




Regard éthique
sur les effets
environnementaux
des technologies
numériques au
Québec : l'impératif
de la sobriété
numérique

CEST ✨

COMMISSION DE L'ÉTHIQUE
EN SCIENCE ET EN TECHNOLOGIE

Québec 



Regard éthique
sur les effets
environnementaux
des technologies
numériques au
Québec : l'impératif
de la sobriété
numérique

**Commission de l'éthique
en science et en technologie**

888, rue Saint-Jean, bureau 555
Québec (Québec) G1R 5H6
www.ethique.gouv.qc.ca

Coordination

Nicolas Bernier, secrétaire général par intérim

Recherche et rédaction

Nicolas Bernier, secrétaire général par intérim
Léon Gatien, conseiller étudiant

Aide à la recherche et à la rédaction

Flavie Chevalier, conseillère étudiante

SOUTIEN TECHNIQUE

Révision linguistique

Philippe-Aubert Côté, rév. a.

Graphisme, mise en page et accessibilité

Pige Communication

Photo de page couverture

Shutterstock

Avis adopté à la 109^e séance
de la Commission de l'éthique en science
et en technologie le 14 juin 2024.

© Gouvernement du Québec

Dépôt légal : Septembre 2024

Bibliothèque et Archives nationales du Québec

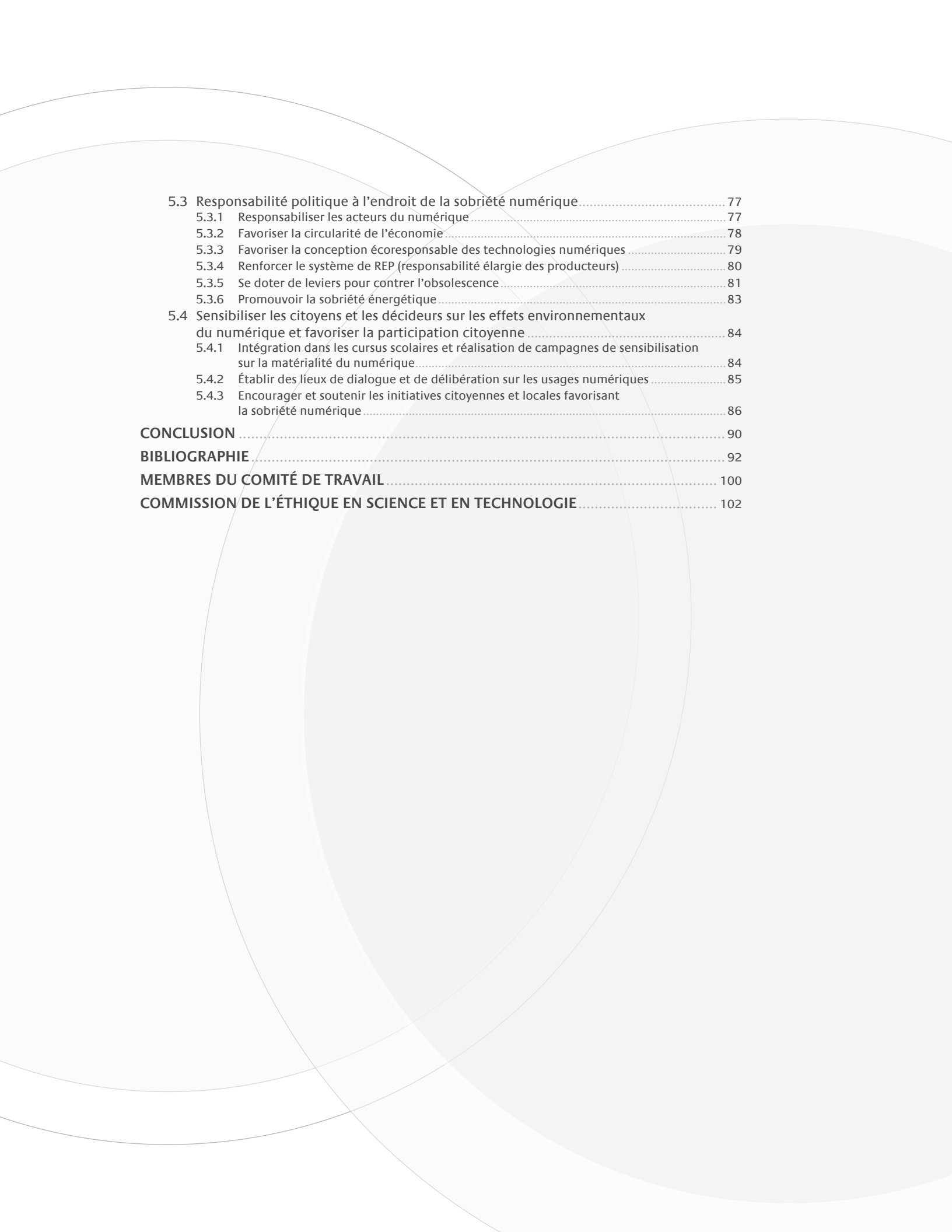
ISBN : 978-2-550-98424-5 (version PDF)

ISBN : 978-2-550-98423-8 (version imprimée)

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	1
Tableau 1. Synthèse des recommandations	6
INTRODUCTION	10
CHAPITRE 1 : LES TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES	14
1.1 Numérique et technologies numériques (TN)	14
1.2 L'économie du numérique	16
CHAPITRE 2 : L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES	20
2.1 Les types d'effets environnementaux des technologies numériques	20
Tableau 2. Analyse des différentes catégories d'effets des TIC	21
2.2 Les effets directs	22
2.2.1 Extraction et fabrication	22
2.2.2 Utilisation	25
Le trafic des données	26
Les réseaux et les centres de données	26
L'occupation du territoire	28
2.2.3 Déchets d'équipements électriques et électroniques	28
2.2.4 Émissions de gaz à effet de serre (GES)	30
2.3 Les effets indirects	31
2.3.1 L'effet de substitution	31
2.3.2 L'efficacité	33
2.3.3 L'effet rebond	34
2.3.4 Les effets indirects des TN permettent-ils de réduire la consommation de ressources et les émissions globales de GES ?	36
2.4 Des phénomènes accélérateurs de l'accroissement de l'impact environnemental du numérique	38
2.4.1 L'obsolescence	38
2.4.2 La recherche effrénée d'innovation technologique	39
2.4.3 Le solutionnisme technologique	39
2.4.4 L'économie de l'attention	40
2.4.5 La dépendance au numérique	41
2.5 Tour d'horizon des impacts environnementaux de quelques technologies numériques	41
2.5.1 La vidéo en diffusion en continu	41
2.5.2 Les chaînes de blocs	43
2.5.3 L'Internet des objets (IdO)	44
2.5.4 L'intelligence artificielle	46
2.5.5 Haut débit mobile 5G	48

CHAPITRE 3 : ENCADREMENT LÉGISLATIF DES TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES ET ÉCOÉTIQUETTES	52
3.1 La Convention de Bâle	52
3.2 La responsabilité élargie des producteurs	52
3.3 Règlement sur les normes d'efficacité énergétique et d'économie d'énergie de certains produits	54
3.4 Loi québécoise sur l'obsolescence programmée et la réparabilité	55
3.5 Deux exemples du leadership français sur le plan législatif	56
3.5.1 Loi anti-gaspillage pour une économie circulaire	56
3.5.2 Loi visant à réduire l'empreinte environnementale du numérique en France	57
3.6 Les écoétiquettes	59
3.6.1 ENERGY STAR et les étiquettes énergétiques de l'Union européenne	59
3.6.2 EPEAT et TCO Certified	59
CHAPITRE 4 : CADRE D'ANALYSE ÉTHIQUE DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES	62
4.1 Mise en contexte	62
4.2 Les valeurs et les principes éthiques	62
4.2.1 La soutenabilité forte	62
4.2.2 La responsabilité environnementale	63
4.2.3 La qualité de l'information et la transparence	64
4.2.4 Éducation et participation citoyenne	65
4.2.5 Justice environnementale	65
4.2.6 Responsabilité commune, mais différenciée	66
4.2.7 La sobriété numérique	66
4.3 Moyens de mise en œuvre de la sobriété numérique	68
4.3.1 Économie circulaire	68
4.3.2 Écoconception	69
4.3.3 Principe du pollueur-payeur	69
CHAPITRE 5 : ANALYSE DES ENJEUX ÉTHIQUES ET RECOMMANDATIONS	72
5.1 La sobriété numérique au cœur de l'action climatique et de la transition écologique	72
5.1.1 Reconnaître que les technologies numériques offrent un bilan mitigé quant à leur contribution au respect des limites planétaires et s'appuyer sur des preuves solides à l'endroit de leurs bénéfices	72
5.1.2 Adopter, déployer et encourager la sobriété numérique dans l'ensemble de la société	73
5.1.3 Exemplarité de l'État	74
5.2 Obtenir et diffuser une information de qualité sur les effets environnementaux du numérique	74
5.2.1 Garantir la divulgation des données concernant l'entièreté du cycle de vie des technologies numériques et leur commercialisation	74
5.2.2 De l'importance d'encourager la recherche scientifique sur les effets environnementaux et sociaux du numérique	76



5.3	Responsabilité politique à l'endroit de la sobriété numérique.....	77
5.3.1	Responsabiliser les acteurs du numérique.....	77
5.3.2	Favoriser la circularité de l'économie.....	78
5.3.3	Favoriser la conception écoresponsable des technologies numériques.....	79
5.3.4	Renforcer le système de REP (responsabilité élargie des producteurs).....	80
5.3.5	Se doter de leviers pour contrer l'obsolescence.....	81
5.3.6	Promouvoir la sobriété énergétique.....	83
5.4	Sensibiliser les citoyens et les décideurs sur les effets environnementaux du numérique et favoriser la participation citoyenne.....	84
5.4.1	Intégration dans les cursus scolaires et réalisation de campagnes de sensibilisation sur la matérialité du numérique.....	84
5.4.2	Établir des lieux de dialogue et de délibération sur les usages numériques.....	85
5.4.3	Encourager et soutenir les initiatives citoyennes et locales favorisant la sobriété numérique.....	86
	CONCLUSION	90
	BIBLIOGRAPHIE	92
	MEMBRES DU COMITÉ DE TRAVAIL	100
	COMMISSION DE L'ÉTHIQUE EN SCIENCE ET EN TECHNOLOGIE	102

SOMMAIRE

Les technologies numériques ont longtemps été perçues comme étant essentiellement bénéfiques pour l'environnement, promettant une faible empreinte écologique et apportant une aide indispensable à la lutte aux changements climatiques. Pourtant, l'empreinte environnementale de ces technologies ne cesse de s'accroître. La terminologie associée au numérique laisse présager des technologies qui ont peu de conséquences matérielles. Le *virtuel*, la *dématérialisation* et l'*infonuagique* sont de bons exemples de mots qui contribuent à détourner l'attention du caractère matériel, pourtant bien réel, du numérique et de ses conséquences environnementales grandissantes.

Le *cloud* n'a en fait rien d'un nuage. Le numérique repose sur une infrastructure gigantesque, des terminaux utilisateurs jusqu'aux immenses centres de données rendus nécessaires par la multiplication incessante de la quantité d'information produite et partagée, en passant par d'innombrables objets connectés et de capteurs, antennes-relais, câbles souterrains et sous-marins, chacun se multipliant au rythme de l'adoption d'innovations telles que la 5G, les chaînes de blocs et l'intelligence artificielle. Avec sa dynamique actuelle, la progression du numérique se traduit par une augmentation préoccupante de la consommation d'énergie, de l'exploitation des ressources naturelles – y compris des ressources non renouvelables –, des émissions de gaz à effet de serre (GES) et de la production de déchets provenant d'équipements électriques et électroniques (DEEE). L'expansion indéfinie et non encadrée de ces technologies représente une menace à la transition écologique et à l'atteinte des objectifs internationaux de réduction des émissions de GES.

Le présent avis vise à mettre en lumière les principaux enjeux éthiques liés aux effets environnementaux des technologies numériques. Plusieurs principes et valeurs sont proposés afin d'éclairer la réflexion et d'orienter l'action collective. Au cœur de la démarche, la sobriété numérique nous enjoint à faire preuve de pensée critique et d'autonomie dans les choix relatifs au déploiement et à l'utilisation des technologies numériques, afin que celles-ci offrent de véritables bénéfices environnementaux et sociaux.

L'effet des technologies numériques sur l'environnement : un bilan mitigé

La fabrication des équipements numériques représente environ 45 % de l'empreinte énergétique totale du secteur en raison de sa forte consommation énergétique et de sa production localisée dans des pays qui dépendent majoritairement des énergies fossiles. Les impacts environnementaux liés à cette phase sont particulièrement préoccupants dans un contexte socioéconomique qui incite au suréquipement et au remplacement rapide des appareils. On estime que la fabrication et l'utilisation des appareils et de l'infrastructure du numérique consomment environ 5 % de l'électricité produite à l'échelle mondiale. Cette importante consommation a crû de 6,2 % par année de 2015 à 2019, un taux de croissance qui est appelé à augmenter. De plus, une quantité colossale de déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) est produite au cours du cycle de vie complet des différents appareils numériques. En 2019, ce sont 53,6 millions de tonnes métriques de déchets électroniques qui ont été générées mondialement. De cette quantité, seulement 17,4 % auraient été adéquatement recyclés. Une grande quantité de DEEE se retrouverait dans des décharges sauvages situées en Afrique et en Asie, occasionnant par le fait même de sérieux problèmes sanitaires.

Plusieurs acteurs mettent de l'avant les bénéfices potentiels des technologies numériques pour l'environnement, notamment par l'accroissement de l'efficacité des processus de production, des transports et des réseaux énergétiques. Néanmoins, des experts rappellent qu'il ne va pas de soi que les nouvelles technologies consomment moins. Trop souvent, le calcul des effets environnementaux de l'usage de nouvelles technologies se résume à la réduction de la consommation énergétique ou de ressources matérielles durant la phase d'utilisation, en délaissant l'analyse du cycle de vie complet de ces technologies. Par exemple, l'installation d'un système permettant d'interconnecter des dispositifs électroniques et intelligents dans le but d'automatiser le chauffage et l'éclairage peut engendrer une économie d'énergie. Toutefois, dans bien des cas, cette économie n'est pas assez grande pour compenser les ressources nécessaires à la fabrication et au fonctionnement de l'ensemble du système.

De plus, il est essentiel de considérer les particularités et la complexité du phénomène de l'effet rebond, par lequel l'optimisation de l'efficacité des processus et de l'utilisation des ressources et des systèmes – optimisation qui devrait, en principe, se traduire par une utilisation moindre en énergie et en ressources – cause un changement des comportements des consommateurs qui réduit ou annule la diminution escomptée, voire entraîne un accroissement de la consommation d'énergie et de ressources.

Généralement, les gains liés à l'optimisation sont soit réinvestis dans une utilisation accrue de la technologie plus efficace (rebond direct), soit vers d'autres technologies ou ressources (rebond indirect). Un exemple de l'effet rebond direct est la miniaturisation et l'optimisation des composantes électroniques ayant mené à l'apparition des microprocesseurs. Ce processus, loin d'engendrer une baisse de la consommation de ressources du numérique, a plutôt contribué à en accroître l'usage et à accélérer le remplacement des appareils dû à l'augmentation constante de leur puissance. L'ampleur des effets indirects de l'adoption de technologies numériques sur l'environnement demeure plus difficile à évaluer. Par exemple, les bénéfices environnementaux du télétravail, notamment par la réduction des déplacements motorisés, peuvent sembler évidents. Cependant, ces bénéfices sont conditionnels à ce que le temps et les ressources économisés n'entraînent pas d'autres activités consommatrices de ressources. Entre autres, le télétravail peut occasionner le dédoublement des appareils numériques, l'utilisation accrue de la visioconférence et de la diffusion en continu ou la décision de déménager plus loin des grands centres, dans une habitation plus grande et dans un secteur où les déplacements en voiture seront, ultimement, d'une plus grande nécessité.

En somme, il semble illusoire que l'adoption de solutions numériques suffise à générer des gains environnementaux significatifs dans la lutte aux changements climatiques. Pour évaluer les bénéfices écologiques des technologies numériques, il est important de considérer l'ensemble de leur cycle de vie ainsi que les déplacements d'impacts potentiels qu'elles peuvent engendrer. Ignorer ces aspects pourrait conduire à une évaluation trompeuse des impacts réels de la transformation numérique sur l'environnement.



Obtenir et diffuser une information de qualité sur les effets environnementaux du numérique

À l'heure actuelle, nous disposons d'une quantité de données insuffisante pour déterminer l'empreinte environnementale exacte du numérique et discerner ses usages les plus féconds pour le bien commun. À cet égard, la transparence des entreprises du numérique est essentielle. Les citoyennes et citoyens, les organisations et les décideurs publics doivent avoir accès aux données sur le bilan environnemental des appareils et des services numériques qu'ils utilisent afin d'être en mesure d'en appréhender l'ampleur et d'agir en conséquence. Pour qu'il soit possible de comparer la performance environnementale d'un appareil avec celle d'un autre, il est nécessaire de favoriser l'utilisation d'un cadre de référence commun en appliquant aux technologies numériques les règles sur les catégories de produits (PCR), lesquelles énoncent les balises méthodologiques de la quantification de l'empreinte carbone et de l'analyse du cycle de vie des produits. De plus, considérant le besoin urgent de mieux comprendre les différents effets directs et indirects possibles des technologies numériques, il apparaît essentiel pour le gouvernement du Québec d'encourager et de soutenir les recherches scientifiques portant sur les contrecoups sociaux et environnementaux du numérique, tout comme sur ses potentialités en tant qu'outil de protection de l'environnement.



La sobriété numérique au cœur de l'action climatique et de la transition écologique

En l'absence de changements importants, le rythme actuel de l'augmentation des émissions de GES associées au numérique pourrait annuler près de 20 % de l'effort global de réduction effectué par les autres secteurs économiques. La première étape vers un numérique déployé consciemment, de manière contextuelle et en respectant les limites planétaires, est de reconnaître les contraintes inhérentes à la numérisation comme stratégie de préservation de l'environnement. Convenir des lourds impacts directs des technologies numériques et de leur tendance à favoriser l'effet rebond ouvre la porte à une nouvelle orientation : la sobriété numérique. D'un point de vue individuel, celle-ci invite chaque personne à prendre du recul face à ses habitudes de consommation du numérique, à s'intéresser aux effets environnementaux qu'elles entraînent et à adopter des changements pour en minimiser les conséquences. À l'échelle collective, la sobriété numérique exige des changements ciblant les causes structurelles des impacts environnementaux grandissants du numérique, ainsi que les pratiques industrielles excessives qui favorisent l'obsolescence des appareils technologiques et la croissance exponentielle de la consommation énergétique des services numériques. Il serait avisé que l'État québécois endosse un rôle exemplaire dans l'adoption de la sobriété numérique en y soumettant l'approvisionnement des appareils numériques de son administration, en plus de mettre en place les meilleures politiques visant l'amélioration conjointe du bilan social et environnemental du numérique. Cela devrait notamment aboutir à une démarche de priorisation des usages, dans laquelle certains usages du numérique sont limités au profit d'autres.



Responsabilité politique à l'endroit de la sobriété numérique

Les autorités publiques sont des acteurs clés dans la mise en place de moyens législatifs et d'incitatifs favorisant la conception, la commercialisation et la gestion responsables des technologies numériques dans le but d'en minimiser l'impact sur l'environnement. L'importance de leur rôle pour responsabiliser les acteurs privés, dont les objectifs se centrent sur le profit, ne devrait pas être sous-estimée. Il importe de favoriser une application réelle de la hiérarchie des 3RV : réduire, réemployer, recycler et valoriser, en rendant notamment accessibles et attrayants auprès du grand public des appareils réemployés et écoconçus. L'écoconception des produits vise à ce qu'ils soient efficaces sur le plan énergétique et qu'ils limitent au maximum l'utilisation de ressources non renouvelables, rares ou toxiques, en plus de favoriser leur durabilité, leur réparabilité et leur recyclabilité. Pour les technologies numériques, s'engager dans une démarche soutenable pourrait aussi signifier de réduire le recours injustifié aux technologies de pointe énergivores et souvent difficiles à réparer, et de s'orienter vers des produits qui seraient utiles, accessibles et durables plutôt que simplement performants.

Il importe de souligner que, depuis 2023, la *Loi protégeant les consommateurs contre l'obsolescence programmée et favorisant la durabilité, la réparabilité et l'entretien des biens* interdit au Québec la commercialisation de tout produit dont l'obsolescence serait programmée et stipule que les pièces, les services et les renseignements nécessaires à la réparation ou à l'entretien d'un bien doivent être rendus disponibles à un prix raisonnable. Bien qu'elle constitue un pas dans la bonne direction, cette réglementation ne prévoit pas la mise en place d'un indice de réparabilité ou de durabilité des produits. Un tel indice permettrait aux consommateurs de faire des choix éclairés en favorisant l'achat de produits soutenables et d'encourager la responsabilisation des producteurs face à l'impact environnemental des produits qu'ils mettent en marché. Aussi, la loi ne propose aucune mesure pour lutter contre l'obsolescence psychologique et l'obsolescence logicielle, deux phénomènes qui entraînent le remplacement fréquent d'appareils numériques pourtant fonctionnels. Considérant l'ampleur des conséquences environnementales liées à l'obsolescence prématurée des technologies numériques, la CEST suggère que le gouvernement du Québec s'engage plus fortement dans la lutte contre toutes les formes d'obsolescence et dans la promotion du droit à la réparation, en s'inspirant, par exemple, de la législation innovante appliquée en France.

Le système de responsabilité élargie des producteurs (REP), qui oblige ces derniers à se responsabiliser à l'égard des matières résiduelles générées par la commercialisation de leurs produits, souffre actuellement de certains problèmes quant à l'application du principe pollueur-payeur. En effet, lors de la dernière révision du système, les cibles de récupération pour certains produits ont été réduites, et les pénalités économiques imposées aux compagnies fautives sont dorénavant dirigées vers des corrections internes des pratiques plutôt que vers le Fonds de protection de l'environnement, comme prévu à l'origine. La CEST est d'avis que ceci n'encourage pas une réelle responsabilisation des acteurs face aux conséquences environnementales de leur industrie.



Sensibiliser les citoyens et les décideurs sur les effets environnementaux du numérique et favoriser la participation citoyenne

L'éducation et la participation citoyenne sont primordiales pour la réussite de la transition écologique. Or, pendant des décennies, les aspects matériels du numérique et ses impacts environnementaux ont été largement invisibilisés, créant un important retard à combler dans l'éducation de l'ensemble de la population. En conséquence, il serait opportun pour l'État québécois de s'engager, sans attendre, dans la sensibilisation du grand public aux conséquences environnementales du numérique et à la portée des comportements écoresponsables. Également, la CEST suggère de soutenir et d'encourager les initiatives citoyennes ou organisationnelles cohérentes avec la sobriété numérique en se dotant des mécanismes financiers et légaux nécessaires. Finalement, bien que la priorisation des usages puisse sembler contraignante, il est fondamental de reconnaître que des choix difficiles s'imposeront éventuellement d'eux-mêmes par la pression reliée à la raréfaction des matières premières nécessaires au numérique. Mieux vaut donc prendre les devants pour s'assurer de prendre des décisions démocratiques qui visent le bien commun. Dans cette perspective, la CEST encourage les décideurs québécois à se saisir rapidement de cette occasion en mettant en place des lieux de dialogue afin d'impliquer les différentes parties prenantes et la société civile dans la réflexion, laquelle doit être soutenue par une démarche informée par la science et favorisant la délibération éthique.

