboughaly et Gabbar, 2020).

Selon le Global E-waste Monitor (Baldé *et al.*, 2024), le monde a généré 62 millions de tonnes métriques de déchets électroniques en 2022, mais seulement 22,3 % d'entre eux ont été collectés et recyclés par le biais de processus officiels et réglementés. Cela représente un fardeau environnemental et sanitaire considérable, car une grande partie des déchets électroniques restants sont traités dans des secteurs informels non réglementés ou envoyés dans des décharges.

La question des déchets électroniques n'est pas seulement une crise environnementale, mais aussi une question de justice environnementale, puisqu'une part importante des déchets électroniques produits dans les pays développés est exportée vers les pays en développement, où les réglementations et les infrastructures pour une élimination sûre font souvent défaut. Environ 5,1 millions de tonnes de déchets électroniques sont expédiées chaque année vers les pays en développement, dont 3,3 millions de tonnes sont transportées de manière incontrôlée, souvent sans surveillance appropriée ou sans respect des réglementations environnementales. Cependant, étant donné qu'une grande partie du commerce mondial des déchets électroniques n'est pas suivie ou passe par des canaux illégaux, ces chiffres ne représentent que la partie émergée de l'iceberg. Ces déchets électroniques non contrôlés aboutissent souvent dans des secteurs de recyclage informels, où des méthodes dangereuses telles que l'incinération ou le démantèlement de base sont utilisées pour récupérer des matériaux précieux. Ces pratiques libèrent des substances nocives comme le plomb et le mercure dans l'environnement, ce qui présente de graves risques pour la santé des communautés locales. Les enfants, en particulier,

sont vulnérables à ces toxines, qui peuvent entraîner des troubles cognitifs, une réduction du quotient intellectuel et une diminution du potentiel éducatif et économique (WHO, 2021).

L'un des principaux moteurs de ces mouvements transfrontaliers de déchets électroniques est le coût élevé du traitement et de l'extraction des métaux dans les pays développés, où des réglementations environnementales strictes rendent l'élimination onéreuse. Les pays en développement, où la main-d'œuvre est moins chère et les réglementations moins strictes, deviennent des destinations économiquement attrayantes pour les exportations légales et illégales de déchets électroniques, alors qu'ils manquent souvent d'infrastructures pour gérer les déchets dangereux en toute sécurité (Ilankoon *et al.*, 2018).

2 Au-delà des solutions rapides : Repenser les externalités environnementales pour une véritable durabilité

L'un des concepts fondamentaux de l'économie est celui des *« effets externes »*, ou externalités, qui se produisent lorsque les activités de production ou de consommation d'une partie affectent le bien-être d'autres parties. Alors que les externalités sont souvent considérées comme des exceptions ou des défaillances du marché, les externalités environnementales - en raison des lois de la masse et de l'entropie - sont la règle. La loi de la conservation de la masse stipule que la matière ne peut être ni créée ni détruite, mais seulement transformée, ce qui signifie que chaque processus de production laisse derrière lui des déchets ou des émissions sous la forme de sous-produits ou de polluants. La deuxième loi de la thermodynamique explique que l'utilisation de l'énergie entraîne inévitablement une perte de qualité énergétique ou entropie, souvent sous la forme de chaleur perdue ou de pollution. La pollution est donc une conséquence inévitable de l'utilisation et de la production d'énergie (Huesemann, 2001). Comme le souligne Sterner (1990), les politiques environnementales ont toujours été conçues non pas pour résoudre complètement les problèmes environnementaux, mais pour les transférer ou les retarder. Ces politiques ont souvent pour effet de déplacer les polluants vers d'autres zones - soit géographiquement, soit temporellement - sans s'attaquer aux causes profondes de la pollution.

Par exemple, dans ses recommandations en 1974, l'OCDE a recommandé l'utilisation de hautes cheminées pour disperser les émissions de dioxyde de soufre plus haut dans l'atmosphère, réduisant ainsi la pollution locale. Toutefois, cette approche n'a fait que transférer le problème à d'autres régions, car les polluants parcouraient de longues distances et finissaient par revenir sous forme de pluies acides, endommageant les écosystèmes à des centaines de kilomètres de là (Sterner, 1990).