La CEST espère que les risques et les enjeux éthiques soulevés par l'impact environnemental des technologies numériques présentés dans cet avis inciteront les décideurs publics et l'ensemble des citoyennes et des citoyens du Québec à agir promptement pour en limiter les effets néfastes. Face à la crise climatique, il importe d'adopter la sobriété numérique, ainsi que d'encadrer le développement et l'utilisation des technologies numériques par des actions cohérentes avec le bien commun. À cet égard, la CEST propose 16 recommandations (Tableau 1) dans le but d'accompagner les décideurs publics dans cette démarche qui se veut résolument transparente, responsable, soutenable, participative et démocratique.

Tableau 1. Synthèse des recommandations

La sobriété numérique au cœur de l'action climatique et de la transition écologique

1. La Commission recommande que le gouvernement du Québec et l'ensemble de ses ministères et organismes reconnaissent les limites de la numérisation comme stratégie de lutte contre les changements climatiques et de préservation de l'environnement, et s'efforcent de la déployer selon des paramètres spécifiques et dans des contextes où ses bénéfices environnementaux sont attestés par des preuves scientifiques selon une approche de cycle de vie qui évite tout déplacement d'impact.
2. La Commission recommande que le gouvernement du Québec adopte, déploie et encourage le principe de sobriété numérique dans une perspective de soutenabilité forte afin de préserver les ressources naturelles et la biodiversité, et de respecter les limites planétaires.
3. La Commission recommande que le gouvernement du Québec adopte les meilleures pratiques en matière de sobriété numérique au sein de l'ensemble de l'administration publique québécoise, intègre des critères environnementaux et sociaux dans les marchés publics, et assume un rôle de leader en la matière.

Obtenir et diffuser une information de qualité sur les effets environnementaux du numérique

4. La Commission recommande que le gouvernement du Québec légifère afin de rendre obligatoire la divulgation du plus grand nombre possible de données, essentielles à l'évaluation des impacts environnementaux du cycle de vie des technologies numériques mises en marché sur son territoire et des services numériques en ligne utilisés au Québec (consommation d'eau, d'énergie et de métaux rares; émissions de GES; lieux où circulent et sont stockées les données; etc.).
5. La Commission recommande que le gouvernement du Québec finance les recherches sur les impacts environnementaux et sociaux du numérique, et de ses usages à des fins de protection de l'environnement.

Responsabilité politique à l'endroit de la sobriété numérique

6. La Commission recommande que le gouvernement du Québec renforce les normes environnementales entourant les technologies et les services numériques, et instaure des incitatifs économiques encourageant les acteurs du numérique à adopter des pratiques sobres et soutenables.
7. La Commission recommande que le gouvernement du Québec favorise davantage la circularité de l'économie, de manière à réduire, ralentir et boucler les flux de matières, lorsque celle-ci est réellement bénéfique sur le plan environnemental.
8. La Commission recommande que le gouvernement du Québec s'engage à inciter ou à rendre obligatoire un nombre croissant de pratiques favorisant l'écoconception des technologies numériques, qu'il favorise ces technologies et les rende attrayantes auprès du grand public.
9. La Commission recommande au gouvernement du Québec de procéder à des révisions réglementaires périodiques du système REP afin de rétablir le principe du pollueur-payeur et de renforcer la transparence et le dialogue avec toutes les parties prenantes.
10. La Commission recommande que le gouvernement du Québec s'engage fortement dans la lutte contre toutes les formes d'obsolescence des technologies numériques à l'aide d'outils variés.
11. La Commission recommande que le gouvernement du Québec accentue ses efforts pour favoriser la sobriété énergétique à l'endroit des activités numériques, que ce soit au sein de son territoire ou au sein d'autres juridictions.

Sensibiliser les citoyens et les décideurs sur les effets environnementaux du numérique et favoriser la participation citoyenne

12. La Commission recommande que le gouvernement du Québec réalise des campagnes de sensibilisation et d'information visant l'ensemble de sa population quant aux effets environnementaux positifs et négatifs du numérique, et aux gestes à poser afin de minimiser ses effets négatifs.
13. La Commission recommande que le ministère de l'Éducation du Québec et le ministère de l'Enseignement supérieur s'assurent de l'intégration des considérations environnementales liées au numérique dans l'ensemble des programmes scolaires de la province.
14. La Commission recommande que le gouvernement du Québec élabore des stratégies de transfert de connaissances savantes vers les milieux de pratiques (organisations, professionnels, etc.).
15. La Commission recommande que le gouvernement du Québec enclenche rapidement une démarche de réflexion sur la priorisation des usages par la mise en place des lieux de dialogue et de délibération entre différentes parties prenantes (incluant la société civile) sur les bienfaits et les méfaits environnementaux et sociaux des usages du numérique afin de déterminer collectivement ceux qu'il faudrait prioriser ou encourager, limiter ou interdire, ou encore mieux encadrer.
16. La Commission recommande que le gouvernement du Québec encourage et soutienne la création d'espaces favorisant l'augmentation de la littératie numérique, la participation citoyenne dans la démarche de sobriété numérique, ainsi que la mutualisation des appareils.





◦ INTRODUCTION

INTRODUCTION

La protection de l'environnement et la lutte contre les changements climatiques figurent parmi les plus grands défis que devront affronter les sociétés humaines au cours des prochaines décennies. Depuis l'ère industrielle, les activités humaines exercent une influence croissante sur les écosystèmes, ce qui a pour effet de les modifier considérablement, et même de les dégrader. Ce sont plus particulièrement les modes de vie des pays riches, lesquels reposent sur des activités humaines polluantes telles que l'usage de combustibles fossiles, l'agriculture intensive et l'industrialisation, qui contribuent à l'épuisement substantiel des ressources naturelles, à la dégradation des écosystèmes, à la perte importante en biodiversité des espèces et au réchauffement de la planète.

Les changements observés sont d'une ampleur considérable, et ils se manifestent avec une rapidité surprenante sur des périodes relativement courtes. Ils rendent ainsi difficile l'adaptation des organismes vivants à ces perturbations et représentent, conséquemment, une menace pour la stabilité et la préservation des processus écologiques¹. Les plantes et les végétaux disparaissent, et les cycles saisonniers des espèces restantes sont bouleversés. Qu'il s'agisse des oiseaux, des insectes, des mammifères ou des poissons, la disparition des espèces et la réduction de leurs populations atteignent des niveaux alarmants². Les sociétés humaines sont ainsi confrontées à la nécessité d'entreprendre une « transition socioécologique » qui exige des changements structurels majeurs aux modes de production et de consommation, ainsi qu'aux modes de vie des populations afin de respecter les limites écologiques et climatiques de la planète.

Les technologies numériques ont longtemps été considérées principalement comme des alliées pour affronter les défis environnementaux, laissant miroiter qu'elles avaient une faible empreinte écologique et qu'elles étaient indispensables à la réalisation de grands défis comme la gestion durable des écosystèmes, ainsi que la mise en place de mesures d'adaptation et d'atténuation des changements climatiques. La « dématérialisation » de l'économie, dont le remplacement de procédés et de technologies polluants par d'autres, jugés moins polluants, la gestion et l'optimisation de l'utilisation des ressources naturelles et technologiques, ainsi que la modélisation et la compréhension des mécanismes environnementaux et climatiques complexes ont souvent été présentés comme des bénéfices importants pour la préservation de l'environnement et la lutte aux changements climatiques.

Pourtant, en dépit de la transformation et de l'innovation numériques, ainsi que des progrès notables sur le plan de l'efficacité énergétique réalisés au cours des dernières années, l'empreinte environnementale des technologies numériques des sociétés humaines s'accroît sans cesse. Il semble par ailleurs qu'une partie de la terminologie du numérique (le *virtuel*, la *dématérialisation*, l'*infonuagique*, etc.) contribue à occulter le caractère pourtant bien matériel du numérique au sein de l'imaginaire collectif, et à invisibiliser ses enjeux en matière d'environnement. Dans la réalité, le *cloud* n'est pas un nuage : il nécessite une infrastructure gigantesque, laquelle se compose d'appareils et d'objets connectés, de capteurs, de serveurs, de centres de données, d'antennes-relais, de terminaux, de câbles transocéaniques, de faisceaux de fibres optiques et de multiples accessoires dont l'ensemble du cycle de vie génère une panoplie de conséquences environnementales négatives, et ce, avant même de pouvoir envisager certains bienfaits sur les plans environnemental et climatique.

1. Berteaux *et al.*, 2014.

2. Barrau, 2020.

En effet, l'ensemble de l'infrastructure des appareils, des accessoires et des centres de données soutenant le *cloud* émet des quantités importantes de gaz à effet de serre (GES) et consomme une part croissante d'énergie et de ressources naturelles, dont une part considérable de ressources non renouvelables et d'eau. De plus, l'infrastructure du numérique ne cesse de s'accroître au rythme des innovations scientifiques et technologiques telles que la 5G, les chaînes de blocs et l'intelligence artificielle. Celles-ci, en retour, contribuent à la multiplication du nombre d'objets connectés et de capteurs générant un nombre sans cesse croissant de données emmagasinées dans d'immenses centres de données, puis échangées entre ces points de stockage interconnectés.

Les impacts environnementaux du numérique suscitent de plus en plus d'inquiétudes, au point que certains experts vont jusqu'à considérer l'expansion de ces technologies comme une réelle menace à la transition écologique et à l'atteinte des objectifs internationaux de réduction des émissions de GES. En effet, avec sa dynamique actuelle, la progression du numérique se traduit par une augmentation nette des émissions de GES et de la consommation d'énergie, une plus grande pression sur les ressources naturelles (dont une importante quantité de ressources non renouvelables), une augmentation de la production de déchets issus d'équipements électriques et électroniques (DEEE), et une hausse de la pollution globale.

Ces experts tirent la sonnette d'alarme et recommandent aux sociétés de mettre en place des mécanismes permettant de réduire l'empreinte environnementale de l'ensemble du cycle de vie des technologies numériques, ainsi que de mieux saisir et anticiper les conséquences négatives sur l'environnement, comme l'effet rebond. Des appels à la sobriété numérique³, ou du moins à un « numérisme raisonnable⁴ », se font de plus en plus entendre.

La Commission de l'éthique en science et en technologie (CEST) reconnaît l'importance et l'urgence des crises environnementales et climatiques. Elle souhaite contribuer à la réflexion en cours sur les changements climatiques dans les limites de son expertise et de sa mission. Elle propose ainsi de mettre en lumière les principaux enjeux éthiques liés aux impacts environnementaux des technologies numériques, le tout de manière à formuler des recommandations pertinentes destinées aux décideurs publics et aux gestionnaires gouvernementaux.

Les autorités publiques sont des acteurs clés dans la mise en place de principes éthiques, de lois et d'incitatifs favorisant un développement responsable des technologies numériques pour l'environnement. Elles ont le pouvoir de définir les règles du jeu, autant sur le plan de la législation que dans les programmes de subventions en recherche et en innovation liés au développement des technologies numériques. Cet avis vise ainsi à accompagner les décideurs publics dans une prise en compte responsable et prudente de l'impact environnemental des technologies numériques.

Le premier chapitre de l'avis offre une brève présentation des technologies numériques et du poids croissant de l'économie numérique dans le monde. Le deuxième chapitre fait état de la littérature sur les différents effets environnementaux des technologies numériques dans le monde et au Québec. Le troisième chapitre offre un aperçu des différentes lois et initiatives législatives au Québec, au Canada et ailleurs dans le monde qui s'attaquent directement ou indirectement à l'empreinte environnementale des technologies numériques. Le cadre d'analyse éthique constituera l'essentiel de la quatrième partie et permettra de poser les jalons de l'analyse des enjeux éthiques et des recommandations formulées dans le cinquième et dernier chapitre de l'avis.

3. The Shift Project, 2020.

4. Gheraoui, 2020.



The background of the page is a solid blue color. On the left side, there is a faint, abstract graphic consisting of a network of white dots connected by thin white lines, resembling a digital or data network. The dots are arranged in a roughly circular pattern, with some lines extending outwards. The overall aesthetic is clean and modern, typical of a technical or digital-themed document.

◦ **CHAPITRE 1**
LES TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES

CHAPITRE 1 : LES TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES

1.1 Numérique et technologies numériques (TN)

Selon l'Office québécois de la langue française, la notion de *numérique* est définie comme l'« ensemble des techniques qui permettent la production, le stockage et le traitement d'informations en code binaire⁵ ». Le numérique est souvent mieux compris par son opposition à l'analogique. Contrairement à un système analogique, dont le signal est véhiculé sous la forme d'ondes électriques continues, un système numérique traite le signal de manière discontinue par une suite de nombres, souvent représentée en valeurs binaires de 0 et de 1. Bien que le signal analogique demeure plus riche en information que le signal numérique, ce dernier permet d'améliorer de manière fulgurante la qualité, la conservation, la transmission et la reproduction d'un signal analogique.

Il est essentiel de considérer le numérique au-delà de la simple technique de reproduction s'opposant à l'analogique, mais bien sous l'angle d'une culture se rapportant à de nouvelles interactions et pratiques issues de la « transformation numérique⁶ ». En d'autres mots, le numérique est bien plus qu'un ensemble d'outils informatiques ou de dispositifs techniques permettant de nous informer et de communiquer, mais bien « un environnement dans lequel nous sommes plongés, qui détermine et façonne notre monde et notre culture⁷ ». Il transforme nos interactions et nos pratiques sociales, notre manière de penser, notre rapport au savoir, et notre manière de gérer notre attention, l'ennui et le temps.

Les technologies numériques renvoient à un ensemble de techniques, d'outils, de dispositifs et de processus qui utilisent l'informatique afin de collecter, stocker, manipuler, analyser, afficher et transmettre des données numériques. Cela inclut la collecte, le stockage, la manipulation, l'analyse, la transmission et l'affichage de données numériques à l'aide d'appareils et de logiciels spécifiques. Elles sont composées par des réseaux et des infrastructures de télécommunication (Internet, Web, radio, télévision, etc.), les appareils utilisateurs (ordinateurs fixes ou portables, tablettes, téléphones cellulaires ou intelligents, appareils de paiements, consoles de jeux, etc.), les équipements audiovisuels connectés (caméra, enregistreur, télévision, radio, etc.), les documents électroniques, les objets connectés et leurs capteurs⁸, les logiciels, les plateformes, les applications Web numériques (sites Web, applications Web, courriels) et les centres de données.

5. Office québécois de la langue française, 2018.

6. CEST, 2017, p. 72.

7. Vitali-Rosati, 2014, p. 39.

8. *L'Internet des objets* désigne l'ensemble des objets physiques (ex. : appareils, capteurs, supports de stockage) mis en réseau et communiquant entre eux via Internet. Parmi les objets connectés, on compte des appareils portables (ex. : téléphones intelligents, tablettes, ordinateurs), des vêtements et accessoires (ex. : lunettes, montres, moniteurs médicaux), des appareils électroniques (ex. : téléviseurs intelligents), des jouets pour enfants, des moniteurs pour bébé ou animaux de compagnie, des appareils ménagers (ex. : réfrigérateurs), des systèmes pour le domicile (ex. : thermostats, éclairage, sécurité, caméras, serrures), des voitures, etc. Ces objets, ainsi que les données qu'ils collectent et les réseaux par lesquels ils transmettent et reçoivent de l'information, sont possédés ou gérés par des acteurs variés (consommateurs, entreprises, pouvoirs publics), à des fins diverses (CEST, 2020, IOB).

Les technologies numériques évoluent sans cesse au rythme des découvertes scientifiques ainsi que des innovations technologiques. Voici certaines technologies numériques qui ont connu des progrès remarquables au cours des dernières années et pour lesquelles on s'attend à une croissance importante au sein de l'économie numérique future :

- Intelligence artificielle et analyse des données;
- Technologies de la chaîne de blocs;
- Internet des objets;
- Haut débit mobile 5G;
- Informatique en nuage;
- Automatisation et robotique;
- Impression 3D.

Outre ces innovations, la catégorie des technologies numériques connaît aussi une expansion en raison du fait que de plus en plus d'appareils intègrent aujourd'hui à leur conception des technologies numériques dont ils étaient autrefois exempts. Il suffit de penser à la télévision, dont les signaux numériques permettent notamment la transmission d'une meilleure qualité du son et de l'image, et d'augmenter l'offre des produits. Un autre cas de figure est la voiture qui se transforme de plus en plus en véritable dispositif informatique muni de microprocesseurs, d'écrans et de capteurs permettant de prendre en charge différentes fonctions allant du système de divertissement à la conduite tout entière.



1.2 L'économie du numérique⁹

Le déploiement à grande échelle des technologies numériques est souvent présenté comme une condition nécessaire pour assurer la croissance économique générale, la compétitivité économique de l'ensemble des entreprises ainsi que le pouvoir politique et d'influence des États du monde. Selon la Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement (CNUCED), les entreprises qui investissent stratégiquement dans les technologies numériques sont généralement plus productives, plus compétitives et plus rentables¹⁰. L'économie du numérique comprend généralement les composantes et les innovations réalisées sur le plan des matériaux (ex. : semi-conducteurs, cartes mères, processeurs graphiques, etc.) servant à fabriquer les appareils et les équipements de technologies numériques (ex. : ordinateur, téléphone intelligent, etc.), leurs infrastructures habilitantes (ex. : réseaux Internet et de téléphonie), les produits et les services offerts via les technologies numériques (ex. : les plateformes numériques, les applications et les services de paiement mobile, etc.) ainsi que l'ensemble des autres secteurs qui font appel à des produits et des services qui peuvent notamment générer de profondes transformations (ex. : changement dans les modes de gestion, télétravail, commerce électronique)¹¹. L'un des axes de développement qui retient l'attention est la capacité des entreprises à transformer les données numériques en informations et en renseignements utiles pour améliorer leur performance globale, notamment par une prise de décision en temps réel et la capacité à prédire l'évolution de la demande.

À l'heure actuelle, il est difficile, voire impossible, de mesurer précisément la valeur exacte de l'économie du numérique dans le monde en raison de deux principaux facteurs. Premièrement, il n'existe pas encore de définition universellement adoptée de la notion d'*économie numérique*¹². La comptabilisation des données ne se fait pas de la même manière dans les différentes régions du monde, ce qui empêche l'établissement de statistiques communes. Deuxièmement, à cette absence de méthode universelle d'analyse de l'économie du numérique vient s'ajouter l'opacité des données du secteur privé. En effet, à des fins de compétitivité commerciale, les acteurs du secteur privé choisissent la plupart du temps de ne pas dévoiler leurs informations statistiques¹³.

En dépit des difficultés concernant la définition et l'accès aux données, certaines estimations montrent que le numérique figure parmi les secteurs d'activité économique les plus en croissance dans le monde. De plus, l'économie du numérique aurait un important effet de catalyseur au sein de l'économie mondialisée. En effet, déjà en 2017, la Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement (CNUCED) affirme dans son rapport annuel que « diverses mesures confirment que l'importance du rôle de l'économie numérique au sein de l'économie mondiale ne cesse d'augmenter¹⁴ ». Son rapport de 2019 soutient également cette affirmation en déclarant que l'économie du numérique représente désormais entre 4,5 % (définition étroite de l'économie du numérique) et 15,5 % du produit intérieur brut (PIB) mondial (selon une définition plus large)¹⁵.

9. Dans cet avis, le terme *économie du numérique* est considéré comme synonyme d'*économie numérique*.

10. CNUCED, 2019.

11. *Ibid.*

12. CNUCED, 2019, p. 23.

13. *Ibid.*, 2019.

14. *Ibid.*, 2017, p. 19.

15. *Ibid.*, 2019, p. 54.



The background of the page is a solid blue color. On the left side, there is a faint, abstract graphic consisting of a network of white dots connected by thin white lines, resembling a digital or data network. A horizontal white line extends from the left edge of the page towards the text.

◦ CHAPITRE 2 L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES

CHAPITRE 2 : L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES

2.1 Les types d'effets environnementaux des technologies numériques

À l'heure actuelle, nous disposons d'une quantité insuffisante de données pour quantifier l'empreinte environnementale totale du numérique. De plus, les différentes études sont difficilement comparables puisque leurs portées et leurs méthodologies diffèrent¹⁶. Le présent avis ne prétend pas fournir une quantification exhaustive de l'empreinte environnementale du numérique, mais vise principalement à fournir une analyse des principaux enjeux éthiques liés aux conséquences environnementales directes et indirectes des technologies numériques. Cette analyse reposera sur des estimations générales de certains indicateurs environnementaux et de certaines étapes du cycle de vie du numérique, tout en s'attardant à des technologies numériques dont les bénéfices et les risques environnementaux méritent une attention plus particulière, soit l'Internet des objets, les technologies de la chaîne de blocs, l'infonuagique, la 5G ainsi que l'intelligence artificielle (IA).

Il existe plusieurs façons de caractériser et de classer les impacts environnementaux du numérique¹⁷. Deux principales catégories d'effets sont généralement utilisées : les effets directs et les effets indirects. Les effets directs concernent l'existence matérielle même des technologies numériques. Ils touchent l'ensemble des conséquences environnementales et climatiques liées au cycle de vie de l'infrastructure du numérique. Ces effets concernent l'extraction des ressources, la fabrication, le transport, l'usage et la fin de vie d'un appareil ou d'un service numérique. Sur le plan environnemental, des experts considèrent qu'il n'existe aucun effet direct positif du numérique, puisque son existence même consomme des ressources naturelles limitées et est source de pollution dans l'air, l'eau et les sols¹⁸.

Les effets indirects sont, quant à eux, liés aux usages et aux perspectives générés par l'implantation des technologies numériques (TN) dans la société. Plus spécifiquement, les effets indirects désignent les effets environnementaux liés aux changements de pratiques et de schèmes de consommation et de production qui sont rendus possibles par l'implantation des TN. Certains auteurs distinguent deux niveaux différents d'effets indirects, soit les effets de deuxième ordre et les effets de troisième ordre.

Les effets de deuxième ordre concernent l'utilisation des technologies numériques à des fins environnementales (supervision environnementale et climatique) ainsi que les changements auxquels elles peuvent contribuer, notamment par les gains environnementaux liés à la réduction de l'empreinte environnementale des activités humaines que rend possible la substitution de pratiques grâce aux TN. Par exemple, le numérique peut permettre des économies de transport via le télétravail et les visioconférences. Toutefois, ces usages du numérique peuvent également avoir des effets négatifs tels que l'augmentation des achats d'appareils et l'étalement urbain.