Plusieurs pays ont ainsi déversé des déchets radioactifs dans la mer entre 1940 et 1970, en pensant que les eaux profondes de l'océan agiraient comme une zone de confinement. Avec le temps, cependant, des conteneurs corrodés ont fui, provoquant une pollution marine. Bien que l'impact total reste difficile à quantifier, la persistance de ces matières dangereuses continue de susciter des inquiétudes (Häder, 2021). Un autre exemple est la pollution de l'Arctique, où il n'y a jamais eu d'activité industrielle. Les polluants organiques persistants, interdits dans les pays développés, sont toujours produits et exportés vers des pays où les réglementations sont moins strictes. Ces polluants reviennent dans l'Arctique par le biais de l'air et des courants marins, s'accumulant dans

les écosystèmes et entrant dans la chaîne alimentaire (Varotsos et Krapivin, 2018). Les communautés autochtones, qui dépendent de régimes alimentaires marins, souffrent de niveaux élevés de substances toxiques, ce qui entraîne des problèmes de santé tels que des cancers, des perturbations hormonales et des malformations congénitales (Dudarev, 2012).

Tous ces exemples illustrent le fait que les solutions environnementales ont souvent des conséquences inattendues. Si nous ne nous attaquons pas aux causes profondes de la pollution et de l'épuisement des ressources, nous risquons de résoudre d'anciens problèmes tout en créant de nouvelles crises environnementales. Pour parvenir à une véritable durabilité, il faut adopter une approche globale qui prenne en compte les externalités environnementales tout au long du cycle de vie des biens, de la production à l'élimination. Ce n'est qu'ainsi que nous pourrons élaborer des politiques et des pratiques qui atténueront pleinement les conséquences environnementales de la consommation et de la production.

3 Les technologies vertes et intelligentes peuvent-elles vraiment être vertes ?

Pour que les technologies vertes et intelligentes soient réellement durables, nous devons donner la priorité à la conception durable, les alimenter en énergie renouvelable, nous approvisionner en minéraux de manière responsable grâce au recyclage ou à des pratiques minières durables, et assurer un recyclage et une gestion des déchets efficaces. Si nous ne prenons pas en compte l'ensemble de leur cycle de vie, nous risquons de déplacer la charge environnementale plutôt que de la traiter de manière globale.Si de nombreuses politiques d'économie circulaire mettent l'accent sur la conception durable, la récupération des matériaux et le recyclage, leur mise en œuvre reste incomplète. Plusieurs domaines clés requièrent une attention particulière pour boucler la boucle. Tout d'abord, il est essentiel d'investir dans les infrastructures de recyclage pour récupérer efficacement des matériaux tels que les terres rares et les composants électroniques. À l'échelle mondiale, les taux de recyclage des terres rares restent inférieurs à 1 %, alors que ces matériaux sont essentiels pour les produits de haute technologie tels que les batteries de véhicules électriques, les éoliennes et l'électronique (Jowitt *et al.*, 2018). Cette situation est particulièrement préoccupante, étant donné que les matériaux recyclés pourraient représenter plus de la moitié de la demande de matières premières pour les batteries lithium-ion d'ici 2040 si des systèmes appropriés sont mis en place ((IEA), 2021).

Des pays tels que ceux de l'UE et la Chine ont pris des mesures pour responsabiliser les fabricants en matière de recyclage des batteries par le biais de réglementations telles que les normes de contenu recyclé et la responsabilité élargie des producteurs. Cependant, une grande partie du monde, y compris les États-Unis, est à la traîne dans ces initiatives, ce qui laisse des lacunes importantes dans les infrastructures de recyclage et l'application de la réglementation (Dunn, Kendall et Slattery, 2022). En vertu du nouveau règlement de l'UE sur les batteries (EU Batteries Regulation), qui sera applicable à partir de 2030, les fabricants doivent inclure un pourcentage minimum de matériaux recyclés dans les nouvelles batteries. Ce règlement est conçu pour accroître la demande de contenu recyclé, ce qui pourrait créer des incitations économiques plus fortes pour développer plus rapidement des technologies de recyclage.Les grandes

entreprises technologiques et automobiles jouent un rôle important dans l'adoption de pratiques minières durables.