16. Flipo, 2017.

17. Nous nous sommes inspirés du système de catégorisation offert dans l'ouvrage *La face cachée du numérique : l'impact environnemental des nouvelles technologies* (Flipo *et al.*, 2013) et du système de Berkhout et Hertin (2001) dans leur rapport *Impacts of Information and Communication Technologies on Environmental Sustainability : speculations and evidence*, destiné à éclairer les réflexions au sein de l'OCDE.

18. Flipo *et al.*, 2012.

Les effets de troisième ordre, quant à eux, concernent les conséquences du numérique sur les modes de vie. Ces changements peuvent générer des effets environnementaux positifs, lesquels peuvent toutefois être annihilés par des effets négatifs importants. Dans l'exemple précédent, on peut penser aux conséquences du télétravail sur le phénomène de l'étalement urbain, lequel peut accroître la consommation des véhicules et des transports sur de longues distances. Nous aurons l'occasion d'aborder ces considérations un peu plus en profondeur dans notre présentation de l'effet rebond.

Tableau 2. Analyse des différentes catégories d'effets des TIC

Types d'effets	Impacts positifs	Impacts négatifs
Les effets directs		
Effets de premier ordre Conséquences environnementales liées à l'existence matérielle des technologies numériques	Aucun effet positif sur le plan environnemental et climatique	Épuisement des ressources abiotiques, consommation énergétique, émissions de GES, gestion des déchets et diffusion de substances toxiques
Les effets indirects		
Effets de deuxième ordre Conséquences environnementales liées à la substitution (à fonction sociale équivalente)	Applications environnementales des TIC (p. ex. : surveillance environnementale), dématérialisation, virtualisation (de systèmes), moindre mobilité (visioconférences, échanges distants) Gains d'efficacité liés à l'optimisation des pratiques et des procédés	Accentuation des effets de premier ordre par les phénomènes suivants : les produits TIC s'ajoutent aux produits existants et l'effet de substitution est incomplet Effet rebond direct : <ul style="list-style-type: none"> • Augmentation des transports rapides et des emballages • Augmentation de la demande
Effets de troisième ordre Conséquences environnementales liées à la modification des fonctions sociales	Changement dans les modes de vie, tel que le consumérisme « vert »	Effet rebond indirect : <ul style="list-style-type: none"> • changements structurels tels que la croissance du voyage de longue distance, le temps disponible pour consommer, l'accroissement en volume de la consommation annulant les effets de l'écoconception, l'étalement urbain

Afin de simplifier la lecture de ce rapport, nous avons rassemblé les effets environnementaux en distinguant les effets de premier ordre des effets de deuxième et de troisième ordre, soit les effets directs des effets indirects du numérique (Tableau 2). Il est important de réitérer que cet avis ne vise pas à fournir une évaluation exhaustive des bénéfices et des risques environnementaux pour le numérique en général, ou bien pour une technologie numérique spécifique, afin de déterminer son caractère bénéfique ou dommageable pour l'environnement. Ce type d'évaluation environnementale des technologies doit se faire de manière robuste, sans quoi elle peut mener à des évaluations comparatives superficielles et erronées. En effet, il est important que les évaluations des bénéfices et des risques des technologies soient réalisées à partir d'unités fonctionnelles comparables entre elles et qui ne font pas ombrage à l'impact environnemental bien réel du cycle de vie complet des technologies numériques.

2.2 Les effets directs

Les effets directs du numérique sont essentiellement négatifs dans la mesure où ils concernent les conséquences environnementales du cycle de vie complet des technologies numériques en tant que telles, sans comparaison avec des usages potentiellement positifs. Cette section présente ces impacts en retraçant le cycle de vie¹⁹ des technologies numériques, de l'extraction des matières premières dont elles sont composées jusqu'à leur gestion en tant que déchets électroniques, en passant par la fabrication et la phase d'utilisation. La section se conclut enfin par un portrait global des émissions de GES associées à ces technologies.

2.2.1 Extraction et fabrication

La fabrication des équipements numériques exige beaucoup de métaux, dont certains sont rares (au sens géologique du terme) ou font partie de réserves critiques, à l'accès limité pour des raisons géologiques, économiques et géopolitiques²⁰. L'Agence française de la transition écologique (ADEME) a fait paraître, en 2018, un rapport portant sur la modélisation et l'évaluation des impacts environnementaux de produits de consommation et biens d'équipement qui nous renseigne notamment sur la quantité de ressources biotiques et abiotiques²¹ utilisées pour chaque produit, de l'extraction des ressources à la sortie de l'usine (donc avant le transport jusqu'au consommateur). Selon leurs calculs, un seul téléviseur requerrait l'utilisation d'entre 2 376 et 3 489 kilogrammes de ressources biotiques et abiotiques avant même son utilisation par le consommateur, tandis qu'un téléphone portable serait responsable de l'utilisation de 95 à 221 kilogrammes de matière²².

Or, l'approvisionnement en métaux pose plusieurs types de risques. Nous nous intéressons ici à leur criticité, leur rareté et leur impact environnemental. La criticité se manifeste par l'importance stratégique d'un ou de plusieurs métaux au sein d'une économie particulière, alors que la raréfaction désigne la contrainte de disponibilité touchant certains métaux à l'échelle mondiale.

À titre d'exemple, au moins 3 000 kilotonnes de métal ont été allouées à la fabrication des technologies numériques dans le monde en 2020, dont 12 kilotonnes au Québec et 60 au Canada. En raison de la tendance au suréquipement des Canadiens, le poids des métaux utilisés pour la fabrication des appareils numériques est quatre fois plus élevé pour un Canadien que la moyenne mondiale par habitant²³.

19. À cet égard, la division des étapes du cycle de vie du numérique est sujette à des variations dans la littérature : elle comporte le plus souvent trois étapes (production, utilisation et fin de vie), bien que certaines sources en citent davantage lorsqu'elles distinguent (ou ajoutent) la distribution, ou encore la conception, par exemple.

20. Berthoud, 2017.

21. Les ressources abiotiques sont les ressources naturelles non vivantes, telles que l'eau, les minerais et les sols.

22. ADEME *et al.*, 2018.

23. The Shifters Montréal, 2020a, p. 21.

En outre, les émissions de GES associées à l'excavation des métaux compteraient pour environ 2 % des émissions des GES associées au numérique dans le monde²⁴.

Concernant le statut particulier de plusieurs métaux nécessaires aux TN, selon certaines estimations géologiques, les réserves d'argent, d'indium, de gallium et de germanium risquent d'être épuisées dans une quinzaine d'années si le rythme actuel de consommation est maintenu²⁵.

Au-delà de l'épuisement des ressources, une pénurie peut également survenir en raison de problèmes d'approvisionnement. Elle peut notamment être causée par des lieux de production situés en pays politiquement instables. Par exemple, 65 % de la production globale de cobalt proviendrait de la République démocratique du Congo, pays affecté par des conflits armés criminels depuis plusieurs années²⁶. De plus, une pénurie peut résulter de tensions géopolitiques importantes avec un pays qui a le monopole sur certaines ressources. Environ 90 % de l'exploitation des terres rares serait présentement effectuée par la Chine²⁷, dont les tensions avec les pays occidentaux pourraient causer des problèmes d'approvisionnement majeurs et alimenter des tensions sur les prix.

Au moins 40 métaux seraient présents dans un téléphone intelligent, de quelques grammes à une dizaine pour chacun. Plusieurs sont faiblement recyclables (ex. : indium, gallium, tantale et germanium à moins de 1 %) ²⁸. La fabrication d'un cellulaire nécessite « l'extraction de 60 kg de matière, qui sera ensuite raffinée puis acheminée à l'endroit où elle sera transformée²⁹ ». La plupart de ces métaux ne sont pas renouvelables et leur formation peut prendre, dans certains cas, des milliards d'années³⁰.

Le risque de raréfaction et de criticité des métaux est d'autant plus important que plusieurs technologies qui produisent de l'énergie renouvelable ou permettent de discontinuer l'utilisation de carburants fossiles sont fabriquées à partir de ces métaux (ex. : panneaux solaires, éoliennes, voitures électriques, moteurs électriques, etc.³¹), ce qui pourrait mener à une impasse technologique si la croissance des besoins ne ralentit pas et si des technologies efficaces et économiques permettant le recyclage de ces métaux ne sont pas développées.

Un autre problème provient du fait que la concentration de métaux serait généralement en diminution dans les nouveaux gisements qui sont découverts (p. ex. : le cuivre, l'or et l'argent). Ainsi, même si l'on peut penser qu'il est possible que de nouveaux gisements soient découverts, il n'en demeure pas moins que leur concentration risque d'être toujours plus faible. Pour leur part, en contraste avec leur nom, les terres rares ne sont pas toutes « rares » dans le sens commun du terme. Les terres rares ont été nommées ainsi parce qu'elles sont difficiles à détecter, à exploiter et, enfin, à isoler chimiquement. Cette appellation désigne 17 métaux : le scandium, l'yttrium et les 15 lanthanides. Considérées comme des métaux stratégiques depuis la révolution numérique, les terres rares font aussi l'objet d'une attention particulière depuis 2011 de la part du Comité pour les métaux stratégiques (COMES). Le COMES intensifie ses efforts pour sécuriser l'exploitation, la distribution et le recyclage de ces précieuses ressources³². Sans être nécessairement restreintes en quantité, elles sont très convoitées puisqu'elles sont indispensables à la fabrication des produits de « haute technologie ».

24. *Ibid.*, p. 49.

25. Berthoud, 2017.

26. The Shift Project, 2018, p. 26.

27. *Ibid.*

28. *Ibid.*, p. 24.

29. Hadjadji, 2018.

30. Leclair, 2018, p. 90.

31. Banque Mondiale, 2016.

32. MinéralInfo, s.d.

De plus, il convient de mettre en évidence que la criticité des métaux est exacerbée par leur interdépendance en matière d'extraction. En effet, l'extraction de certains métaux qualifiés de « secondaires » repose sur l'extraction préalable de métaux principaux. En réalité, seulement une dizaine de métaux font l'objet d'exploitation minière à l'échelle mondiale (tels que le fer, l'aluminium, le nickel, le zinc, l'or, l'argent, le platine, le sélénium, le titane et le plomb). En contrepartie, d'autres métaux désignés comme « compagnons » ne sont extraits qu'en tant que sous-produits de ces mines primaires. En fin de compte, les réserves de métaux compagnons se retrouvent tributaires de la demande générée par les métaux principaux. Par conséquent, il est envisageable de se retrouver en situation de pénurie de métaux compagnons, non pas parce qu'ils sont absents de la croûte terrestre, mais à cause de l'extraction insuffisante des métaux principaux.

L'extraction des métaux rares se réalise à partir de procédés chimiques polluant les sols et nécessitant des quantités colossales d'eau et de produits chimiques toxiques³³. Les conséquences directes de cette exploitation sont des rivières contaminées par les rejets toxiques, des pluies acides et des villages de mineurs frappés par des cancers précoces³⁴. De plus, ces procédés sont reconnus pour libérer des produits radioactifs, comme le démontre l'exemple de la ville de Baotou, en Chine, l'une des régions minières spécialisées dans l'extraction des terres rares les plus importantes. Or, à Baotou, il n'est plus possible de faire pousser des légumes dans les champs, le bétail meurt et les habitants respirent continuellement des vapeurs nocives, développant des cancers à un pourcentage alarmant. En guise de comparaison, la radioactivité mesurée à Baotou est deux fois supérieure à celle de Tchernobyl³⁵.

La fabrication des technologies numériques occupe également une place déterminante dans la pollution causée par le numérique, cette fois en raison de son intensivité énergétique et de sa localisation dans des pays qui utilisent principalement de l'énergie fossile. La phase de production des équipements numériques occuperait environ 45 % de l'empreinte énergétique totale du numérique. Aussi, la fabrication requiert des ressources gourmandes en énergie et polluantes (destruction de milieux naturels au moment de l'extraction et génération importante de déchets qui polluent les sols et les eaux) à extraire et à purifier. La phase de production a également des effets importants sur le plan de la consommation d'eau, en plus de contribuer à l'épuisement des ressources abiotiques³⁶.

Selon Apple³⁷, 81 % de l'empreinte carbone d'un téléphone intelligent serait due à sa production³⁸ – qui comprend dans ce contexte l'extraction des minerais, la fabrication et l'assemblage des pièces³⁹. Cette proportion serait similaire dans le cas des petits appareils, mais tendrait à diminuer pour les plus gros et les plus durables, auquel cas l'empreinte carbone liée à la phase d'utilisation prédominerait, ce qui est d'autant plus vrai pour les équipements réseaux. Toutefois, en contexte canadien et québécois, l'empreinte carbone liée à l'utilisation du numérique est moins élevée que la moyenne mondiale, car les mix énergétiques du Canada et du Québec sont respectivement 5 et 29 fois moins carbonés que les mix énergétiques mondiaux. En conséquence, l'empreinte carbone liée à la phase de production est beaucoup plus importante que celle liée à l'utilisation pour ces régions du monde⁴⁰.

33. Ambroise, 2019.

34. Pitron, 2017.

35. Ambroise, 2019.

36. Bordage, 2019.

37. Apple publie des données relatives aux impacts environnementaux de ses appareils à l'unité (ce que ne fait pas le géant Samsung, entre autres).

38. The Shifters Montréal supposent, faute d'information disponible, que le mix énergétique mondial est pris en compte dans cette estimation. Ce dernier est carboné à 64 %.

39. The Shifters Montréal, 2020b, p. 30 à 33.

40. *Ibid.*, p. 34.

La prépondérance de l’empreinte carbone liée à la phase de fabrication (par rapport à la phase d’utilisation) au Québec et au Canada est particulièrement préoccupante dans un contexte social et économique caractérisé par une incitation importante au suréquipement et au remplacement. Il suffit de penser à la publicité omniprésente et à la disponibilité continue de nouveaux modèles de ces appareils pour en prendre conscience.

À titre d’exemple de cette tendance au suréquipement, on estime que l’internaute canadien moyen posséderait une dizaine d’appareils numériques, soit 1,5 fois plus que la moyenne mondiale⁴¹. En outre, on estime que le nombre des 34 millions d’objets connectés présents au Canada en 2020 pourrait doubler d’ici 2025⁴².

De même, pour illustrer le rythme effréné de remplacement des appareils numériques, notons que chaque internaute québécois et canadien, qui possède en moyenne une dizaine d’appareils numériques, en remplacerait deux par des neufs chaque année⁴³.

2.2.2 Utilisation

L’ensemble du cycle de vie des technologies numériques est de plus en plus énergivore. Selon *The Shift Project*, le numérique consommerait environ 5 % de l’électricité mondiale uniquement pour sa fabrication et son fonctionnement⁴⁴. Cette importante consommation a crû de 6,2 % par année de 2015 à 2019, un taux de croissance qui est appelé à augmenter. Toujours selon le *think tank* français, la croissance de la consommation énergétique du numérique est imputable à cinq causes principales, bien que non exhaustives : l’essor de la vidéo et ses conséquences (télévision, écrans publicitaires, moniteurs de grande taille, etc.); le confort assisté (les enceintes connectées, les caméras de vidéosurveillance personnelle, etc.); la généralisation du téléphone intelligent à travers le monde; l’essor de l’Internet des objets et de l’Internet industriel des objets; et les besoins de traitement et de transport de données non absorbés par le progrès technologique (l’explosion du trafic de données mobiles, la demande en capacité de calcul pour l’intelligence artificielle, les cryptomonnaies et l’*edge computing*⁴⁵, par exemple)⁴⁶. Nous reviendrons plus en détail sur les impacts environnementaux de ces technologies à la section 2.5.

En règle générale, la consommation électrique du numérique pendant la phase d’usage se divise en trois grands pôles, soit la consommation des réseaux de télécommunications, qui sont en constante opération (40 %), la consommation d’énergie par l’utilisation des équipements par les utilisateurs (30 %) et la consommation d’énergie des centres informatiques (centres de données) (30 %)⁴⁷.

Certaines projections optimistes estiment que l’utilisation toujours croissante du numérique pourra être soutenue moyennant des gains en efficacité énergétique conséquents. Ces dernières appellent toutefois à la prudence. D’abord parce que les gains actuels en efficacité énergétique, plutôt que de réduire globalement la consommation d’énergie associée au numérique, sont l’occasion d’un important effet rebond⁴⁸.

41. The Shifters, 2020b, p. 4.

42. *Idem*.

43. The Shifters Montréal, 2020a, p. 4-5.

44. The Shift Project, 2021, p. 13.

45. L’*Edge Computing* optimise les dispositifs Internet et les applications Web en rapprochant l’informatique de la source des données. Cela minimise le besoin de communications sur une longue distance entre le client et le serveur, ce qui réduit la latence et l’utilisation de la bande passante.

46. *Ibid.*, p. 17.

47. Berthoud, 2017, p. 72.

48. Alors que l’optimisation de l’efficacité des processus et de l’utilisation des ressources et des systèmes devrait permettre une diminution de la consommation des ressources, elle se traduit plutôt par une consommation équivalente ou même plus grande à la suite de l’adaptation des comportements de la société.

Ensuite, parce que la limite de Landauer, établie théoriquement en 1961 et vérifiée expérimentalement plus récemment, stipule qu'il existe un seuil en deçà duquel il n'est pas possible de réduire la consommation énergétique du numérique – ce qui engendre conséquemment une croissance des émissions de GES associées à ce même numérique. Les prochains paragraphes seront consacrés à la présentation de sous-phases de l'utilisation des technologies numériques, nous permettant ainsi de départager les impacts qui sont dus au trafic des données de ceux relevant des infrastructures permettant ce transit.

Le trafic des données

Les technologies numériques, en tant que techniques de gestion de l'information, sont fondées sur les données, qu'elles ont vocation à stocker et à partager. Ce « trafic de données » est un processus énergivore et en forte croissance. En effet, les données ont des retombées commerciales si grandes qu'elles sont parfois décrites comme « le nouveau pétrole » (*the new oil*⁴⁹).

Selon *The Shift Project*, en 2019, le trafic de données était responsable de 55 % de la consommation énergétique annuelle mondiale *liée à la phase d'utilisation* du numérique (en excluant donc la consommation d'énergie associée à la fabrication, à l'extraction des métaux et terres rares et à la gestion des équipements en fin de vie). Le groupe estime par surcroît que le trafic de données augmente en moyenne de 25 % par an, ce qui révèle son rôle de moteur dans la croissance des émissions de GES imputables au secteur numérique⁵⁰.

Schématiquement, cette croissance de la demande énergétique liée au trafic de données s'explique ainsi : le nombre de terminaux est en croissance et, avec lui, le nombre d'infrastructures. Il suffit de penser à l'accroissement toujours plus grand du nombre de centres de données, de réseaux de diffusion de contenu, de réseaux fixes et mobiles, etc., lesquels contribuent à l'augmentation de la quantité et de la qualité des données échangées, un nombre qui suscite toujours plus de puissance de calcul, celle-ci gourmande en énergie⁵¹.

Les différentes méthodes de *conception* des services numériques (sites Web, plateformes, applications, etc.) ont un impact sur leur consommation en électricité et leurs émissions de GES. Par exemple, le site Web de la Ville de New York émet 0,52 g de CO₂ par visite, alors que celui de la Ville de Montréal en émet le double, soit 1,04 g de CO₂ par visite⁵². En effet, on estime pour l'instant que, si le site Web de la Ville de Montréal est consulté en moyenne mille fois par mois, il consomme alors en une année autant d'électricité qu'une voiture électrique parcourant 209 200 km. Nous reviendrons plus loin sur le principe d'écoconception des services numériques, soit « la conception de produits ou de procédés caractérisée par le souci de réduire ou de prévenir les impacts environnementaux tout au long de leur cycle de vie⁵³ ».

Les réseaux et les centres de données

Les données partagées suivent des canaux matériels, les *réseaux*, lesquels peuvent être fixes ou mobiles⁵⁴. Bien que l'utilisation des réseaux soit énergivore (75 % de la consommation en énergie des réseaux est liée à leur phase d'utilisation en moyenne dans le monde), leur fabrication l'est davantage au Québec et au Canada, puisqu'ils doivent couvrir un vaste territoire. Ainsi, en contexte canadien et québécois, la seule fabrication des réseaux est responsable de 85 à 95 % des GES qui leur sont associés⁵⁵.

49. Freitag *et al.*, 2021.

50. The Shift Project, 2019, p. 9 et 13.

51. Flipo, 2020, p. 9; Roussilhe, 2022.

52. Tanguay, 2022.

53. Office québécois de la langue française, 2022.

54. En contexte canadien, les réseaux appartiennent à l'une de ces catégories : filaire, transport à haute capacité, sans fil fixe, satellite, mobile (The Shifters, 2020a, p. 10).

55. The Shifters, 2020b, p. 42.

En outre, le trafic de données entre les terminaux utilisateurs (et grâce aux réseaux) bénéficie du relais de centres de données. Ces derniers sont les infrastructures gigantesques qui hébergent les services infonuagiques (*cloud*). Les centres de données consomment 13 % de l'énergie finale du numérique, qui est responsable de son empreinte carbone⁵⁶. En plus de l'énergie qu'ils consomment pour assurer le trafic de données, les centres de données utilisent de l'énergie pour faire fonctionner des appareils réfrigérants. Ces derniers sont destinés à modérer la température dans les locaux qui seraient autrement exposés à la surchauffe, parce que les serveurs qu'ils hébergent fonctionnent en tout temps et à plein régime. En raison de cette particularité, l'empreinte environnementale des centres de données ne se limite pas à leur consommation en électricité et à leurs émissions de GES, car des hydrofluorocarbures, de puissants gaz à effet de serre, sont souvent inclus dans la composition des réfrigérants employés à cet effet⁵⁷.

En contexte canadien, les centres de données consomment 10 % de l'énergie finale du numérique et comptent pour 17 % de son empreinte carbone. Au Québec, ces proportions sont de 17 % pour l'énergie finale du numérique et de 29 % de son empreinte carbone⁵⁸. La vastitude du réseau à opérer au Québec et au Canada explique l'importance relative de la consommation énergétique des réseaux et des centres de données dans son empreinte énergétique et dans son empreinte carbone. En effet, davantage d'infrastructures de transmission des données sont nécessaires, par comparaison avec des pays plus petits ou plus densément peuplés.

Selon des estimations récentes, le trafic de données transitant par les centres de données pourrait être multiplié par huit entre 2020 et 2025, ce qui pourrait multiplier par six sa consommation électrique⁵⁹. Il y a fort à parier que cette augmentation de la demande en énergie des centres de données sera d'autant plus importante au Québec, lequel comptait déjà 54 centres de données commerciaux en 2022, étant donné que les acteurs de ce secteur, qui visent la carboneutralité d'ici 2030, sont particulièrement intéressés par plusieurs avantages offerts par la province. Parmi ceux-ci se trouve d'abord son énergie renouvelable, à laquelle on peut ajouter son climat tempéré, qui contribue à refroidir naturellement les serveurs que le Québec héberge, sa localisation géographique stratégique au sein du marché nord-américain⁶⁰ et l'encadrement canadien favorable des données personnelles⁶¹. Entre autres pour ces raisons, Hydro-Québec estime que « les centres de données lui achèteront 5,1 térawattheures (TWh) d'électricité en 2032, par rapport à 0,9 TWh cette année [en 2022] ⁶² ». Si cette prédiction s'avère exacte, l'augmentation de la puissance alors requise par les centres de données à l'horizon de 2032 sera la troisième augmentation la plus importante de la décennie, après celle de l'électrification des transports (+1 709 MW) et celle du chauffage des bâtiments (+1 037 MW)⁶³. De même, si cette prédiction se réalise, « les centres de données demanderont [à l'horizon de 2032] autant de puissance en pointe que les gains que compte faire Hydro-Québec par l'intermédiaire de sa filiale vouée à l'efficacité énergétique des ménages, Hilo⁶⁴ ».

56. *Ibid.*, p. 41.

57. *Ibid.*, p. 40.

58. *Ibid.*, p. 41.

59. *Ibid.*, p. 46.

60. Le Québec est situé à *un temps de latence* avantageux de plusieurs grandes villes du nord-est des États-Unis, sachant que 80 % du trafic Internet mondial circule dans cette région. Le temps de latence correspond au temps requis pour qu'un paquet de données soit acheminé de la source à la destination via un réseau. Source : Hydro-Québec, s.d.

61. Bergeron et Riopelle, 2022.

62. Hydro-Québec, s.d.

63. *Ibid.*

64. *Ibid.*

L'occupation du territoire

Les technologies et infrastructures numériques façonnent considérablement la répartition territoriale. Bien qu'elles offrent des avantages tels que le télétravail, la flexibilité professionnelle et la collaboration professionnelle, réduisant ainsi les déplacements physiques autrefois indispensables, elles ne sont pas sans conséquence. Par exemple, les immenses centres de données nécessaires pour stocker l'énorme quantité de données sans cesse en croissance occupent des espaces considérables, compromettant d'autres usages tels que l'agriculture, et gênant un développement urbain durable. Ces installations génèrent en réalité peu d'emplois en plus d'exercer une pression sur les ressources locales en consommant des quantités massives d'eau et d'énergie. Enfin, dans certains cas, ces centres transforment profondément le paysage urbain et l'environnement de vie de nos communautés.

2.2.3 Déchets d'équipements électriques et électroniques

Les déchets électriques et électroniques requièrent une organisation plus efficace et transparente de leur récupération, et ce, d'autant plus que la fabrication des appareils électroniques et électriques nécessite une grande variété de métaux (incluant des métaux critiques) dont l'extraction et le raffinage sont associés à des rejets de substances toxiques dans l'environnement, telles que des métaux lourds, de l'acide sulfurique, des éléments radioactifs, etc.⁶⁵.

Le cycle de vie complet des différents appareils numériques produit une quantité colossale de DEEE, aussi appelés e-déchets.

Le rapport du Global E-waste Monitor, dont les résultats seront présentés dans les prochains paragraphes, estime que 53,6 millions de tonnes métriques de déchets électroniques ont été générées mondialement au cours de l'année 2019⁶⁶. Les déchets électriques et électroniques, qui comprennent également des appareils non numériques, auraient augmenté d'environ 21 % en seulement cinq ans⁶⁷. De cette quantité faramineuse de DEEE, seulement 17,4 % auraient été adéquatement collectés et recyclés. L'amélioration des activités de recyclage (1,8 million de tonnes) serait cinq fois moins élevée que l'augmentation annuelle des DEEE (9,2 millions de tonnes). Si la tendance se maintient, les DEEE pourraient s'élever à près de 74,7 millions de tonnes en 2030.

Selon les experts du Global E-waste Monitor, la hausse des DEEE serait occasionnée par trois principaux facteurs⁶⁸. Tout d'abord, le modèle d'industrialisation actuel, encourageant un plus haut niveau de consommation des équipements électriques et électroniques (EEE), favoriserait la production d'appareils avec une courte durée de vie tout en valorisant très peu leur réparation par des tiers. Toujours selon le Global E-waste Monitor, l'accroissement des DEEE serait également lié à l'accroissement de l'urbanisation ainsi qu'à l'augmentation de la capacité d'achat des consommateurs.

65. The Shift Project, 2019.

66. En dépit de la qualité de certains rapports et estimations, il convient d'interpréter avec prudence les statistiques relatives aux déchets numériques considérant la difficulté à obtenir des données exhaustives à ce sujet. Selon The Shift Project, il « manque de données fiables [au sujet de la fin de vie du numérique] notamment à cause de la faible proportion d'équipements pris en charge dans les filières de traitement (15 % dans le monde, [Baldé *et al.*, 2015]) » (2021, p. 9). Pour cette raison, ce groupe de réflexion a choisi de mettre de côté la phase de fin de vie dans la quantification qu'il propose des répercussions environnementales du numérique, dans sa dernière note d'analyse sur le sujet. De plus, Howson et de Vries notent que les déchets numériques font souvent l'objet de fausses déclarations : ils sont souvent identifiés, lors de leur importation vers les pays en voie de développement qui s'occupent de leur fin de vie, comme « biens électroniques » ou « dons de charité » (Howson et de Vries, 2021).

Selon The Shift Project, le manque de données fiables au sujet de la gestion de la fin de vie du numérique est préoccupant. En effet, il donne possiblement lieu à une « perte de matériau, [...] une pollution des sols croissante et largement ignorée, venant de sites de traitement inadaptés, ou de décharges sauvages de déchets » (The Shift Project, 2021, p. 9).

67. Forti *et al.*, 2020, p. 13.

68. *Ibid.*

Le continent européen aurait le meilleur taux de collection et de recyclage des DEEE, soit de 42,5 %. Celui des Amériques et de l'Océanie serait de 11,7 %, alors que le continent africain figurerait en bas de l'échelle, avec un faible taux de 0,9 %⁶⁹.

Selon le même rapport, bien que des réglementations et des infrastructures officielles de recyclage existent dans la majorité des pays, environ 82,6 % des déchets échapperaient à celles-ci. De ce pourcentage, 8 % seraient jetés dans les ordures ménagères et se trouveraient mis en décharge ou bien incinérés, et un taux variant entre 7 % et 20 % seraient exportés comme produits de seconde main, ou bien tout simplement comme déchets électroniques.

Ces derniers contiennent de nombreuses substances toxiques⁷⁰. Une infime partie de ces appareils serait recyclée convenablement⁷¹. Une grande quantité de DEEE se retrouverait ainsi dans des décharges des pays du Sud global⁷², occasionnant par le fait même de sérieux problèmes sanitaires. Il suffit d'évoquer ici le grand nombre d'habitants du Sud en situation de pauvreté se trouvant devant peu d'autres choix que celui de tenter de récupérer, sans dispositif de sécurité, des matériaux à haut niveau de toxicité. Ici même au Québec, plusieurs experts s'alarment des risques auxquels s'exposent les travailleurs du recyclage affectés aux produits électroniques. Une étude parue en 2020 dans l'*International of Hygiene and Environmental Health* démontre que les travailleurs œuvrant principalement dans le recyclage des produits électroniques ont, comparativement aux travailleurs du recyclage traditionnel, une présence accrue dans leur sang de BDE-209, un retardateur de flammes, ainsi qu'une quantité plus élevée de plomb et d'organophosphorés (OPE) dans leur urine⁷³. De plus, une étude portant sur l'exposition des travailleurs des entreprises québécoises de e-recyclage primaire a mis en évidence un lien significatif entre l'exposition aux ignifuges et des perturbations du système endocrinien des hommes en âge de procréer (le profil présenté par la majorité des travailleurs de cette industrie), tout en incitant à réaliser davantage de recherches sur les risques pour la santé encourus par ces derniers⁷⁴. Bien que les conséquences sur la santé en lien avec ces substances ne soient pas encore établies scientifiquement, plusieurs avancent qu'il serait essentiel que la fabrication des appareils utilise d'autres substances qui ne sont pas nocives⁷⁵.

69. *Ibid.*, p. 14

70. Pont *et al.*, 2019.

71. The Shift Project, 2019.

72. L'appellation *Sud global* est utilisée dans le cadre de cet avis pour désigner des pays qui ont un produit intérieur brut faible et un bas indice de développement humain. Le Sud global peut s'apparenter à ce qui était avant caractérisé comme *les pays en développement* ou plus récemment *les pays moins avancés*. Cette appellation désigne davantage des caractéristiques communes de ces pays qu'une appartenance géographique, de manière à inclure des pays situés en Amérique latine, en Afrique, en Asie et en Océanie. Cette appellation vise aussi à reconnaître la diversité des pays qui forment le Sud global et les enjeux propres à ceux-ci, notamment les conséquences particulières des changements climatiques pour ces pays et leurs historiques de colonisation (Jourde, 2021).

73. Labrecque, 2020.

74. Gravel *et al.*, 2022, p. 67.

75. Labrecque, 2020.

2.2.4 Émissions de gaz à effet de serre (GES)

Plusieurs estimations convergent vers l'attribution aux technologies numériques d'environ 3 à 4 % des émissions totales de GES dans le monde⁷⁶.

Dans la littérature⁷⁷, les estimations de l'empreinte carbone du numérique présentent une variation importante, et ce, pour plusieurs raisons. D'une part, l'intensité énergétique liée au trafic de données dépend notamment de l'efficacité des infrastructures, qui sont plus ou moins gourmandes en énergie selon la région du monde considérée. D'autre part, la quantité de carbone générée par l'utilisation du numérique varie en fonction du *mix énergétique* propre à chaque région. En effet, dans un contexte où la demande en énergie est la même, l'empreinte carbone d'une même activité numérique sera beaucoup plus élevée dans une région du monde où l'énergie est produite à partir de ressources fossiles, que dans une région où l'énergie provient de ressources renouvelables.

À titre d'exemple, des experts proposent une évaluation de l'empreinte carbone associée à la consommation de visionnement de vidéos en diffusion en continu en Alberta et au Québec, les deux provinces canadiennes dont les sources énergétiques sont les plus opposées : l'Alberta compte 9 % d'énergie renouvelable dans son mix, contre 98 % au Québec⁷⁸. Selon leurs prédictions, un Québécois pourrait consommer entre 5 % (utilisateur consciencieux) et 17 % (utilisateur intensif) de son *budget carbone*⁷⁹ annuel par son utilisation des TN, contrairement à 10 % et 40 % pour un Albertain. Ces résultats, obtenus à partir de l'hypothèse optimiste selon laquelle les données consommées transitent près des utilisateurs, illustrent que la performance des infrastructures et la composition des sources énergétiques déterminent en grande partie l'ampleur de l'empreinte carbone de l'utilisation des technologies numériques. Toutefois, bien que les énergies renouvelables permettent de réduire l'empreinte carbone du numérique, elles ne sauraient constituer à elles seules l'unique solution pour verdir l'ensemble de son cycle de vie :

[Devant] une croissance illimitée de la demande en énergie, même une empreinte carbone relativement petite, imputable au recours aux énergies renouvelables, aura des conséquences significatives sur le plan environnemental⁸⁰. (Traduction libre)

Enfin, au nombre des raisons pour lesquelles les estimations de l'empreinte carbone associée au numérique fluctuent, il faut compter la variabilité des données utilisées pour ces calculs, ces dernières étant plus ou moins *fiabiles* en raison de leur *transparence*, de leur *récence* et de leur *complétude*, qui soulèvent des enjeux sur lesquels nous reviendrons plus loin⁸¹. Les experts soulevant ces raisons soutiennent donc qu'il est plus rigoureux de présenter les résultats des estimations de l'empreinte carbone du numérique sous forme d'intervalles. En dépit de ces difficultés, ces estimations peuvent fournir une idée utile de l'empreinte carbone mondiale du numérique. Le présent avis retient les estimations de l'empreinte carbone du numérique qui demeurent à ce jour les plus commentées dans la littérature⁸².

76. Voir notamment Maurey *et al.*, 2020; The Shift Project, 2021; Bordage, 2019; Freitag *et al.*, 2021.

77. Ce passage s'appuie entre autres sur la métaétude de Freitag *et al.* (2021), lesquels ont procédé à un exercice de normalisation des résultats issus des quatre études les plus fréquemment citées à ce jour pour parler de l'empreinte carbone du numérique, soit Andrae et Edler (2015), Belkhir et Elmeligi (2018), Malmodin et Lundén (2018), et Andrae (2020). Cette métaétude est encore citée à ce jour pour sa pertinence dans le domaine (Roussilhe *et al.*, 2023).

78. Viana *et al.*, 2022.

79. Le concept de *budget carbone*, emprunté au programme des Nations Unies en 2020, correspond aux émissions carbonées allouées annuellement à chaque citoyen du monde entre aujourd'hui et 2030 pour réussir à limiter le réchauffement climatique à 1,5 degré Celsius (Viana *et al.*, 2021, p. 457).

80. Freitag *et al.*, 2021, p. 7.

81. Roussilhe, 2021b; Freitag *et al.*, 2021.

82. Roussilhe *et al.* (2023), dans une revue de littérature récente sur l'empreinte carbone du numérique, cite toujours la métaétude de Freitag *et al.* (2021) et les études qu'elle compare comme les plus importantes sur le sujet. Voir aussi Charfeddine et Umlai, 2023; Piscicelli, 2023; et Samuel *et al.*, 2024, qui soulignent la difficulté, toujours actuelle, de procéder à des estimations et à des comparaisons de l'empreinte carbone du numérique.

Nonobstant les variations observables dans les estimations de l’empreinte carbone du numérique, sa tendance à la hausse fait consensus. Si aucun plan de sobriété numérique n’est adopté, le taux de croissance des GES des technologies numériques, de 6 % en 2021, pourrait grimper jusqu’à 9 % dès 2025⁸³. En outre, en l’absence de changements importants du rapport au numérique dans le monde, le rythme actuel de l’augmentation des émissions de GES associées au numérique pourrait annihiler près de 20 % de l’effort global de réduction mondiale des GES accompli par les autres secteurs économiques⁸⁴. En dépit de la tendance croissante des émissions de GES associées au numérique, ce secteur est pour l’instant exempté des réglementations imposées aux autres secteurs économiques qui génèrent des GES⁸⁵.

2.3 Les effets indirects

Les effets indirects des technologies numériques sont plus complexes à circonscrire et à évaluer que leurs effets directs. Cette catégorie comprend les conséquences et les perspectives générées par l’implantation des technologies numériques (TN) dans la société. Plus spécifiquement, les effets indirects désignent les changements dans nos pratiques et habitudes de consommation et de production qui viennent avec l’implantation des TN. Ils rassemblent un nombre important d’effets positifs et négatifs au point où l’équilibre est difficile à établir entre eux.

2.3.1 L’effet de substitution

La substitution est souvent mobilisée comme argument en faveur de conséquences environnementales positives de la numérisation. L’effet de substitution des technologies numériques concerne leur utilisation afin de remplacer ou de modifier l’utilisation d’autres technologies, produits ou services, qu’ils soient numériques ou non. Le développement des technologies numériques est souvent lié à l’augmentation de la production de biens pouvant en combiner plusieurs en « biens virtuels », lesquels seraient susceptibles de générer moins de pollution que des biens manufacturés, car ils demanderaient supposément moins de ressources matérielles et consommeraient moins d’énergie. La substitution fait l’objet d’une littérature mettant en valeur les bénéfices environnementaux des technologies numériques⁸⁶. En voici quelques exemples :

- Le téléphone intelligent permet de remplacer plusieurs appareils à la fois.
- L’utilisation de la boîte courriel réduit l’utilisation du papier et le besoin de transporter le courrier.
- Les avancées de la téléphonie et de la vidéoconférence permettent des formes de communication réduisant l’empreinte environnementale liée aux transports.
- Les plateformes commerciales et bancaires en ligne permettant de réaliser des transactions sans se déplacer.

Les raisons pour réaliser une substitution sont multiples et les effets de celle-ci sont toujours complexes. Beaucoup de substitutions se produisent, mais toutes n’ont pas pour but premier la réduction de l’impact environnemental, ou elles se résument trop souvent au critère de la consommation énergétique en délaissant l’analyse du cycle de vie des technologies numériques. Des experts rappellent pourtant que les technologies de substitution n’auront pas automatiquement une consommation d’énergie moindre que celles d’origine⁸⁷. Ce constat s’applique aussi aux autres aspects de l’impact environnemental. En particulier, certains experts ont analysé le cas du changement d’un panneau publicitaire imprimé en faveur d’un panneau électronique⁸⁸.

83. The Shift Project, 2021, p. 13.

84. The Shift Project, 2018, p. 19.

85. Flipo, 2020, p. 8.

86. Bekaroo *et al.*, 2016.

87. Flipo *et al.*, 2012; Horner *et al.*, 2016.

88. Horner *et al.*, 2016.

Bien que le second ait exigé une grande quantité de ressources pour être construit et qu'il consomme davantage d'énergie, il apporte certains bénéfices opportuns. Notamment, il élimine la nécessité que des employés s'y rendent périodiquement en voiture pour modifier les publicités. Celles-ci n'auront également plus à être imprimées. Deux sources d'émission de GES seront donc éliminées. Des réductions et des augmentations de certains effets directs semblent donc se côtoyer.

Cet exemple illustre une dynamique importante de la substitution : celle-ci se produit rarement sans être accompagnée d'un changement de fonctionnalités. En effet, le passage de la publicité traditionnelle à la publicité numérique permet de passer de l'affichage de publicités statiques à la diffusion de publicités animées, qui peuvent être utilisées pour capter plus efficacement l'attention des automobilistes dans l'espoir de les faire consommer davantage. Si l'on peut dire avec certitude qu'il y a souvent changement de fonctionnalités, on peut également ajouter que ce changement se dirige généralement vers l'expansion des usages et de la consommation.

Cet exemple de substitution, où certains objets reçoivent l'ajout d'une couche numérique, voire intelligente, par rapport aux précédents, est à évaluer avec un œil critique⁸⁹. Par « couche numérique », on entend un système permettant de prélever et de compiler des données sur un appareil ou un réseau d'appareils, voire de les communiquer et de gérer l'appareil à distance (couche connectée), ou encore de faire la gestion de l'appareil automatiquement en fonction des données prélevées (couche intelligente). Les couches en question nécessitent toutes de l'énergie pour fonctionner, un aspect souvent trop peu pris en compte. Dans cet exemple, comme dans le cas d'appareils ménagers tels qu'un réfrigérateur connecté ou intelligent, on peut effectivement se questionner sur la pertinence de cet ajout, à savoir notamment si ce dernier permet réellement d'atteindre des bénéfices environnementaux plus élevés (ex. : réduction de la consommation énergétique et du gaspillage alimentaire grâce aux capteurs intelligents) que les effets négatifs liés au cycle de vie de la couche numérique.

Il y a aussi lieu de se demander, dans certains cas, si l'on se trouve devant une substitution ou une accumulation. Par exemple, on aurait pu s'attendre, particulièrement dans le contexte de la COVID-19, à ce que le commerce en ligne remplace une bonne partie des ventes en magasin, diminuant ainsi l'impact de ces dernières. Cependant, bien que la croissance du commerce en ligne soit très forte depuis 2020, alors qu'elle est beaucoup plus limitée du côté des magasins, il est difficile de parler d'un « remplacement⁹⁰ ». En effet, certaines catégories de biens s'achètent toujours majoritairement en personne, mais ont maintenant aussi une plateforme en ligne pour capter tout revenu qui pourrait en découler. Les habitudes des consommateurs pourront évoluer de telle sorte que certains biens soient achetés en ligne, tout en maintenant leurs besoins de transport pour aller acheter d'autres biens en personne. On se retrouve donc devant un phénomène de substitution partielle ou incomplète⁹¹. Ce type de substitution soulève également de nombreux enjeux sociaux. Des experts insistent sur l'absence de prise en compte de l'importance de la fonction sociale des magasins physiques, lesquels sont également « des lieux de vie » pouvant répondre à une panoplie de besoins sociaux⁹².

Ces dynamiques font en sorte que les avantages de la substitution sont beaucoup moins prononcés qu'on pourrait le croire au premier abord et qu'ils relèvent bien souvent de la spéculation.

89. Roussilhe, 2022b.

90. Zanzana et Martin, 2023.

91. Berkhout et Hertin, 2001.

92. Flipo *et al.*, 2012.

2.3.2 L'efficacité

Les technologies numériques peuvent augmenter l'efficacité d'un large éventail de processus socioéconomiques et réduire la quantité de ressources utilisées par ces derniers. Elles peuvent permettre d'augmenter la productivité et l'efficacité des processus industriels, notamment par l'automatisation. En matière d'infrastructures, les technologies numériques ont le potentiel d'accroître l'efficacité des transports en commun, des réseaux routiers, des bâtiments (immeubles intelligents) et du fonctionnement des réseaux énergétiques (l'énergie intelligente), en plus de favoriser la création de plateformes de partage de services⁹³.

Il est important de rappeler que la numérisation n'entraîne pas systématiquement une plus grande efficacité énergétique ou matérielle des processus qu'elle transforme. C'est le constat auquel arrive le groupe *The Shift Project* qui a étudié le cas de l'éclairage intelligent résidentiel souvent mis en valeur tant pour le confort qu'il engendre que ses économies d'énergie. À propos de celui-ci, le *Shift* conclut que « tel qu'il est utilisé et tel qu'il existe aujourd'hui sur le [marché, il] ne semble pas permettre des gains énergétiques évidents ou automatiques sur la durée de vie du système dans la sphère résidentielle⁹⁴ ». En effet, dans ce contexte, les économies d'énergie permises par l'éclairage intelligent sont insuffisantes pour compenser le surplus d'énergie nécessaire à la fabrication et au fonctionnement de la couche connectée.

Les chercheurs de l'organisation ont aussi effectué des modélisations du même type dans le contexte du secteur des services, soit de l'enseignement et du travail de bureau. Les résultats de ces modélisations montrent que, bien que les gains d'efficacité énergétique soient souvent surestimés par les méthodes conventionnelles qui ne tiennent pas compte de l'énergie grise⁹⁵, l'introduction d'une couche connectée pour l'éclairage de lieux de travail permet des économies nettes d'énergie sur la durée de vie des dispositifs⁹⁶. Ce cas se distingue du résidentiel par le nombre d'heures d'utilisation supérieur de l'éclairage, ainsi que par une durée de vie supérieure du matériel, qui diminue le contrecoup proportionnel de la phase de production. La pertinence de l'ajout d'une couche connectée est toutefois nuancée par le fait que les fonctions qui permettent l'économie d'énergie, soit les fonctions de gradation et d'allumage à l'arrivée d'usagers, peuvent être remplies par des infrastructures filaires qui ne sont pas connectées.

La comparaison entre les emplois résidentiel et commercial de l'éclairage intelligent montre qu'un certain seuil de consommation initial est nécessaire pour que l'ajout d'une couche intelligente devienne pertinent. Encore faut-il que cette consommation initiale soit déjà elle-même considérée comme bien optimisée, autrement dit, qu'elle ne puisse pas être réduite par d'autres options dont le poids environnemental s'avère moins élevé. Par conséquent, la pertinence de procéder à une numérisation à des fins d'efficacité doit être évaluée selon les particularités propres aux contextes de déploiement des technologies et selon la possibilité de recourir à d'autres options non numériques ayant un impact environnemental moins élevé.