Certaines entreprises, comme Tesla et Apple, ont déjà pris des engagements fermes par le biais d'initiatives de transparence ou de promesses directes d'améliorer leurs chaînes d'approvisionnement et de réduire leur dépendance à l'égard des minerais de la guerre. Par exemple, Apple s'est engagé à utiliser 100 % de matériaux recyclés dans ses produits, et Tesla a rejoint la Fair Cobalt Alliance pour promouvoir un approvisionnement éthique. Toutefois, malgré ces mesures positives, il reste encore beaucoup à faire. De nombreuses industries s'appuient encore largement sur des pratiques minières non durables, et les efforts visant à améliorer la transparence et à faire respecter les normes éthiques doivent être déployés à l'échelle mondiale.

Il convient de noter qu'à l'instar de certaines matières premières (comme le bois, le café ou les diamants) qui doivent être certifiées pour prouver qu'elles proviennent de sources durables, il pourrait y avoir un système dans lequel les matériaux recyclés seraient vérifiés grâce à des pratiques durables. Les entreprises devraient alors retracer le cycle de vie des produits recyclés et prouver que les processus de recyclage sont éthiques et respectueux de l'environnement. Les consommateurs et les fabricants pourraient opter pour des produits utilisant des matériaux recyclés dans des installations durables, ce qui inciterait les entreprises à améliorer leurs méthodes de recyclage.

En augmentant la capacité de recyclage et en imposant des pratiques durables, nous pouvons réduire de manière significative l'exportation de déchets électroniques vers les pays en développement, où ils sont souvent traités de manière dangereuse. Dans bon nombre de ces pays, le secteur informel joue un rôle essentiel dans la collecte des déchets électroniques en raison de ses réseaux bien établis, ce qui le rend plus efficace que les systèmes formels dans la collecte des produits électroniques mis au rebut. Toutefois, le secteur informel ne dispose généralement pas de protocoles de sécurité et de contrôles environnementaux appropriés, ce qui entraîne des conditions de travail dangereuses et une contamination de l'environnement. Pour relever ces défis, la formalisation du secteur informel des déchets électroniques pourrait créer des emplois plus sûrs et plus productifs tout en garantissant une gestion appropriée des substances toxiques.

Des pays comme l'Inde et le Ghana ont déjà commencé à mettre en œuvre des programmes soutenus par des organisations internationales afin d'améliorer les compétences et les pratiques des travailleurs du secteur informel des déchets électroniques. En Inde, le gouvernement a introduit des règles de gestion des déchets électroniques (*E-Waste Management Rules*) afin d'encourager des pratiques de recyclage plus sûres et d'officialiser les travailleurs informels. Le Ghana a déployé des efforts similaires dans le cadre de projets tels que Agbogbloshie, qui forme les recycleurs informels à des méthodes plus sûres. Ces programmes constituent une base qui pourrait être élargie et étendue à d'autres pays confrontés à des défis similaires en matière de déchets électroniques.

Le comportement des consommateurs joue également un rôle essentiel dans l'amélioration de la durabilité des technologies vertes et intelligentes. Le renouvellement fréquent de produits tels que les smartphones et les appareils intelligents accélère le problème des déchets électroniques, contribuant à l'épuisement inutile des ressources et à la dégradation de l'environnement. Pour atténuer ce problème, il faut encourager

les consommateurs à faire des choix plus durables en optant pour des produits plus durables et réparables plutôt que de passer fréquemment à des modèles plus récents. Ce changement permettrait non seulement de réduire les déchets, mais aussi de diminuer l'impact environnemental associé à la production et à l'élimination de ces technologies.

Enfin, un domaine crucial d'amélioration réside dans la création d'incitations pour les fabricants à concevoir des produits plus faciles à réparer et à recycler, prolongeant ainsi leur durée de vie. Malgré la valeur élevée de matériaux tels que les éléments de terres rares, les coûts de recyclage restent prohibitifs, même si les économies d'échelle réalisées dans le domaine du recyclage devraient permettre de réduire les coûts au fil du temps. Ce problème persiste en grande partie parce que les produits sont conçus pour être performants et rentables plutôt que pour être recyclables en fin de vie. De nombreux appareils ont des composants étroitement intégrés, ce qui rend le démontage difficile, tandis que de petites quantités d'éléments de terres rares sont dispersées dans l'ensemble, ce qui rend leur récupération coûteuse.