93. Berkhout et Hertin, 2001 ; Añón Higón *et al.*, 2017 ; Bieser et Hilty, 2018.

94. The Shift Project, 2020, p. 31.

95. The Shift Project (2020) définit l'énergie grise comme la quantité d'énergie consommée lors de la phase de fabrication d'un produit.

96. The Shift Project, 2020, p. 35

2.3.3 L'effet rebond

Il est important que l'analyse des bénéfices environnementaux générés par les technologies numériques soit effectuée en tenant compte des particularités et de la complexité du phénomène de l'effet rebond⁹⁷. Ce phénomène constitue un véritable paradoxe de l'optimisation des ressources et des procédés. En effet, alors que l'optimisation de l'efficacité des processus et de l'utilisation des ressources et des systèmes devrait permettre une diminution de la consommation des ressources, elle se traduit plutôt, en vertu de l'effet rebond, par une consommation équivalente ou même plus grande à la suite de l'adaptation des comportements de la société⁹⁸. Selon certains, aucune des nouvelles technologies introduites depuis les cinquante dernières années n'aurait permis une réduction nette d'utilisation de matériaux ou d'énergie⁹⁹. C'est tout comme si « les gains d'efficacité sont sans cesse rattrapés, annulés, dépassés par l'envolée des consommations¹⁰⁰ ».

Voyons plus attentivement deux types d'effet rebond et en quoi ces derniers peuvent compromettre les gains environnementaux liés à une plus grande utilisation et optimisation des technologies numériques.

Un effet rebond *direct* se produit lorsque l'augmentation de l'efficacité de l'utilisation d'une ressource, d'un service, d'un produit ou d'un procédé de production nous mène à utiliser davantage *ce même service* plutôt que de conserver l'économie réalisée sur ce dernier.

Prenons l'exemple de l'innovation technologique des microprocesseurs dans les années 1970¹⁰¹, lesquels ont permis d'intégrer l'ensemble des composantes électroniques d'un processeur au sein d'un même circuit. Cet exploit technologique a permis d'optimiser de manière exponentielle la vitesse de fonctionnement des processeurs tout en diminuant leur consommation d'énergie. De plus, il a permis de les miniaturiser, de manière à réduire considérablement la quantité de ressources premières nécessaires à leur fabrication. Les prix des microprocesseurs ont par conséquent diminué. Dans cette situation, si la demande en microprocesseurs était demeurée la même, on aurait pu s'attendre à une économie de silicium et d'agents chimiques. Toutefois, au lieu de garantir cette économie de ressources, la demande de microprocesseurs n'a cessé de croître, et ceux-ci sont devenus toujours plus puissants, contribuant par conséquent à l'obsolescence des appareils moins puissants, ainsi qu'à l'accélération du rythme de leur renouvellement.

Les effets rebonds indirects sont plus complexes. Ceux-ci, par opposition aux effets rebonds directs, concernent « les changements des motifs de production et de consommation au-delà du service étudié, que ces changements opèrent dans des services adjacents, d'autres secteurs économiques ou transforment des schémas sociaux et culturels¹⁰² ». Imaginons, par exemple, que l'on décide de profiter des acquis économiques liés à la baisse du prix des microprocesseurs, que nous nous contentions de leurs puissances actuelles et décidions d'allonger la durée de vie de nos ordinateurs, mais que nous décidions de consommer davantage d'autres ressources. Nous serions alors en présence d'un effet rebond de type indirect puisque

97. La notion d'effet rebond provient de l'économiste William Stanley Jevons, qui, vers la fin du XIX^e siècle, remarque que l'introduction et l'adoption généralisées d'une génération de machines à vapeur beaucoup plus efficace que la précédente ont mené, de manière paradoxale, à une augmentation de la consommation totale de charbon. La CEST n'entend pas ici trancher le débat qui existe concernant la distinction entre l'effet rebond et le paradoxe de Jevons. Certains distinguent les deux notions de différentes manières, alors que d'autres les considèrent comme synonymes. Certains vont effectivement considérer le paradoxe de Jevons comme un type d'effet rebond lorsque l'augmentation de la consommation est supérieure à 100 % du gain d'efficacité (Polimeni et Mayumi, 2008 ; Gossart, 2014). Ici, l'effet rebond est compris dans la deuxième perspective, de manière plus large, de manière à inclure le paradoxe de Jevons dans la catégorie des effets rebonds.

98. L'effet rebond peut aussi être partiel. Dans ce cas, il réduit les gains espérés liés à l'efficacité ou à la substitution, sans toutefois les annuler complètement.

99. The Shift Project, 2018.

100. Veltz, 2023.

101. Gossart, 2014.

102. Rousshile, 2022b.

nous aurions procédé à une réaffectation des gains économiques ou de ressources à d'autres activités consommatrices de ressources.

L'effet rebond indirect demeure difficile à évaluer et complique la réalisation d'un bilan des bénéfices environnementaux des technologies numériques, plus particulièrement lorsque l'on souhaite qu'elles « verdissent » certaines fonctions sociales. Prenons, par exemple, le télétravail, lequel permet aux travailleurs d'économiser du temps et des ressources de transport pour se rendre à leurs lieux de travail. En 2016, environ 1,5 million de Canadiens consacraient au moins une heure par jour pour se rendre à leur travail ; sur ce nombre, 57 % utilisaient la voiture comme mode de transport¹⁰³. Ainsi, le télétravail permet aux travailleurs d'économiser du temps et des ressources de transport pour se rendre à leurs lieux de travail. De plus, le télétravail peut permettre de réduire la consommation énergétique et les surfaces immobilières pour les bureaux de travail. Dans cette perspective, on ne peut que voir d'un bon œil le fait que les individus réduisent leurs trajets de transport et évitent les embouteillages. Les choses ne sont cependant pas aussi simples.

En effet, les gains environnementaux du télétravail seront en réalité conditionnels à ce que le temps et les ressources économisés ne soient pas annulés par *d'autres* activités consommatrices de ressources. Il suffit de penser à la consommation de ressources numériques. En effet, le télétravail peut engendrer une plus grande consommation d'appareils numériques, une utilisation accrue de la visioconférence et du stockage numérique. De plus, de nombreux travailleurs peuvent décider de désertir les centres urbains pour se rapprocher de la nature et ainsi habiter plus loin de leur lieu de travail. Ces télétravailleurs qui utilisaient majoritairement le transport en commun risquent désormais de devoir se procurer une voiture et, par conséquent, d'augmenter leurs trajets de transport polluants (ex. : trajets plus longs pour les besoins des enfants ou des loisirs¹⁰⁴). Plusieurs autres effets rebonds sont possibles : agrandir un logement ou en choisir un plus grand afin de pouvoir aménager un espace de travail convenable au télétravail, augmenter significativement la consommation du numérique via des jeux en ligne ou le visionnement en diffusion en continu (*streaming*), qui est présentement très énergivore et polluant, ou bien augmenter la consommation globale de produits et de services en magasinant davantage en ligne¹⁰⁵. Il s'agit ici de quelques exemples d'effets rebonds indirects pouvant littéralement anéantir les bienfaits environnementaux prétendus du télétravail, et même rendre ce dernier encore plus polluant.

Certains estiment qu'il est important d'ajouter une autre catégorie d'effet rebond indirect, lequel se situe à l'échelle d'économies entières, soit les effets rebonds macroéconomiques ou systémiques. Ce type d'effet rebond concerne des changements significatifs de l'activité économique causés par l'introduction et l'adoption d'une nouvelle technologie¹⁰⁶. Ces types d'effets rebonds peuvent impliquer des changements culturels profonds, notamment dans les modes de vie.

Cette catégorie d'effet rebond semble bien correspondre à l'effet de « rematérialisation » des activités économiques. En effet, bien que les technologies numériques permettent de se substituer à des produits ou des processus plus énergivores et polluants, elles augmentent la capacité à consommer des consommateurs. Les technologies numériques favorisent l'intégration des marchés et augmentent la compétition entre les entreprises, ce qui permet de réduire les prix et, par conséquent, de générer de nouvelles possibilités de consommer des produits autrefois indisponibles¹⁰⁷.

103. Radio-Canada, 2019.

104. Tracol, 2020.

105. Concertation Montréal, 2021.

106. Naturellement, ces effets sont les plus complexes à cerner. La définition et l'identification de ces phénomènes passent par l'utilisation de modèles très complexes, spécifiquement des jeux d'équations représentant le comportement de différents acteurs économiques et les liens entre eux. Le pouvoir de prédiction de ces modèles demeure toutefois très faible, car certains facteurs sont difficilement modélisables, alors que d'autres sont totalement imprévisibles.

107. Berkhout et Hertin, 2001.

2.3.4 Les effets indirects des TN permettent-ils de réduire la consommation de ressources et les émissions globales de GES ?

Plusieurs études et rapports font état des possibles effets indirects positifs de la numérisation pour l'ensemble de la planète. Dès 2001, Berkhout et Hertin mentionnent dans leur rapport intitulé *Impacts of Information and Communication Technologies on Environmental Sustainability : Speculations and Evidence*, et destiné à l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), que les TN peuvent permettre d'améliorer l'efficacité de plusieurs produits et processus par « plusieurs centaines de points de pourcentages » ainsi que d'opérer un découplage « de la courbe de croissance économique et la courbe des dommages environnementaux¹⁰⁸ ».

Les rapports du *Global e-Sustainability Initiative* (GeSI) ont particulièrement retenu l'attention et ont suscité de vives critiques par leurs estimations optimistes, voire exagérées, des gains environnementaux et sociaux que peuvent générer les technologies numériques¹⁰⁹. Le rapport SMART 2020, paru en 2008, suggérait que les technologies numériques pouvaient permettre une réduction de 15 % des GES mondiaux d'ici 2020, ce qui inclut des réductions de GES cinq fois supérieures aux émissions mêmes des technologies numériques via l'optimisation des autres secteurs de l'économie (plus particulièrement la production intelligente, le transport intelligent, le bâtiment intelligent et les réseaux électriques intelligents¹¹⁰). Sept ans plus tard, un nouveau rapport SMARTer 2030 persiste et signe en affirmant que les technologies numériques pourraient favoriser une réduction de 20 % des GES d'ici 2030, de sorte à les maintenir au niveau de 2015. De plus, ce même rapport avance de possibles réductions de la consommation d'énergie des ménages de 40 % d'ici 2030 grâce aux compteurs intelligents, de la consommation d'énergie de l'agriculture de 65 %, des voyages d'affaires en voiture et en avion de 80 % et de la production mondiale d'énergie de 20 %. Les auteurs de ce rapport vont jusqu'à affirmer que les technologies numériques pourraient permettre d'éviter « un arbitrage entre la prospérité économique et la protection de l'environnement¹¹¹ ».

D'un autre côté, plusieurs experts mettent en doute la fiabilité de ces rapports qui, selon eux, surestiment littéralement la capacité de substitution et les gains d'efficacité des technologies numériques. En effet, ces rapports mentionnent très peu leurs sources, sont très peu appuyés par la littérature scientifique et ne calculent pas les conséquences des effets rebonds dans leurs prévisions. Certains dénoncent la possible présence de conflits d'intérêts au cœur de ces études, puisque la quarantaine de membres du GeSI provient de différents secteurs de l'industrie (opérateurs de télécommunications, équipementiers, fabricants de périphériques et concepteurs de logiciels). Enfin, les données sont difficilement accessibles, entre autres parce qu'elles ont été obtenues auprès des entreprises en échange d'une garantie de confidentialité.

108. *Ibid.*, p. 9, traduction libre.

109. The Shifters Montréal, 2020a; Freitag *et al.*, 2021; Pitron, 2021; Rousshile, 2022b.

110. GeSI, 2008, p. 9.

111. GeSI, 2015, p. 8, traduction libre.

La littérature scientifique demeure partagée à cet égard. On retrouve des recherches qui ont recours à différentes méthodologies et qui arrivent à des constats différents. Prenons par exemple la question des émissions de GES. Une recherche explorant les effets positifs et négatifs des technologies numériques sur l'environnement, et qui adapte l'hypothèse de la courbe environnementale de Kuznets au contexte des TN, soutient que l'émission de gaz à effet de serre (GES) par personne d'un État suit une courbe en « U » inversé (∩) lorsqu'elle est mise en relation avec l'indice des technologies d'information et de communication (TIC)¹¹². À partir d'un certain niveau de développement, l'hypothèse de la courbe environnementale de Kuznets suggère que l'augmentation de la production de biens virtuels, l'utilisation des biens numériques comme intermédiaires et l'optimisation des autres secteurs économiques par les technologies numériques conduisent à une réduction des émissions de CO₂. À un stade de maturité donné, l'accroissement des technologies numériques neutralise l'effet d'échelle, selon lequel une production plus élevée entraîne une plus grande pollution par personne. Ainsi, selon cette analyse, il existe un point dans le développement des TIC où toute augmentation supplémentaire est négativement corrélée à la production de GES par habitant.

Toutefois, d'autres recherches soutiennent l'inverse. C'est le cas, par exemple, d'une étude consacrée aux effets des TIC sur l'environnement et sur la consommation électrique en territoire européen¹¹³. En se basant sur des données rendues disponibles par des agences publiques, ses auteurs concluent que les gains en efficacité des TIC ne compensent pas les émissions qu'elles causent. Selon ces derniers, l'utilisation d'Internet génère une croissance de la consommation d'énergie, de l'urbanisation et de l'économie. La croissance économique, à son tour, conduit à une croissance de l'utilisation d'Internet. Les émissions de CO₂ sont, pour leur part, liées de manière bidirectionnelle à la croissance économique et à l'urbanisation. Une autre étude portant sur l'impact du développement des technologies numériques sur la consommation d'énergie globale corrobore ces conclusions¹¹⁴. Elle observe que la croissance du secteur des technologies numériques augmente la consommation d'énergie générale et que les effets positifs des technologies numériques – augmentation de l'efficacité, tertiarisation – sont intimement liés aux effets directs négatifs.

Il convient par conséquent de ne pas associer de manière simpliste les gains d'efficacité avec la réduction de l'empreinte environnementale du numérique ou d'autres secteurs de l'économie. Ainsi, une étude comparant différentes estimations de l'empreinte environnementale des TN issues de la littérature scientifique conclut que la croissance des technologies d'information et de communication (TIC) n'engendre pas d'elle-même une décroissance des émissions globales de CO₂¹¹⁵. Au contraire, les auteurs soutiennent que le secteur contribue activement à la pollution et le fera de plus en plus par ses produits matériels, par l'utilisation de ces produits et par la gestion des déchets. Sur le plan historique, la croissance de l'économie globale a toujours été accompagnée d'une empreinte carbone grandissante, et ce, en dépit de l'efficacité énergétique engendrée par le recours au numérique¹¹⁶. Ce survol des effets environnementaux directs et indirects montre bien la difficulté et la complexité de tirer un bilan de la somme des bénéfices et des risques environnementaux générés par les technologies numériques.

112. Añón Higón *et al.*, 2017. Celui-ci est déterminé en fonction des cinq variables suivantes : le nombre d'abonnements au téléphone fixe, le nombre d'abonnements au téléphone cellulaire, le nombre de propriétaires d'ordinateurs personnels, le nombre d'utilisateurs d'Internet et le nombre d'abonnements haut débit fixe (>256 kbit/s). Le tout pour 100 habitants.

113. Maggazzino *et al.*, 2021.

114. Lange *et al.*, 2020.

115. Freitag *et al.*, 2021.

116. Freitag *et al.*, 2021, p. 7.



2.4 Des phénomènes accélérateurs de l'accroissement de l'impact environnemental du numérique

En plus des effets directs et indirects négatifs des technologies numériques, des phénomènes socioéconomiques liés à la commercialisation et à l'innovation technologique agissent comme des facteurs contribuant fortement à l'accroissement de l'impact environnemental des technologies numériques. Parmi ces phénomènes, mentionnons l'obsolescence des technologies numériques, la recherche effrénée d'innovation technologique, le solutionnisme technologique, l'économie de l'attention et la dépendance au numérique.

2.4.1 L'obsolescence

On estime qu'en 2020 seulement, 5 milliards de terminaux utilisateurs sont devenus obsolètes dans le monde, ce qui correspond à 7 millions de tonnes de déchets, soit en moyenne 1,7 kg par internaute. Par comparaison, au Québec et au Canada seulement, ce poids des appareils devenus obsolètes s'élève à 4,3 kg par utilisateur, ce qui représente plus du double de la moyenne mondiale¹¹⁷.

On désigne généralement par l'expression « obsolescence programmée »¹¹⁸ la pratique qui consiste à réduire volontairement la durée de vie d'un objet afin de favoriser son remplacement. Toutefois, l'obsolescence peut prendre plusieurs autres formes. Ainsi, bien que l'on puisse parler, dans certains cas, d'une réduction volontaire et directe de la durée de vie d'un objet (p. ex. : si une puce électronique est intégrée à un appareil en vue de causer une éventuelle défektivité), l'obsolescence des objets se fait plus souvent de manière indirecte.

Le rapport d'Équiterre *Pour des appareils électroménagers et électroniques réparables au Canada*, publié en 2022, détaille les autres formes d'obsolescence qui affectent la durabilité des appareils électroménagers et électroniques (AEE)¹¹⁹. L'obsolescence peut être économique, c'est-à-dire être liée « au rapport qualité/prix du produit, à la baisse de son prix ou au prix des réparations ». On constate ce genre de phénomène lorsque le prix des produits neufs est faible par comparaison aux coûts de réparation, ce qui est particulièrement le cas pour les produits d'entrée de gamme, dont la main-d'œuvre est délocalisée et les pièces sont bon marché, mais d'une qualité limitée. Un coût de réparation élevé, ou des difficultés à réparer soi-même, peuvent quant à eux être causés par plusieurs facteurs, comme l'impossibilité d'utiliser des pièces génériques, un coût élevé pour les pièces d'origine, ou encore un design du produit qui rend complexe l'acte de réparation (pièces qui nécessitent des outils non standards, boîtier soudé, etc.). Il convient toutefois d'évaluer ces choix de manière posée, puisque si certains choix de design rendent la réparation plus difficile, ils prolongent en contrepartie la durée de vie de l'objet. Différents incitatifs commerciaux qui pousseront le consommateur à privilégier le remplacement de son appareil (bris de garantie, entente pour un nouvel appareil) sont aussi utilisés. L'obsolescence économique, comme les suivantes, peut se traduire en obsolescence relative, et non absolue, puisqu'elle peut se produire même dans des cas où le produit n'a pas cessé de fonctionner.

117. The Shifters, 2020a, p. 7.

118. Le phénomène d'obsolescence semble bien intégré aux rouages des systèmes de production internationaux : l'un des cas d'obsolescence les plus souvent cités est celui des fabricants d'ampoules qui, à partir de 1925, formèrent un cartel pour fixer une durée de vie maximum à leurs produits. Un autre exemple notoire est celui du plus grand succès de General Motors sur son concurrent Ford après la crise économique de 1929. On attribue généralement le succès de l'entreprise à ses différentes stratégies (ex. : l'offre de variantes esthétiques des mêmes modèles) visant à encourager le remplacement des voitures. À l'époque de la « Grande Dépression », ce genre de pratique n'avait cependant pas toujours une connotation négative. En effet, la durabilité des objets était alors perçue comme une menace pour l'économie. Devant le constat que la qualité des objets allait généralement en s'améliorant, plusieurs craignaient que la consommation ne s'effrite et qu'elle entraîne un effondrement économique semblable à celui de 1929. Ainsi, Bernard London, courtier immobilier américain derrière l'expression « obsolescence programmée », présentait cette pratique comme une solution de reprise économique et recommandait, par exemple, la mise en place d'une durée de vie maximale légale sur certains objets de consommation.

119. Équiterre, 2022b, p. 14.

Le phénomène de l'obsolescence peut aussi prendre une forme que l'on peut désigner comme psychologique, culturelle ou esthétique. Selon Équiterre, celle-ci est liée à l'image des produits, aux évolutions des besoins des consommateurs et à la façon dont les objets sont commercialisés. Le recours incessant à la publicité, par exemple, génère chez les consommateurs l'impression que leurs appareils sont démodés ou inadéquats, ce qui les pousse à les remplacer, en dépit d'un bon fonctionnement, au rythme de l'arrivée sur le marché de nouveaux produits. C'est dire que l'obsolescence psychologique cause parfois le délaissement d'appareils qui sont pourtant toujours fonctionnels et suffisants pour répondre aux besoins ou aux envies des individus. En ce sens, cette obsolescence est aussi relative, par opposition à une obsolescence absolue, comme ses multiples déterminants n'ont rien à voir avec un bris ou une défectuosité des appareils¹²⁰. L'offre annuelle de nouvelles générations de produits plus performants et attrayants est un bon exemple de ce phénomène qui favorise une réorientation de l'attention de la satisfaction suffisante des besoins des consommateurs vers de nouveaux désirs de consommation – lesquels offrent des possibilités d'améliorations somme toute incrémentales.

La quatrième forme d'obsolescence est technologique. Accompagnant souvent la précédente, celle-ci désigne « la fin de vie prématurée d'un produit en raison de ses performances technologiques (lenteur d'utilisation, faible autonomie d'énergie, qualité graphique, incompatibilité technologique, etc.) »¹²¹. Elle peut aussi se manifester lorsqu'un appareil est techniquement encore fonctionnel, mais ne reçoit plus les mises à jour nécessaires à sa bonne marche. À l'inverse, la mise à niveau d'un téléphone, par exemple, peut impliquer l'installation de logiciels particulièrement énergivores qui donneront l'impression que l'appareil est ralenti.

2.4.2 La recherche effrénée d'innovation technologique

L'évolution numérique et la recherche constante de l'amélioration de sa puissance et de sa vitesse provoquent aussi une accélération continue du rythme de renouvellement des appareils numériques¹²². Certains pointent du doigt les rouages d'une société de « surconsommation » cherchant sans cesse la croissance économique¹²³. La Déclaration de Montréal sur l'intelligence artificielle abonde en ce sens lorsqu'elle fait mention que la course à la 5G « [...] conduira à une pression encore plus forte sur les ressources et l'environnement¹²⁴ ». Dans un billet récent, Pierre Veltz distingue ce phénomène de « progression incontrôlée de la complexité technique et fonctionnelle de nos objets » de l'effet rebond, et appelle tant à un recentrage sur les besoins réels des personnes qu'à une meilleure réflexion sur l'intégration du numérique dans de nouveaux usages¹²⁵.

2.4.3 Le solutionnisme technologique

Un autre facteur notable de l'accroissement du poids de l'impact environnemental des technologies numériques est le *solutionnisme technologique*, qui fait l'objet de critiques toujours plus nombreuses. Selon cette approche, tout problème humain aurait une solution technologique. Autrement dit, cette approche attribue à la technologie la capacité computationnelle de capter la complexité des problèmes qui échapperait à nos cerveaux, particulièrement dans le cas de problèmes systémiques. Il s'agit du discours optimiste promu dans tous les secteurs de l'économie, y compris par les entreprises qui œuvrent dans le numérique.

120. *Idem*.

121. *Ibid.*, p. 29.

122. Déclaration de Montréal sur l'intelligence artificielle, 2018, p. 303.

123. The Shift Project, 2018, p. 27-29.

124. Déclaration de Montréal sur l'intelligence artificielle, 2018, p. 304.

125. Veltz, 2023.

Le solutionnisme technologique a tendance à favoriser une perspective limitée sur la complexité de la réalité et des causes des problèmes humains¹²⁶. Dans les faits, cette simplification et cette décontextualisation tendent à favoriser des solutions vulnérables aux effets rebonds ou au déplacement des impacts. Bien que la technologie puisse représenter un facteur positif dans la résolution des problèmes systémiques, elle ne recèle pas tous les remèdes à ceux-ci, ce qui vaut également pour les problèmes de nature environnementale et climatique. Enfin, une forte tendance au solutionnisme technologique peut générer une plus grande dépendance aux technologies pour le fonctionnement des sociétés modernes.

2.4.4 L'économie de l'attention

La croissance du numérique est aussi alimentée par l'augmentation du temps d'utilisation des appareils et services auxquels ils permettent d'accéder. C'est ce que certains chercheurs appellent *l'économie de l'attention*. Il s'agit d'un paradigme qui s'est installé au cours des dernières années et en vertu duquel une ressource cognitive – l'attention – est commercialisée de sorte à occuper une place importante dans le système économique¹²⁷. Dans ce contexte, l'économie de l'attention évoque aussi les stratégies qui sont utilisées par les acteurs privés, principalement dans le secteur des médias et des technologies numériques, afin de capter l'attention, de la retenir et d'en garder des traces sous forme de données. Ces ressources sont ensuite monnayées par le biais de la publicité, qui est de plus en plus ciblée grâce à ces données, instituant une boucle d'accumulation d'informations sur les préférences des utilisateurs.

Les acteurs de l'économie de l'attention utilisent des principes avérés en sciences sociales, principalement en psychologie, afin d'augmenter le temps que les individus passent sur les plateformes et applications qu'ils créent. Par exemple, une bonne partie de l'économie de l'attention repose sur le *conditionnement opérant*, une méthode d'apprentissage qui fonctionne par le renforcement et la punition de certains de nos comportements. Lorsque les comportements des utilisateurs sont à l'avantage des plateformes, ils seront récompensés, provoquant la sécrétion de neurotransmetteurs comme la dopamine, de sorte qu'ils auront tendance à les répéter¹²⁸. Ces récompenses sont souvent offertes de manière intermittente, ce qui augmente leur puissance. Une bonne partie de ce qui se retrouve dans nos fils d'actualités sur les réseaux sociaux ne nous intéresse pas, mais il y a toujours des chances que la prochaine publication pique notre curiosité, suscite notre admiration, nous fasse rire ou nous indigne. Les mentions « j'aime », les commentaires et les partages sont autant d'éléments qui peuvent renforcer un comportement. On peut également citer la ludification, soit « l'application des mécaniques propres aux jeux, notamment aux jeux vidéo, à diverses disciplines comme la publicité, la commercialisation ou l'éducation, pour inciter de façon ludique les utilisateurs à adopter un comportement souhaité » comme forme spécifique de conditionnement opérant mobilisée dans l'économie de l'attention¹²⁹. L'attribution de badges pour récompenser certains types d'interactions sur les réseaux sociaux en serait un bon exemple. D'autres mécanismes sont également en jeu, comme le maintien de l'attention dans une tâche sans fin, notamment par le défilement à l'infini présent sur Facebook et Instagram, ou encore la répétition automatique (*autoplay*) caractéristique de YouTube.

Ces méthodes peuvent promouvoir un usage excessif des technologies numériques chez les individus, qui, particulièrement lorsqu'ils sont peu informés, sont plutôt démunis face à la savante intégration d'années de recherche scientifique dans des services toujours à portée de main. Compte tenu de ces stratégies et de leur efficacité à l'échelle individuelle, il est aisé de faire un lien entre l'économie de l'attention et l'augmentation du temps d'écran quotidien des individus, y compris chez les enfants. Si l'on analyse souvent cette augmentation au regard de la santé humaine, il est fort probable qu'elle ait aussi des impacts environnementaux importants, notamment sur les plans de la consommation énergétique et du renouvellement des appareils.

126. Morozov, 2013.

127. Citton, 2014.

128. Lindström *et al.*, 2021.

129. Office québécois de la langue française, 2015.

2.4.5 La dépendance au numérique

Dans le contexte de cet avis, la *dépendance au numérique* désigne le fait que le fonctionnement des sociétés contemporaines *repose de plus en plus sur* (ou *dépend de*) l'utilisation des technologies numériques. Par exemple, un accès à Internet, incluant tous les objets qu'il implique, est *indispensable* pour une grande proportion de la population mondiale qui souhaite communiquer avec ses proches, procéder à des paiements ou des virements, s'informer, travailler, etc.¹³⁰. En effet, selon l'Association des banquiers canadiens, 78 % des Canadiens utilisent des services numériques (Internet et les applications) pour réaliser la plupart de leurs opérations bancaires¹³¹. Le lectorat des journaux au Québec qui privilégie la lecture en ligne est 34 % plus nombreux que le lectorat qui préfère les médiums traditionnels, alors qu'en 2019, ces derniers conservaient quelques points d'avance dans les statistiques¹³². En plus d'accroître l'impact environnemental lié au numérique, la dépendance envers ce dernier peut entraîner des pertes de compétences dans certains secteurs (ne plus être en mesure de résoudre des problèmes sans recours au numérique) et pose des enjeux en matière d'équité et de justice sociale pour ceux qui n'ont pas accès à ces technologies.

2.5 Tour d'horizon des impacts environnementaux de quelques technologies numériques

Les prochaines sections présenteront des descriptions plus spécifiques de technologies émergentes, dont les effets directs et indirects peuvent comporter à la fois des aspects négatifs et des risques, ainsi que des utilisations potentiellement bénéfiques pour l'environnement. Les technologies ciblées dans cet avis appartiennent aux cinq causes principales de la croissance de la consommation énergétique du numérique mentionnées dans le dernier rapport du Shift Project, paru en 2021, et citées plus haut¹³³ (section 2.2). Il sera question de la vidéo en diffusion en continu (*streaming*), de la technologie des chaînes de blocs, de l'Internet des objets (IdO), de l'intelligence artificielle (IA) et de la technologie à haut débit mobile 5G.

2.5.1 La vidéo en diffusion en continu

Comme mentionné précédemment, le visionnement de vidéo en diffusion en continu (*streaming*) figure parmi les cinq causes principales de l'augmentation de la consommation énergétique du numérique et, donc, de l'augmentation de son empreinte carbone et matérielle¹³⁴.

En 2018, le flux vidéo représentait 80 % du trafic mondial de données¹³⁵. De plus, il était responsable de 80 % de l'augmentation annuelle de son volume. Ces proportions énormes s'expliquent par le fait que les images vidéo sont essentiellement des calculs, toujours plus lourds et perfectionnés, qui ont vocation à faire « s'allumer et s'éteindre des milliards de trilliards de pixels sur des milliards d'écrans », dont le nombre croît lui aussi¹³⁶. L'augmentation de la qualité des images serait aussi responsable de cette tendance : le recours à la résolution en 4K serait en augmentation d'environ 30 % par année¹³⁷.

130. Flipo, 2020, p. 14; The Shift Project, 2020, p. 96.

131. Association des banquiers canadiens, 2022.

132. Centre d'étude sur les Médias, s.d.

133. Selon The Shift Project, les cinq causes principales de la croissance de la consommation du numérique sont : l'essor de la vidéo et ses conséquences (télévisions, écrans publicitaires, moniteurs de grande taille, etc.), le confort assisté (les enceintes connectées, les caméras de vidéosurveillance personnelle, etc.), la généralisation du téléphone intelligent à travers le monde, l'essor de l'Internet des objets et de l'Internet industriel des objets et, finalement, celui des besoins de traitement et de transport de données non absorbés par le progrès technologique (l'explosion du trafic de données mobiles, la demande en capacités de calcul pour l'IA, les cryptomonnaies et l'*edge computing*, par exemple) (2021, p. 17).

134. Keller et Stucki, 2018; Viana *et al.*, 2021.

135. The Shift Project, 2021, p. 18.

136. Flipo, 2020, p. 9.

137. Maurey *et al.*, 2020.

Plus particulièrement, The Shift Project évaluait que 60 % du trafic mondial de données était attribuable en 2018 à la consommation de vidéo en ligne en diffusion en continu¹³⁸, ou *streaming*, une expression qui désigne le fait de visionner des fichiers vidéo accessibles sur des serveurs externes qui transitent seulement sur les terminaux (contrairement au téléchargement, qui consiste à héberger des fichiers à même les terminaux individuels).

À partir de ces informations tirées du rapport de The Shift Project, il est possible d'estimer que le visionnement de vidéos en diffusion en continu (ou *streaming*) serait à lui seul responsable de 33 % de la consommation énergétique annuelle mondiale liée à la phase d'utilisation du numérique. Cette estimation est cohérente avec les résultats d'autres études¹³⁹, qui ont démontré que la consommation énergétique requise par le trafic de données associées au visionnement de vidéos en diffusion en continu surpasse en général la consommation énergétique requise par les autres services numériques, car c'est l'usage qui sollicite habituellement le trafic de données le plus important.

Selon une étude portant sur la recension des résultats de plusieurs études ayant calculé l'empreinte carbone associée à la consommation de vidéos et de musique en diffusion en continu, une heure de visionnement de vidéos en diffusion en continu peut générer entre 3 g CO₂ eq. hr⁻¹ et 8,76 kg CO₂ eq. hr⁻¹.¹⁴⁰

Le poids énergétique (et donc l'empreinte carbone) du visionnement de vidéos en diffusion en continu serait principalement dû à la fréquence à laquelle ces services sont utilisés, ainsi qu'à la quantité de données qu'ils mobilisent¹⁴¹. De plus, considérant que les vidéos sont visionnées sur des appareils dont le seul fonctionnement est parmi les plus énergivores comme les téléviseurs et autres écrans, l'impact énergétique de notre consommation de vidéos serait d'autant plus significatif¹⁴². En effet, les télévisions consomment environ la moitié de l'énergie allouée à l'utilisation du numérique au Canada, ainsi qu'à l'échelle mondiale¹⁴³. Enfin, on peut noter que l'amélioration de la qualité des vidéos rendue possible par les innovations technologiques incite les consommateurs à s'acheter *davantage* d'équipements (suréquipement) ou encore à les *remplacer* fréquemment. Dans les deux cas, la consommation énergétique s'en trouve accentuée, que ce soit par l'utilisation intensive des appareils encouragée par le suréquipement, ou encore en raison de la consommation énergétique requise pour la production des nouveaux équipements, que ces derniers *s'ajoutent* aux anciens ou qu'ils les *remplacent*.

138. Par opposition au *streaming live*, qui compte pour les 20 % restants du 80 % mentionné plus haut – p. ex. : Skype, télé médecine, vidéosurveillance, etc.

139. Keller et Stucki, 2018; Viana *et al.*, 2021, p. 462.

140. Si l'on considère qu'une tonne de CO₂ est émise lorsqu'une voiture parcourt 5 181 km, selon l'estimation fournie par Carbo en avril 2023 (<https://www.hellocarbo.com/blog/calculer/tonne-equivalent-co2/>).

« *For on-demand video streaming, we found values ranging from 3 g CO₂ eq. hr⁻¹ to 8.76 kg CO₂ eq. hr⁻¹* » (Viana *et al.*, 2021, p. 460).

Bien que la différence entre ces deux valeurs puisse sembler monumentale, les auteurs de l'étude expliquent qu'elle est tout à fait attendue d'une démarche qui consiste à calculer l'empreinte carbone des usages du numérique. Nous commenterons cette variation dans une section ultérieure consacrée à la difficulté de parvenir à des estimations de l'empreinte environnementale du numérique.

141. Viana *et al.*, 2021, p. 462.

142. *Ibid.*

143. The Shifters Montréal, 2020a, p. 35.

2.5.2 Les chaînes de blocs

Une chaîne de blocs est une « base de données distribuée et sécurisée, dans laquelle sont stockées chronologiquement, sous forme de blocs liés les uns aux autres, les transactions successives effectuées entre ses utilisateurs depuis sa création¹⁴⁴ ». La technologie des chaînes de blocs permet d'assurer un stockage de données de manière sécuritaire, décentralisée et transparente. Bien qu'elle soit connue principalement pour son utilisation en finance et plus particulièrement dans les cryptomonnaies, elle est employée dans un nombre grandissant de produits et services tels que les paiements rapides, la logistique de chaîne d'approvisionnement, le partage sécuritaire de données médicales, le stockage de titres de propriété immobilière et la gestion de l'énergie renouvelable.

La *Bitcoin*, une cryptomonnaie, est souvent utilisée comme référence pour étudier les impacts environnementaux des chaînes de blocs, puisqu'il est responsable de la plus grande proportion (66 %) de la consommation d'énergie de l'ensemble des cryptomonnaies – la portion restante étant partagée presque entièrement entre d'autres cryptomonnaies dont le fonctionnement repose aussi sur la technologie par preuve de travail (*Proof of Work, PoW*)¹⁴⁵. Cette dernière désigne un « protocole de validation de transactions qui repose sur la résolution d'un problème cryptographique complexe¹⁴⁶ ».

Or, la technologie de preuve de travail est beaucoup plus énergivore que la technologie alternative, dite de « preuve par enjeu » (*Proof of Stake, PoS*), laquelle requiert 100 fois moins d'énergie¹⁴⁷. En principe, il serait possible pour les cryptomonnaies de troquer la technologie par preuve de travail pour la technologie par preuve par enjeu, un changement auquel la cryptomonnaie *Ethereum* a déjà procédé. Néanmoins, dans le cas du *Bitcoin*, ce changement majeur rencontre actuellement des obstacles considérables, car plusieurs utilisateurs soutiennent notamment que la demande en énergie élevée du *Bitcoin* en est une caractéristique essentielle plutôt qu'un défaut, car elle est due à la difficulté de résoudre les problèmes mathématiques permettant d'ajouter des blocs à la chaîne¹⁴⁸. En conséquence, plusieurs pensent que réduire la demande en énergie du procédé réduirait du même coup la sécurité de la chaîne.

La puissance de calcul requise pour miner des *Bitcoins* consomme une quantité faramineuse d'énergie. À titre d'exemple, Jones *et al.* (2022) estiment qu'en 2020, le minage de *Bitcoins* consommait plus d'énergie (74,5 TWh y⁻¹) que des pays comme l'Autriche (69,9 TWh y⁻¹) ou le Portugal (48,4 TWh y⁻¹). De plus, ces chercheurs jugent que l'énergie utilisée pour le minage des *Bitcoins* à l'échelle mondiale provient principalement (environ 61 %) de sources non renouvelables (énergies fossiles, charbon, gaz naturel), ce qui fait du minage des *Bitcoins* une source considérable d'augmentation des émissions de GES.

Suivant la tendance générale des technologies numériques, la puissance de calcul requise pour miner des *Bitcoins* est en constante augmentation, ce qui fait croître, en plus de la demande en énergie et des émissions de GES qui lui sont associées, le rythme de remplacement des appareils qui servent à miner les *Bitcoins*. L'augmentation de la puissance de calcul nécessaire pour miner des *Bitcoins* s'explique par le fait que la technologie par preuve de travail repose sur un principe de compétition. Pour obtenir des *Bitcoins*, les mineurs rivalisent pour résoudre des problèmes mathématiques complexes, permettant ainsi de vérifier et de valider les blocs de transactions sur le réseau. La complexité du code numérique augmente chaque fois qu'un mineur décode le précédent, soit environ toutes les dix minutes¹⁴⁹.

144. Office québécois de la langue française, 2017.

145. Howson et de Vries, 2022, p. 2.

146. Office québécois de la langue française, 2018.

147. Howson et de Vries, 2022, p. 5.

148. *Ibid.*, p. 6.

149. *Ibid.*, p. 4.

Autrefois, les mineurs pouvaient gagner des *Bitcoins* avec un simple ordinateur équipé d'une carte graphique standard. Aujourd'hui, leurs rendements dépendent largement des nouvelles pièces spécialisées régulièrement mises sur le marché. Ce matériel électronique, conçu spécifiquement pour le minage de *Bitcoins*, est difficilement réutilisable et son utilisation intensive réduit considérablement sa durée de vie opérationnelle. En conséquence, les *Bitcoins* ainsi que les autres cryptomonnaies fondées sur la technologie de preuve de travail participent à l'augmentation des déchets électroniques¹⁵⁰.

En raison de son empreinte carbone et matérielle croissante, plusieurs études jugent que la technologie par preuve de travail est insoutenable¹⁵¹. Néanmoins, un rapport produit en 2020 par l'Institut de Recherche en économie contemporaine (IREC), intitulé *La révolution numérique au service du bien commun : la technologie des chaînes de blocs*, soutenait l'objectif stratégique suivant :

Faire du Québec l'un des pôles mondiaux de plateformes numériques responsables offrant des services centrés sur les chaînes de blocs, en particulier pour les applications de registre distribué et de contrat intelligent dans les domaines touchant les biens publics¹⁵².

Cette proposition s'appuie sur le fait que les sources énergétiques du Québec reposent majoritairement sur des énergies renouvelables, ce qui rendrait possible, selon les auteurs, de « garantir que le service offert par ces plateformes québécoises d'utilisation de la technologie des chaînes de blocs serait produit au Québec à faible intensité carbone¹⁵³ ». Néanmoins, compte tenu du caractère extrêmement énergivore de la technologie de chaînes de blocs par preuve de travail, il se pourrait que la part d'énergie requise pour ces activités entre en conflit avec d'autres besoins énergétiques au Québec.

C'est un souci qui semble préoccuper actuellement Hydro-Québec, dans le contexte où son Plan d'approvisionnement 2023-2032, déposé à la Régie de l'Énergie du Québec en novembre 2022, prévoit une augmentation significative de la demande en électricité pour la décennie à venir (environ 14 %). Pour cette raison, la société d'État « a demandé à la Régie de l'Énergie d'approuver la suspension du processus d'attribution de puissance réservée à un usage cryptographique appliqué aux chaînes de blocs dans l'attente du traitement de sa demande visant la réévaluation du nombre de mégawatts visé ». Au nombre des raisons citées par la société d'État pour motiver sa demande se trouve la crainte que la consommation en énergie des cryptomonnaies ne mette en péril la fiabilité et la sécurité d'approvisionnement du réseau dans les prochaines années, ainsi que l'atteinte des cibles de réduction de GES, entre autres choses¹⁵⁴. La Régie a rendu une réponse favorable à cette demande dans une décision en date du 10 janvier 2023¹⁵⁵.

2.5.3 L'Internet des objets (IdO)

L'Internet des objets désigne l'ensemble des objets physiques (ex. : appareils, capteurs, supports de stockage) mis en réseau et communiquant entre eux via Internet. Parmi les objets connectés, on compte des appareils portables (ex. : téléphones intelligents, tablettes, ordinateurs), des vêtements et accessoires (ex. : lunettes, montres, moniteurs médicaux), des appareils électroniques (ex. : téléviseurs intelligents), des jouets pour enfants, des moniteurs pour bébé ou animaux de compagnie, des appareils ménagers (ex. : réfrigérateurs), des systèmes pour le domicile (ex. : thermostats, éclairage, sécurité, caméras, serrures), des voitures, etc.

150. Howson et de Vries, 2021.

151. Howson et de Vries, 2021 ; Jones *et al.*, 2022.

152. Bourque et Duhaime, 2020, p. 27.

153. *Ibid.*

154. Bergeron, 2022.

155. Décision du 10 janvier 2023, No D-2023-002, Dossier R-4210-2022, Objet : Décision relative à la demande d'ordonnance de sauvegarde. Demande d'approbation du plan d'approvisionnement 2023-2032 du Distributeur. Consultée en ligne au <https://www.regie-energie.qc.ca/fr/participants/dossiers/R-4210-2022>

Ces objets, ainsi que les données qu'ils collectent et les réseaux par lesquels ils transmettent et reçoivent de l'information, sont possédés ou gérés par des acteurs variés (consommateurs, entreprises, pouvoirs publics), à des fins diverses¹⁵⁶.

Le déploiement de cet ensemble de technologies numériques rend possible la création de « villes intelligentes¹⁵⁷ ». Bien qu'il n'y ait pas de consensus scientifique autour de la définition du concept de ville intelligente, la CEST estime qu'elle réfère aux éléments suivants :

[L'utilisation] accrue et intégrée des technologies numériques d'analyse et de traitement de l'information [les mégadonnées]; des objectifs formulés sous l'angle de l'optimisation des ressources, de l'amélioration de la qualité de vie des citoyens, de la gouvernance ouverte et participative, de la transparence et de la prise de décision fondée sur les données (*data-driven, evidence-based policy*), souvent en complémentarité avec une approche de développement durable; des politiques publiques et un environnement économique axés sur l'innovation, notamment par le soutien des jeunes pousses (*start-ups*), c'est-à-dire des entreprises innovantes à fort potentiel de croissance¹⁵⁸.

L'Internet des objets et les villes intelligentes sont souvent présentés comme comportant des avantages du point de vue environnemental, puisqu'ils ont notamment vocation à optimiser la consommation d'énergie des appareils. En effet, certains appareils incluent des capteurs récoltant des données sur la consommation d'énergie en temps réel, de sorte à l'adapter au besoin. Par exemple, plusieurs thermostats peuvent s'appuyer sur les données de localisation fournies par le téléphone des utilisateurs auxquels ils sont connectés pour éteindre automatiquement le chauffage en l'absence de ces derniers¹⁵⁹. Ainsi, ces thermostats connectés peuvent contribuer à la réduction du gaspillage énergétique et des émissions de GES qui en découlent.

Or, cette optimisation d'énergie à l'échelle locale ne s'accompagne pas nécessairement d'une réduction de la consommation d'énergie globale, en vertu de l'effet rebond¹⁶⁰. L'augmentation du nombre d'objets, d'appareils et de systèmes connectés à l'échelle mondiale entraîne une consommation d'énergie telle qu'elle annule les gains énergétiques obtenus localement et contribue au dépassement de la consommation énergétique initiale.

L'augmentation du recours à l'Internet des objets étant synonyme d'augmentation du trafic des données, il est aussi responsable de la croissance des émissions de GES qui lui est associée, en plus de s'accompagner d'une empreinte matérielle remarquable.

En effet, les connexions entre machines suivent une tendance croissante telle qu'on prévoit qu'elles auront passé de 6,1 milliards en 2018, à 14,7 milliards en 2023¹⁶¹ et à 42 milliards en 2025¹⁶².