Les processus de récupération complexes et gourmands en énergie, qui font souvent appel à des produits chimiques agressifs, font encore grimper les coûts de recyclage, qui deviennent alors plus onéreux que l'extraction de nouveaux matériaux. Cela crée un cercle vicieux : les technologies de recyclage restent sous-développées parce que les coûts élevés dissuadent l'investissement, perpétuant la dépendance à l'égard des matériaux vierges et entraînant de faibles coûts de production, au prix d'une dégradation accrue de l'environnement. La pratique de l'obsolescence programmée exacerbe le problème, les fabricants concevant délibérément des produits à courte durée de vie pour encourager les consommateurs à les mettre à niveau fréquemment, augmentant ainsi la demande de ressources et la production de déchets électroniques.

Pour parvenir à la durabilité, nous devons repenser fondamentalement la conception des produits. Les fabricants devraient se concentrer sur des conceptions modulaires qui simplifient le démontage et le recyclage, en utilisant des composants standardisés qui facilitent la récupération des matériaux. Les programmes de responsabilité élargie des producteurs (REP) doivent être repensés pour tenir les fabricants responsables non seulement de la reprise et de l'élimination des produits, mais aussi pour s'assurer que leurs produits sont conçus pour être recyclables. Cela peut se faire par le biais de mandats plus stricts exigeant l'utilisation de matériaux recyclables, en fixant des normes minimales de réparabilité et de recyclabilité, et en incitant les fabricants par des allègements fiscaux ou des pénalités en fonction de la recyclabilité de leurs produits. Sans ces changements globaux, les promesses de durabilité des technologies vertes et intelligentes resteront lettre morte.

Aboughaly M., Gabbar H.A. (2020). « Recent technologies in electronic-waste management », *E-waste Recycling and Management: Present Scenarios and Environmental Issues*, p. 63-80.

Baldé C.P., Kuehr R., Yamamoto T., McDonald R., D'Angelo E., Althaf S., Bel G., Deubzer O., Fernandez-Cubillo E., Forti V., Gray V., Herat S., Honda S., Iattoni G., Khetriwal D.S., Cortemiglia V.L. di, Lobuntsova Y., Nnorom I., Pralat N., Wagner M. (2024). *Global E-waste Monitor 2024*, International Telecommunication Union (ITU); United Nations Institute for Training; Research (UNITAR), Geneva/Bonn.

Dudarev A.A. (2012). « Dietary exposure to persistent organic pollutants and metals among Inuit and Chukchi in Russian Arctic Chukotka », *International Journal of Circumpolar Health*, *71*, n° 1, p. 18592.

Dunn J., Kendall A., Slattery M. (2022). « Electric vehicle lithium-ion battery recycled content standards for the US–targets, costs, and environmental impacts », *Resources, Conservation and Recycling*, *185*, p. 106488.

Häder D.P. (2021). « Dumping of toxic waste into the oceans », dans *Anthropogenic pollution of aquatic ecosystems*, p. 353-371.

Huesemann M.H. (2001). « Can pollution problems be effectively solved by environmental science and technology? An analysis of critical limitations », *Ecological Economics*, *37*, n° 2, p. 271-287.

(IEA) I.E.A. (2021). *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*, International Energy Agency (IEA), Paris.

Ilankoon I.M.S.K., Ghorbani Y., Chong M.N., Herath G., Moyo T., Petersen J. (2018). « E-waste in the international context–A review of trade flows, regulations, hazards, waste management strategies and technologies for value recovery », *Waste management*, *82*, p. 258-275.

(IRENA) I.R.E.A. (2020). *Global Renewables Outlook: Energy Transformation 2050*.

Jowitt S.M., Werner T.T., Weng Z., Mudd G.M. (2018). « Recycling of the rare earth elements », *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, *13*, p. 1-7.

Sovacool B.K., Ali S.H., Bazilian M., Radley B., Nemery B., Okatz J., Mulvaney D. (2020). « Sustainable minerals and metals for a low-carbon future », *Science*, *367*, n° 6473, p. 30-33.

Sterner T. (1990). « An international tax on pollution and natural resource depletion », *Energy policy*, *18*, n° 3, p. 300-302.

Varotsos C.A., Krapivin V.F. (2018). « Pollution of Arctic waters has reached a critical point: an innovative approach to this problem », *Water, Air, & Soil Pollution*, *229*, n° 11, p. 343.

WHO (2021). *Children and digital dumpsites: e-waste exposure and child health*, World Health Organization.

Veuillez citer ce travail comme suit :

Jessica Coria (2024). « Écologique tout en étant intelligent? », *Blog IFE*.

Rédacteurs en chef : Elliot Aurissergues & Paul Malliet