Les effets négatifs du déploiement de l'IdO et des villes intelligentes ont tendance à être mis de côté dans la littérature. Cela pourrait être causé, au moins en partie, par le fait que leur impact carbone, autant dans leur phase d'utilisation que dans leur phase de fabrication, est actuellement sous-documenté¹⁶³. Cependant, il est à prévoir que le déploiement de l'Internet des objets sera accompagné d'une augmentation du phénomène de l'obsolescence et de l'augmentation de la production de déchets numériques, parce que d'anciens appareils devront être remplacés par des nouveaux, capables d'être connectés au réseau.

156. CEST, 2020a.

157. Madakam *et al.*, 2015, p. 165.

158. CEST, 2017, p. 2.

159. Gibbs, 2022.

160. Freitag *et al.*, 2021, p. 10-11.

161. *Ibid.*, p. 10.

162. M. A. Albreem *et al.*, 2021.

163. Freitag *et al.*, 2021.

2.5.4 L'intelligence artificielle

Très présente dans la sphère publique au cours des dernières années, l'intelligence artificielle (IA) exige aussi une réflexion sur le plan environnemental. En dépit du vif succès et de l'attrait retentissant de l'IA au sein d'un nombre grandissant de gouvernements et d'entreprises du monde entier, il n'existe pas de consensus sur une définition unique de l'intelligence artificielle. Le Rapport Villani, en reprenant globalement les prémisses de la conférence du Dartmouth College¹⁶⁴, considère que l'intelligence artificielle est un programme de recherche fondé autour de l'ambitieux objectif de comprendre et de reproduire la cognition humaine de manière à « créer des processus cognitifs comparables à ceux de l'être humain¹⁶⁵ ». Dans le même esprit, la Déclaration de Montréal définit l'IA comme « l'ensemble des techniques qui permettent à une machine de simuler l'intelligence humaine, notamment pour apprendre, prédire, prendre des décisions et percevoir le monde environnant¹⁶⁶ ». Selon l'expert en apprentissage profond Yann Le Cun, l'IA consiste en l'utilisation de la puissance de calcul des ordinateurs afin de réaliser des tâches intelligentes, tâches « qui requièrent un certain niveau de sophistication dans la perception, le raisonnement, la prise de décision et la planification d'actions¹⁶⁷ ». L'apprentissage machine, l'une des techniques de l'IA les plus prometteuses, « consiste à programmer un algorithme à apprendre par lui-même », ce qui nécessite, dans tous les cas, une grande quantité de données¹⁶⁸. Cette technique est notamment à la base de l'outil ChatGPT et de tous les autres services basés sur les modèles de langage GPT-3 et GPT-4.

En continuité avec le discours faisant la promotion des gains en substitution et en efficacité des technologies numériques, plusieurs experts estiment que l'IA pourrait apporter plusieurs bénéfices à une gestion durable des écosystèmes naturels et marins et à une meilleure adaptation aux changements climatiques. L'IA pourrait contribuer à la protection des écosystèmes marins en permettant l'exploration sous-marine par des robots intelligents et en surveillant les ressources marines et les pêches illégales. Elle pourrait également améliorer notre connaissance prédictive en recueillant une plus grande quantité d'informations sur les écosystèmes naturels et marins de façon à en permettre une utilisation soutenable^{169, 170}. Il s'agit, par exemple, du projet Tara Oceans qui permet de « collecter des données massives sur l'océan pour comprendre et modéliser un biome planétaire¹⁷¹ ».

De plus, les systèmes d'intelligence artificielle (SIA) constitueraient de réels outils d'optimisation prédictive de gestion des ressources naturelles et des réseaux énergétiques¹⁷². Les SIA pourraient ainsi favoriser la transition énergétique des sociétés et l'atteinte des objectifs de développement durable, notamment par le développement et l'optimisation d'économies circulaires et de villes intelligentes¹⁷³. En permettant aux individus d'utiliser plus efficacement les ressources et d'améliorer la coordination des activités humaines, l'IA pourrait rendre possible l'optimisation des réseaux de transports, qu'ils soient routiers, marins ou aériens.

164. Le terme *intelligence artificielle* a d'abord été introduit par John McCarthy, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester et Claude Shannon dans le cadre d'une université d'été en 1956 au *Dartmouth College* au New Hampshire, aux États-Unis. Selon eux, les découvertes scientifiques et les innovations technologiques de leur époque permettaient d'entrevoir la possibilité que les caractéristiques propres à l'apprentissage et à l'intelligence humaine puissent être découvertes et reproduites par des machines. Ce type de machine pourrait éventuellement non seulement parvenir à résoudre des problèmes alors réservés aux humains, mais également à s'améliorer par elles-mêmes (McCarthy *et al.*, 2006).

165. Villani *et al.*, 2018, p. 11.

166. Déclaration de Montréal sur l'intelligence artificielle, 2018, p. 19.

167. Le Cun, 2019, p. 303.

168. Déclaration de Montréal, 2018, p. 18.

169. Nous considérons *durable* et *soutenable* comme des synonymes.

170. *Ibid.*, p. 20.

171. Déclaration de Montréal sur l'intelligence artificielle, 2018, p. 308.

172. *Ibid.*

173. Vinuesa *et al.*, 2020.

Des algorithmes pourraient par ailleurs constituer d'importants outils d'aide à la décision, notamment en ce qui concerne les choix écoresponsables¹⁷⁴.

L'IA pourrait aussi être bénéfique à la protection des sources d'eau potable en offrant une meilleure évaluation des ressources disponibles et en facilitant la création de nouvelles infrastructures telles les usines de traitement des eaux usées. Les SIA pourraient optimiser l'agriculture grâce à leurs capacités prédictives dans le domaine de la météorologie et de la biologie. Les SIA pourraient, par exemple, prédire la taille des récoltes, la prévalence des mauvaises herbes et des insectes parasites, et la quantité optimale d'herbicides et de pesticides à utiliser. Les améliorations ne sont pas exclusives au règne végétal puisque les élevages pourraient également bénéficier de l'IA et de ses capacités à anticiper la maladie et à évaluer la santé des animaux¹⁷⁵.

Ainsi, certains auteurs considèrent que, sur le plan des changements climatiques, les SIA permettraient le renforcement de la résilience des écosystèmes et de la capacité d'adaptation aux catastrophes climatiques en permettant notamment une réduction significative des GES¹⁷⁶. En effet, les SIA offrent différentes analyses d'ensemble de bases de données interconnectées, permettant ainsi de mieux comprendre et de modéliser le fonctionnement des mécanismes climatiques complexes, ainsi que d'anticiper leur évolution¹⁷⁷.

Comme leurs champs d'application sont très vastes et diversifiés, il est complexe d'estimer l'impact environnemental direct de l'IA et de ses différentes techniques. Même dans le cas de l'apprentissage machine, aucune tentative d'en estimer l'empreinte carbone totale n'a été réalisée, bien qu'il soit relativement aisé, avec les bonnes informations, de calculer l'empreinte carbone d'un modèle donné¹⁷⁸. Les effets directs de cette technique peuvent être circonscrits en ciblant trois phases distinctes : l'entraînement du modèle par des jeux de données ; l'inférence ou l'utilisation d'un modèle entraîné pour générer des prédictions ; ainsi que les autres étapes du cycle de vie, incluant la production des composantes physiques et leur traitement en tant que déchets électroniques. Estimer ou calculer l'impact carbone associé aux deux premières phases ne nécessite donc que de connaître (ou d'estimer) la quantité d'électricité utilisée par un modèle et l'intensité carbone de celle-ci. En vertu de cette méthode, on peut estimer que l'entraînement de GPT-3, par exemple, a produit 552 tonnes métriques de CO₂¹⁷⁹. Cela correspond à l'empreinte carbone annuelle générée par la consommation d'environ 35 Américains. Il faut également mentionner que les modèles doivent périodiquement subir de nouveaux entraînements, de manière à maintenir la pertinence de leurs inférences. L'empreinte des grands modèles de langage, cependant, n'est pas représentative de l'ensemble des modèles qui sont utilisés, puisque plusieurs d'entre eux ont des fonctions beaucoup plus spécifiques, qui demandent un entraînement plus limité¹⁸⁰.

En 2022, Hugging Face a estimé l'empreinte carbone de son modèle de langage BLOOM. Selon leurs calculs, l'entraînement de ce modèle a produit 25 tonnes métriques de dioxyde de carbone, soit l'équivalent de 60 vols entre Londres et New York. Cette quantité d'émissions doublait lorsque la fabrication de l'équipement et l'énergie nécessaire pour assurer leur fonctionnement en continu étaient prises en compte. Cependant, il est important de prendre en compte le fait que BLOOM a été entraîné en France, où le mix énergétique repose majoritairement sur l'énergie nucléaire, lequel est moins carboné qu'ailleurs, réduisant ainsi son empreinte carbone par rapport à d'autres modèles entraînés à partir de sources fossiles¹⁸¹.

174. Plamondon Emond, 2019.

175. Khamis *et al.*, 2019.

176. Rolnick *et al.*, 2019.

177. Vinuesa *et al.*, 2020.

178. À cet effet, l'Institut québécois d'intelligence artificielle (MILA) a rendu disponible cet [outil de calcul](#).

179. Patterson *et al.*, 2022.

180. Ludvigsen, 2022.

181. Heikkilä, 2022.

Si l'entraînement de grands modèles d'IA a davantage capté l'attention des chercheurs jusqu'à présent, leurs utilisations consomment souvent plus d'électricité et émettent davantage de CO₂. Malgré les défis méthodologiques, il a été démontré que l'utilisation de systèmes d'IA, comme BLOOM, peut rapidement devenir plus polluante que leur entraînement¹⁸². Par exemple, une estimation récente de l'empreinte carbone des IA génératives d'images a révélé que la production d'une seule image pourrait consommer autant d'énergie que le chargement complet d'un téléphone intelligent¹⁸³. Par conséquent, la disponibilité de ces outils pour le grand public et leur intégration croissante dans divers services, la vente et le divertissement, pourraient considérablement accroître leur empreinte environnementale.

Il est prévu que la taille du marché mondial de l'IA, estimée à près de 120 milliards USD en 2022, atteindra en 2030 1 591 milliards USD¹⁸⁴. De plus, la quantité de données nécessaires pour entraîner convenablement un algorithme tend à doubler environ tous les trois mois¹⁸⁵. Entre 2012 et 2018, les entraînements auraient d'ailleurs augmenté d'un facteur de 300 000¹⁸⁶. Le secteur est donc en forte croissance, ce qui milite pour une prise en compte accrue de son impact environnemental. Il est nécessaire d'aller au-delà de ses applications visant, par exemple, à réduire les émissions de GES de différents secteurs, car les gains reliés à celles-ci pourraient être annihilés par un développement non réfléchi de la technologie, ou encore par des applications qui permettraient à des opérations polluantes de se poursuivre. À titre d'exemple, l'utilisation de l'IA pourrait permettre de prolonger la rentabilité des opérations d'extraction d'énergies fossiles, puisqu'elle peut faciliter notamment l'exploration, la prédiction de la demande, l'identification des sites d'exploitation les plus rentables et la maintenance des équipements¹⁸⁷. Autre exemple : l'IA commence à être utilisée par de grandes entreprises pour augmenter leurs ventes, notamment au moyen d'une expérience client plus personnalisée, ce qui pourrait accentuer les dynamiques de surconsommation qui contribuent aux changements climatiques.

2.5.5 Haut débit mobile 5G

La possibilité d'accéder à des volumes de données toujours plus importants repose sur les innovations dans le domaine des réseaux mobiles.

Depuis l'avènement de la téléphonie mobile, dont la première génération (1G) ne permettait que de transmettre la voix, plusieurs générations se sont succédé. La seconde génération (2G, norme GSM) permettait de transmettre, en plus de la voix, les messages textes; la troisième (3G, norme UMTS) des données; la quatrième (4G, norme LTE) des quantités importantes de données¹⁸⁸. Cette évolution est surtout quantitative : elle correspond à l'augmentation du volume d'information transférable par seconde. Entre la 1G et la 4G, ce volume a été multiplié par un facteur de 100 000¹⁸⁹.

À chaque génération correspond un *standard* précis. Un standard désigne « les aspects matériels (antennes, terminaux) et logiciels (modulation, mode d'accès au réseau) qui permettent [le transfert d'informations]¹⁹⁰ ». Conséquemment, chaque nouvelle génération requiert la mise en place d'un nouvel ensemble matériel et logiciel qui implique la mise en désuétude du précédent. Autrement dit, chaque changement de génération s'accompagne d'un coût environnemental important sur le plan matériel : non seulement le déploiement d'une nouvelle génération requiert-il une consommation importante des ressources, mais il engendre aussi des quantités considérables de déchets électroniques.

182. Heikkilä, 2023a.

183. Heikkilä, 2023b.

184. Precedence Research, 2023.

185. Open AI, 2018.

186. Freitag *et al.*, 2021, p. 10.

187. Kadam, 2023.

188. Collectif Atécopol, 2022, p. 14.

189. *Ibid.*

190. Collectif Atécopol, 2022, p. 14, citant Alain Cappy.

La 5G est une expression désignant la cinquième génération de téléphonie mobile. Ce nouveau standard rend possible non seulement une téléphonie mobile plus rapide (multiplier le débit par 10, diviser la latence de transfert par 10), mais permet aussi à plus d'appareils de communiquer entre eux, dans un cadre industriel ou pour créer un Internet des objets (la 5G permettra de multiplier le nombre d'appareils connectés par un facteur de 10 à 100) et de réaliser des projets tels que les villes intelligentes¹⁹¹. En conséquence, parce que la 5G rend possible la circulation d'un volume de données toujours plus important, elle participe à l'accroissement des émissions de GES qui lui sont associées et à l'augmentation de son empreinte matérielle, et le tout pourrait être décuplé en raison des effets indirects liés à son déploiement. En effet, selon le Collectif Atécopol, le but *explicite* de la 5G est de faire émerger de nouveaux services et de nouvelles activités, notamment dans ces derniers domaines¹⁹². Autrement dit, pour reprendre le vocabulaire privilégié par d'autres chercheurs cités dans le présent avis, la 5G est synonyme de l'émergence de nouveaux *usages* (généralisation de la visioconférence, technologies de voitures autonomes, vidéosurveillance, infonuagique, jeux vidéo, vidéo en résolution 4K, etc.¹⁹³). Pour l'instant, une étude réalisée en France sur l'impact carbone de la 5G entrevoit que son déploiement s'accompagnera d'une augmentation de 18 % à 45 % de l'empreinte carbone du secteur numérique sur son territoire à l'horizon de 2030¹⁹⁴.

En outre, le réseau 5G comporte une caractéristique particulière. Jusqu'à la quatrième génération, la communication était relayée par des antennes qui émettaient en permanence un puissant signal, capable de couvrir d'importantes étendues de territoires. Par contraste, les antennes 5G ont la capacité de diffuser un signal en *faisceaux* dirigés vers chacun des appareils qui y seront connectés. C'est ce qu'on appelle le *network slicing*, ou le découpage du réseau en *tranches* indépendantes. Cette caractéristique technique rend possible un usage ciblé du réseau qui présente l'avantage d'en assurer la fiabilité pour des usages cruciaux¹⁹⁵. Par exemple, un objet connecté dans un hôpital pourrait recevoir un signal sans que ce dernier soit affecté par le trafic dans le réseau 5G environnant (consacré au visionnement de vidéo en ligne, par exemple). Pour cette raison notamment, la 5G est une innovation bien accueillie dans le domaine de la domotique (objets connectés et Internet des objets) et des villes intelligentes. Toutefois, il se pourrait que le découpage du réseau en tranches (*network slicing*) représente un obstacle au respect du principe de la *neutralité du Net*, qui interdit aux fournisseurs d'accès à Internet de discriminer, dans les attributions d'accès au réseau, en fonction de la source, de la destination ou du contenu. Autrement dit, le principe de la neutralité du Net correspond à la garantie de l'égalité de traitement des contenus sur Internet.

Néanmoins, cette caractéristique de la 5G, qui rend possible le découpage du réseau en tranches, pourrait s'avérer utile pour mettre sur pied un protocole de *priorisation des usages* dans le cadre d'une démarche de *sobriété numérique*. La *priorisation des usages* comporte deux étapes : d'abord, l'évaluation de la pertinence et de l'utilité des usages numériques, puis l'instauration d'une réglementation conséquente, restreignant potentiellement certains usages au profit d'autres utilisations. Par exemple, il pourrait être question de restreindre l'usage de la consommation de vidéo en diffusion en continu au profit de celui d'appareils connectés dans les hôpitaux, si le besoin de le faire se présentait. Nous reviendrons sur cette possibilité plus loin.

191. Collectif Atécopol, 2022.


192. Collectif Atécopol, 2022.

193. The Shift Project, 2021, p. 33-34.

194. Haut Conseil pour le climat, 2020.

195. M. A. Albreem *et al.*, 2021.



The background of the page is a solid blue color. In the upper-left corner, there is a faint, abstract graphic consisting of a network of white dots connected by thin white lines, resembling a digital or data network. A thin white horizontal line extends from the left edge of the page towards the start of the chapter title.

◦ **CHAPITRE 3**
ENCADREMENT LÉGISLATIF
DES TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES
ET ÉCOÉTIQUETTES

CHAPITRE 3 : ENCADREMENT LÉGISLATIF DES TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES ET ÉCOÉTIQUETTES

Cette section fournit un survol des principaux outils réglementaires, ententes internationales ou mécanismes de marché visant à améliorer (ou réduire) les impacts environnementaux du cycle de vie des technologies numériques.

3.1 La Convention de Bâle

Rédigée en 1989, la *Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontaliers de déchets dangereux et de leur élimination* est un accord international qui vise principalement à réduire le plus possible la production de déchets dangereux, à s'assurer de les éliminer de manière « écologiquement rationnelle » et le plus près possible de leur lieu de production, ainsi que de limiter les mouvements internationaux de déchets dangereux¹⁹⁶. La convention a été ratifiée par 187 pays, dont le Canada en 1992. Les États-Unis ont signé la Convention, mais ne l'ont jamais ratifiée. Bien que le premier partenaire commercial du Canada ne soit pas formellement lié aux dispositions de la convention, le Canada a conclu un accord bilatéral avec les États-Unis¹⁹⁷.

Cette convention est née de la nécessité d'établir et de mettre en place des contrôles internationaux afin de prévenir l'exportation des déchets provenant des pays industrialisés et destinés à une élimination peu coûteuse dans des pays du Sud global, dont la qualité des installations est insuffisante (et, dans certains cas, totalement absente) afin de garantir le respect de la santé humaine et de l'environnement.

3.2 La responsabilité élargie des producteurs

Selon l'OCDE, la responsabilité élargie des producteurs (REP) est « un instrument de politique environnementale qui étend les obligations du producteur à l'égard d'un produit jusqu'aux stades de son cycle de vie situés en aval de la consommation¹⁹⁸ ». La REP est l'un des modèles de récupération les plus répandus avec environ 400 systèmes de REP à travers le monde, et vise à transférer la responsabilité environnementale d'un produit vers les producteurs plutôt que les municipalités, selon le principe du pollueur-payeur.

L'émergence des systèmes de REP a permis de réaliser le transfert d'une partie de la responsabilité logistique ou financière de la gestion des matières résiduelles vers les producteurs. En effet, les organisations locales (les municipalités et les villes) ont été longtemps responsables par défaut de la prise en charge des matières résiduelles. Toutefois, cette logique a rapidement atteint sa limite vers la fin des années 1980. Faisant face à une progression croissante de déchets à gérer, les organisations locales se sont butées à des infrastructures de récupération insuffisantes et à une opinion publique défavorable à l'implantation de nouvelles décharges ou d'incinérateurs publics¹⁹⁹.

196. Gouvernement du Canada, 2023.

197. Accord entre le gouvernement du Canada et celui des États-Unis concernant les déplacements transfrontaliers de déchets dangereux.

198. OCDE, 2017, p. 23.

199. OCDE, 2017.

Le Québec dispose d'une réglementation sur la REP depuis 2011²⁰⁰. Fortement inspiré par le cadre de la REP conçu par l'OCDE, le Canada a jeté les premières bases de ce système en 2009 en identifiant certains objectifs pancanadiens tels que la minimisation des effets environnementaux négatifs, la maximisation des bénéfices environnementaux, le transfert de la responsabilité liée à la fin de vie d'un produit vers le producteur et la valorisation de l'écoconception. La gestion des matières résiduelles étant de juridiction provinciale, les provinces canadiennes demeurent libres de concevoir leur propre système de REP et d'assujettir les matières visées selon un calendrier qui leur est propre²⁰¹.

Au Québec, la notion de *producteur* désigne le premier fournisseur d'un produit mis sur le marché québécois. Le premier fournisseur peut être un détenteur de marque, un distributeur et grossiste ou un détaillant. La notion de producteur peut également s'appliquer à toute entreprise, incluant une municipalité ou un organisme public, qui fabrique ou fait fabriquer un produit pour ses propres besoins.

Le règlement s'applique aux catégories de produits suivantes :

- Les produits électroniques ;
- Les piles et batteries ;
- Les lampes au mercure ;
- Les peintures et leurs contenants ;
- Les huiles, les liquides de refroidissement, les antigels, leurs filtres et contenants et les produits qui leur sont assimilables ;
- Les appareils ménagers et de climatisation ;
- Les produits agricoles ;
- Les contenants pressurisés de combustibles ;
- Les produits pharmaceutiques.

Le système de REP laisse la possibilité aux entreprises assujetties par le règlement de fonctionner de manière individuelle ou collective. Un producteur peut choisir de mettre en œuvre son propre programme de récupération et de valorisation, ou de devenir membre d'un organisme de gestion reconnu (OGR) par RECYC-QUÉBEC, pour gérer un programme de REP fondé sur une base collective.

Le système de REP québécois permet aux entreprises d'intégrer au prix de leurs produits les frais (écofrais) en lien avec leur programme de récupération. Un programme de récupération doit satisfaire certaines exigences minimales. Parmi celles-ci se trouve l'obligation d'assurer un certain nombre de points de dépôt qui doivent être gratuits pour le consommateur (le financement du système s'est déjà fait à l'achat). Un programme de récupération doit comprendre la réalisation d'activités d'information, de sensibilisation et d'éducation. De plus, il doit s'assurer du respect de la hiérarchie des 3RV-E en favorisant le réemploi sur le recyclage ou la valorisation énergétique²⁰². Puis, le programme de récupération et de valorisation doit adopter les meilleures pratiques sur le marché en plus de favoriser une valorisation des produits priorisant les débouchés locaux et régionaux. Ensuite, un programme de récupération doit assurer la traçabilité des produits et matières jusqu'à leur destination finale ainsi que de se doter de règles de fonctionnement minimales pour des fournisseurs de services et des sous-traitants. Enfin, un programme de récupération doit atteindre les cibles de récupération minimales fixées par le règlement et assurer une reddition de comptes de la performance de son programme auprès de RECYC-QUÉBEC²⁰³.

200. Gouvernement du Québec. (2011). *Règlement sur la récupération et la valorisation de produits par les entreprises*. <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca>

201. Leclerc et Badami, 2019.

202. RECYC-QUÉBEC, 2022.

203. Environnement Québec, 2022.

Une révision réglementaire a été effectuée en 2022. En plus d'ajouter trois catégories de produits (les produits agricoles, les contenants pressurisés de combustibles et les produits pharmaceutiques), la refonte réglementaire est venue préciser ou ajouter les points suivants :

- Intégration des producteurs situés à l'extérieur du Québec et qui vendent leurs produits au Québec (par exemple via Internet);
- Interdiction des réseaux parallèles qui sont des entreprises ou des personnes qui réalisent des activités de récupération ou de valorisation sans faire partie officiellement d'un programme de récupération officiel²⁰⁴;
- Une diminution des cibles de récupération fixées pour certaines catégories de produits, étant donné que la plupart des programmes sous le règlement de 2011 éprouvaient des difficultés à atteindre les taux minimaux de récupération prescrits;
- Instruction d'incitatifs à l'écoconception²⁰⁵ et à l'économie circulaire locale des produits, notamment à travers la possibilité de réduire la cible minimale de récupération à atteindre lorsque le produit contient un taux minimal de matière recyclée, que le produit est doté d'une garantie de base prolongée ou qu'un certain volume minimal de produits est réemployé ou recyclé au Québec;
- L'abolition du versement des pénalités au gouvernement qui devaient être allouées au Fonds de protection de l'environnement et du domaine hydrique de l'État lorsque les cibles ne sont pas atteintes²⁰⁶.

3.3 Règlement sur les normes d'efficacité énergétique et d'économie d'énergie de certains produits

Au Québec, le Règlement sur l'efficacité énergétique des appareils fonctionnant à l'électricité ou aux hydrocarbures a été mis en place en 2017 afin de réduire la demande énergétique de la province et de garantir l'accès des ménages et des entreprises à des appareils efficaces. Le règlement impose des exigences d'efficacité énergétique minimales pour les appareils en question. Si le règlement concernait d'abord certaines catégories d'appareils, un projet de loi de 2021 (PL 97) a élargi son champ d'application, afin qu'il concerne « tout produit neuf qui consomme de l'énergie ou qui a un effet mesurable sur la consommation d'énergie²⁰⁷ ». Conséquemment, le règlement porte maintenant le nom de *Règlement sur les normes d'efficacité énergétique et d'économie d'énergie de certains produits*.

Les obligations du règlement concernent tous les fournisseurs des produits en question, qu'ils soient fabricants, distributeurs, vendeurs ou loueurs, et ceux-ci doivent transmettre toutes les informations pertinentes pour attester de la certification d'efficacité énergétique obtenue pour leurs produits. En plus de mettre en marché des produits conformes aux normes d'efficacité établies par le gouvernement, qui varient selon le type de produit, ceux-ci possèdent des obligations relatives à l'étiquetage. Tout produit visé par le règlement doit porter une « marque de vérification d'efficacité énergétique », en plus d'une « étiquette permanente portant son numéro de modèle et sa date de fabrication ou portant un code indiquant cette date²⁰⁸ ».

204. On reprochait aux réseaux parallèles de ne pas assurer une gestion responsable en plus de rendre difficile l'atteinte des cibles de récupération par les programmes officiels. Les fournisseurs de services non accrédités doivent faire une demande pour être un fournisseur de services officiel d'un programme de récupération afin de continuer à récupérer ou à valoriser un produit visé par la réglementation.

205. L'écoconception était plutôt absente de la première mouture.

206. Les pénalités devront dorénavant être versées pour de nouvelles mesures permettant l'atteinte des taux minimaux de récupération prescrits dans un délai de deux ans. Dans cette perspective, les pénalités deviennent des formes de réinvestissements obligatoires dans de nouvelles mesures permettant l'atteinte de ces taux minimaux. Cette démarche prévoit l'établissement d'un plan de redressement, des objectifs et un exercice de reddition de comptes.

207. *Loi sur les normes d'efficacité énergétique et d'économie d'énergie de certains produits*. RLRQ, c. N-1.01.

208. *Ibid.*

En cas de non-conformité, des amendes pouvant aller jusqu'à 20 000 \$ en première offense sont prévues pour les fournisseurs offrant des produits sans étiquette, ou portant une étiquette non conforme. Selon la *Loi sur les normes d'efficacité énergétique et d'économie d'énergie de certains produits*, la conformité avec le règlement peut être attestée par un inspecteur mandaté par le gouvernement, mais qui n'est pas à l'emploi de celui-ci.

3.4 Loi québécoise sur l'obsolescence programmée et la réparabilité

Au début de l'année 2019, le projet de loi 197 est présenté à l'Assemblée nationale. Celui-ci vise à conférer au Bureau de normalisation la tâche d'établir une cote de durabilité des biens, ainsi qu'à protéger la garantie des biens même lors de leur réparation par un tiers autre que le commerçant. Également, ce projet de loi prévoit des sentences allant jusqu'à 10 000 \$ pour quiconque pratiquant « délibérément l'obsolescence programmée²⁰⁹ ». Bien qu'adopté en principe en 2021, le projet de loi est mort au feuilleton avant même d'avoir fait l'objet de débats en chambre ou en commission parlementaire.

Quelques années plus tard, soit en 2023, le projet de loi 195, ou *Loi modifiant la Loi sur la protection du consommateur afin de lutter contre l'obsolescence programmée et de faire valoir le droit à la réparation des biens* est présenté à l'Assemblée nationale par Marwah Rizqy, députée de Saint-Laurent²¹⁰. Il résulte de la mise à jour et de la bonification du projet de loi mentionné plus haut.

Le projet de loi 195 définit les pratiques d'obsolescence programmée et énonce les pénalités pour ceux qui s'en trouveraient coupables. Pour une personne physique, il fixe l'amende de 5 000 \$ à 500 000 \$ ou inflige une « peine d'emprisonnement maximale de 18 mois, ou des deux à la fois²¹¹ ». Pour une personne morale, l'amende varie entre 15 000 \$ à 3 000 000 \$. Un doublement des amendes minimales et maximales est prévu en cas de récidive.

Le projet de loi prévoit également la mise en place d'une « cote de durabilité » qui indique « la durée moyenne de fonctionnement d'un bien²¹² ». Depuis 2021, la France s'est dotée d'un indice de réparabilité. À la différence du cas français, ce serait le Bureau de la normalisation du Québec, et non les entreprises elles-mêmes, qui décernerait les cotes. Cet autre fonctionnement, où les entreprises décernent elles-mêmes les cotes, est souvent décrié comme l'une des grandes faiblesses de l'indice français. En vertu du projet de loi 195, la cote couvrirait bon nombre de catégories d'appareil, des électroménagers aux appareils électroniques²¹³, et il serait interdit de vendre un produit sans l'y apposer. Tout contrevenant serait passible d'une amende.

209. Projet de loi no 197, *Loi modifiant la Loi sur la protection du consommateur afin de lutter contre l'obsolescence programmée et de faire valoir le droit à la réparation des biens* (RLRQ).

210. Projet de loi no 195, *Loi modifiant la Loi sur la protection du consommateur afin de lutter contre l'obsolescence programmée et de faire valoir le droit à la réparation des biens* (RLRQ).

211. Projet de loi no 195, *Loi modifiant la Loi sur la protection du consommateur afin de lutter contre l'obsolescence programmée et de faire valoir le droit à la réparation des biens* (RLRQ), p. 2.

212. *Ibid.*

213. Plus spécifiquement, il est prévu que la cote s'applique aux « appareils domestiques » tels qu'ils sont définis dans la *Loi sur la protection du consommateur*, c'est-à-dire à des appareils comme « une cuisinière, un réfrigérateur, un congélateur, un lave-vaisselle, un four à micro-ondes, une laveuse, une sècheuse, un appareil audio, un appareil audio-vidéo, un ordinateur et ses périphériques, un appareil de climatisation, un déshumidificateur, une thermopompe ou tout autre bien déterminé par règlement » (p. 8).

Toujours de manière à lutter contre l'obsolescence programmée, le projet de loi inclut des dispositions concernant les pièces de rechange. Celles-ci devraient être disponibles, tout comme les outils et les services de réparation, « à un prix et à des conditions raisonnables tant que le bien est disponible sur le marché ou pendant une durée raisonnable après la formation du contrat, selon ce qui est le plus avantageux pour le consommateur » (PL 195). Le fabricant se trouverait aussi dans l'obligation de fournir un manuel de réparation à tout réparateur certifié, tant que le bien qu'il concerne est sur le marché.

Quelques mois après la présentation du projet de loi 195, le parti au pouvoir présente son propre projet (projet de loi 29) qui détaille ses propositions pour lutter contre l'obsolescence. La *Loi protégeant les consommateurs contre l'obsolescence programmée et favorisant la durabilité, la réparabilité et l'entretien des biens*²¹⁴ est adoptée à l'unanimité le 3 octobre 2023.

Tout comme le PL 195, la nouvelle loi prohibe la commercialisation de tout bien dont l'obsolescence serait programmée et détermine des sanctions monétaires à tout commerçant qui s'en trouverait coupable. Dans le cas des amendes minimales, celles-ci peuvent aller jusqu'à 5 000 \$ ou le double du bénéfice tiré de la perpétration de l'infraction, selon le plus élevé des deux. Dans le cas des amendes maximales, il s'agit de 125 000 \$, ou du quadruple du bénéfice tiré de la perpétration de l'infraction, toujours selon le montant le plus élevé. Également, le projet de loi stipule que les commerçants et fabricants se doivent de « rendre disponibles les pièces, les services de réparation et les renseignements nécessaires à l'entretien ou à la réparation du bien à un prix raisonnable²¹⁵ ». Les réparations doivent pouvoir être effectuées au moyen d'outils couramment disponibles.

À la différence du projet de loi 195, la nouvelle législation ne contient pas de dispositions concernant un indice de réparabilité ou de durabilité. La loi introduit uniquement une garantie légale de bon fonctionnement s'appliquant à un large éventail d'appareils électroniques et électroménagers²¹⁶. À l'intérieur de la durée de cette garantie, qui sera déterminée par règlement pour chacun des types d'appareils, le commerçant ou le fabricant doit effectuer les réparations ou en assumer les frais pour tout appareil défectueux qu'il aura mis en marché. La durée de cette garantie devra être affichée à proximité du prix de l'appareil et être mentionnée avant toute proposition de vente de garantie supplémentaire. Finalement, la loi « confère au gouvernement un pouvoir réglementaire pour établir des normes techniques ou de fabrication pour les biens, y compris des normes permettant l'interopérabilité entre un bien et un chargeur²¹⁷ ».

3.5 Deux exemples du leadership français sur le plan législatif

La France fait figure de précurseur dans la volonté d'encadrer juridiquement l'impact environnemental du numérique. Nous allons examiner deux cas de figure.

3.5.1 Loi anti-gaspillage pour une économie circulaire

Depuis le 10 février 2020, la France s'est dotée de *La loi anti-gaspillage pour une économie circulaire* (AGEC)²¹⁸. Composée de 130 articles, elle a pour objectif de modifier les modes de production, de consommation et de recyclage, de manière à les rendre plus adaptés aux limites planétaires en préservant les ressources terrestres et en minimisant la production de déchets. La loi AGEC sera déployée en différents volets prévus selon un calendrier de mise en œuvre s'étendant de 2020 à 2040.

214. Projet de loi no 29, *Loi protégeant les consommateurs contre l'obsolescence programmée et favorisant la durabilité, la réparabilité et l'entretien des biens* (RLRQ), p. 2.

215. Projet de loi no 29, *Loi protégeant les consommateurs contre l'obsolescence programmée et favorisant la durabilité, la réparabilité et l'entretien des biens* (RLRQ), p. 2.

216. *Ibid.*, p. 5.

217. *Ibid.*, p. 20.

218. *La loi anti-gaspillage pour une économie circulaire*, 2024.

Les premières mesures prévues par la loi AGECE depuis 2020 se divisent en plusieurs volets, dont l'un s'applique particulièrement aux technologies numériques, puisqu'il a pour objectif la lutte contre l'obsolescence programmée. Ce volet se divise lui-même en six mesures :

1. Les vendeurs d'équipements électroniques et électriques sont tenus, depuis le 1^{er} janvier 2024, d'afficher un indice de durabilité, qui remplace l'indice de réparabilité, lequel était entré en vigueur le 1^{er} janvier 2021, et qui s'en distingue en renseignant le consommateur sur davantage de critères, comme la fiabilité ou la robustesse.
2. Les vendeurs sont tenus d'informer le consommateur sur la disponibilité des pièces composant le produit électronique ou électrique dont il fait l'acquisition.
3. Depuis le 1^{er} janvier 2022, elle allonge la garantie légale des produits électriques et électroniques, qui passe de vingt-quatre mois à trente mois.
4. Mise en place d'une information obligatoire sur la durée de mise à jour des logiciels d'exploitation des ordinateurs et téléphones, qui oblige les fabricants et les vendeurs de tels produits à informer les consommateurs quant aux mises à jour requises pour un usage restant normal des appareils, afin de guider le choix de ces derniers.
5. Création de fonds de réparation chez les différentes filières REP (responsabilité élargie du producteur), qui permettent de financer des « bonus réparation » : un montant déduit de la facture du consommateur qui fait réparer son produit chez un réparateur accrédité à cet effet.
6. Mise en place de mesures visant à autoriser le recours à l'impression 3D pour la réparation des objets électriques et électroniques, afin de favoriser leur réparation tout en garantissant les droits de propriété intellectuelle.

3.5.2 Loi visant à réduire l'empreinte environnementale du numérique en France

À la suite d'un vaste processus de consultation d'experts et d'une évaluation de l'impact environnemental du numérique en France, le Sénat français s'est doté, le 15 novembre 2021, de la *Loi visant à réduire l'empreinte environnementale du numérique en France* (n° 2021-1485).

La loi se divise en cinq chapitres :

1. Faire prendre conscience aux utilisateurs de l'impact environnemental du numérique

L'article 1 prévoit que les écoles primaires et secondaires enseigneront l'impact environnemental du numérique et la sobriété numérique aux élèves. Les articles 2 et 3 ajoutent une formation sur ces enjeux aux cycles d'enseignement supérieur (général et ingénierie). L'article 4 entraîne la création d'un observatoire des impacts environnementaux du numérique.

2. Limiter le renouvellement des terminaux

La nouvelle loi facilite les poursuites pour obsolescence programmée. Auparavant, les plaignants devaient démontrer que les compagnies réduisaient délibérément la durée de vie des produits dans le but d'en augmenter le taux de remplacement. Désormais, il n'est plus nécessaire de démontrer l'intention d'augmenter le taux de remplacement (article 5). La loi définit aussi l'obsolescence logicielle comme les techniques visant à restreindre l'éventail de programmes (systèmes d'exploitation et logiciels) que les utilisateurs peuvent installer sur les terminaux (outre certaines exceptions) (article 7) et en fait un délit (articles 6 et 8).

Les producteurs de produits électroniques sont aussi responsables de gérer une collecte annuelle de déchets électroniques avec primes pour les usagers qui ramènent leurs terminaux pour cette collecte (article 13). Les articles 15 à 17 forcent le secteur public à adopter des pratiques d'économie circulaire en matière de terminaux électroniques en l'obligeant à tenir compte d'un indice de réparabilité des produits et à renvoyer les déchets électroniques vers le « réemploi ou la réutilisation ».

Les articles 19 et 20 portent sur la rémunération pour copie privée à laquelle sont soumis les appareils remis à neuf²¹⁹.

L'article 21 force les vendeurs de terminaux à accomplir deux choses. D'abord, ils doivent offrir au consommateur des biens remis à neuf. Ensuite, lorsqu'ils vendent un appareil avec un forfait, ils doivent dissocier le prix du forfait de celui de l'appareil et montrer ce que serait le coût du renouvellement du forfait sans renouvellement de terminal à la fin du forfait.

3. Faire émerger et développer des usages du numérique écologiquement vertueux

Cette section rassemble une série de requêtes faites aux organismes nationaux pour définir des standards à respecter pour l'industrie. L'article 26 est notable : il suggère de demander aux fournisseurs de services numériques de diffusion en continu de fournir au consommateur les émissions de GES associées à la consommation de contenu sur leurs plateformes en fonction de la qualité et de la taille du fichier consulté. Elle contient aussi un article mandatant le gouvernement pour enquêter sur les effets des cryptomonnaies (article 27).

4. Promouvoir des centres de données et des réseaux moins énergivores

L'article 28 restreint l'accès au tarif d'électricité réduit par les centres de données à ceux qui valorisent la chaleur fatale (issue des systèmes de refroidissement) et qui minimisent leur consommation d'eau. L'article 19 oblige les opérateurs de communications électroniques à publier un rapport annuel sur des indicateurs de réduction de l'empreinte environnementale. Ils ne sont toutefois pas contraints de les respecter.

5. Promouvoir une stratégie numérique responsable dans les territoires

Les deux premiers articles de cette section imposent aux municipalités de formuler des plans pour limiter les impacts environnementaux du numérique. Le dernier demande au gouvernement d'enquêter sur les impacts environnementaux du jeu à la demande.

219. Le débat sur l'assujettissement de la redevance pour copie privée aux reconditionneurs a fait l'objet de débats par le passé en France. La redevance pour copie privée est un frais associé à la capacité de stockage des appareils qui finance les organismes de respect de la propriété intellectuelle. Le gouvernement avait décidé de l'imposer aux produits reconditionnés. Cette loi-ci voulait initialement annuler cette décision, mais sans succès. Finalement, la loi crée deux tarifs distincts : un réduit pour les produits reconditionnés et un régulier pour les produits neufs. Les entreprises de reconditionnement disent que les petites marges du récent et fragile marché du reconditionnement les rendent vulnérables face à cette redevance.



3.6 Les écoétiquettes

Les écoétiquettes représentent un mécanisme de marché destiné à favoriser la distinction entre les appareils selon les impacts environnementaux de leur cycle de vie. Les manufacturiers participent au développement de standards et adhèrent à l'utilisation des écoétiquettes sur une base volontaire ou obligatoire, notamment dans le but d'accéder à des marchés publics ayant des exigences particulières. Les écoétiquettes correspondent à une « marque distinctive apposée sur un produit, attestant qu'il est conforme à certains critères de réduction des atteintes à l'environnement²²⁰ ». La promotion et l'adoption d'écoétiquettes sont des moyens accessibles de stimuler l'écoconception, particulièrement lorsque l'une d'elles est retenue comme critère pour de grands achats de matériel au sein d'entreprises privées ou d'organisations publiques. Nous présenterons brièvement, à titre informatif, quatre certifications reconnues.

3.6.1 ENERGY STAR et les étiquettes énergétiques de l'Union européenne

Energy Star, un programme américain aussi en vigueur au Canada, où il est géré par Ressources naturelles Canada, certifie les appareils électroniques et électroménagers, en plus de plusieurs matériaux de construction, lorsque ceux-ci atteignent ou excèdent de hautes normes d'efficacité énergétique²²¹. Les étiquettes énergétiques de l'Union européenne, quant à elles, classent la plupart des produits admissibles, qui sont à peu près les mêmes que pour Energy Star, selon une classe de A à G, où A est le plus efficace sur le plan de la consommation d'énergie²²². Ces deux certifications sont basées sur l'amélioration continue des standards et les produits sont évalués par une tierce partie.

3.6.2 EPEAT et TCO Certified

Le Electronic Product Environmental Assessment Tool (EPEAT) et TCO Certified sont des écoétiquettes centrées sur les technologies numériques. Toutes deux prennent en compte le cycle de vie entier des appareils évalués, sont basées sur l'amélioration continue des standards et font affaire avec des organisations tierces pour l'évaluation des produits certifiés. EPEAT, qui est géré par un organisme sans but lucratif, tient notamment compte de l'utilisation de matières recyclées ou recyclables, de la durabilité, et de la réduction de l'emballage, des substances toxiques et des GES durant toute la chaîne de production, en plus de l'écoconception, de la fin de vie et de l'efficacité énergétique²²³. Le développement des exigences permettant aux produits électroniques d'apparaître au registre EPEAT est le fruit d'un processus consensuel impliquant des manufacturiers, des groupes environnementaux, des scientifiques ou experts du domaine, des gouvernements et autres utilisateurs du registre (grands donneurs d'ordres). Des critères sociaux sont également pris en compte. TCO Certified, aussi géré par un organisme sans but lucratif, tient compte des mêmes critères environnementaux et sociaux, en plus d'accorder de l'importance à l'ergonomie²²⁴.

220. Office québécois de la langue française, 2010b.

221. Ressources naturelles Canada, 2011.

222. Union européenne, 2023.

223. Ministère de l'Environnement du Québec, s.d.

224. *Ibid.*



The background features a dark blue gradient with a faint, glowing digital network graphic on the left side. This graphic consists of numerous small white dots connected by thin white lines, forming a complex web-like structure that extends from the top left towards the center. A thin white horizontal line is positioned to the left of the text, ending in a small white circle that acts as a bullet point.

**○ CHAPITRE 4
CADRE D'ANALYSE ÉTHIQUE
DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL
DES TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES**

CHAPITRE 4 : CADRE D'ANALYSE ÉTHIQUE DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES

4.1 Mise en contexte

Dans ses travaux, la CEST met l'accent sur l'accompagnement à la prise de décision publique. La démarche d'évaluation éthique se fonde sur des valeurs et des principes assurant le respect et la protection de l'être humain, de l'environnement naturel et de la démocratie. Définis de manière générale, les valeurs et principes éthiques se rapportent à des conceptions de ce qui devrait être, c'est-à-dire de ce qui est souhaitable, désirable, préférable, juste, etc. Ils servent à évaluer l'acceptabilité ou le caractère désirable des actions, des situations ou des événements, ainsi qu'à orienter et justifier certaines actions. Lorsqu'une personne ou une organisation doit décider des actions à entreprendre par rapport à une situation, plusieurs valeurs et principes peuvent guider son choix dans différentes directions. Il s'agit alors de déterminer lesquels devront être priorités et quels moyens seront les plus à même de les matérialiser.

L'impact environnemental du numérique soulève une multitude d'enjeux ou de dilemmes éthiques, dans lesquels des droits, des valeurs et des principes entrent en conflit. Cela exige de réfléchir à ce qui devrait en priorité orienter nos choix et nos actions. Rappelons que notre avis traite à la fois des enjeux concernant les effets environnementaux directs et indirects des technologies numériques et de l'intelligence artificielle (*Green IT*), ainsi que les enjeux se rapportant à leurs utilisations à des fins environnementales (*IT for Green*). Nous visons d'abord à établir clairement les valeurs, les principes et les moyens qui ont été priorités en fonction de la revue de littérature réalisée sur l'impact environnemental du numérique et en éthique environnementale, ainsi que des consultations effectuées auprès du comité d'experts. Ces clarifications nous permettront ensuite de formuler des recommandations pouvant garantir le respect de ces valeurs et principes éthiques. Dans les sections précédentes, plusieurs valeurs et principes sous-tendent notre lecture des conséquences environnementales du numérique et de l'intelligence artificielle, ainsi que notre portrait synthétique de l'encadrement juridique actuel au Québec, au Canada et dans le monde. Dans cette section, nous les relevons de façon plus claire et précise.

4.2 Les valeurs et les principes éthiques

4.2.1 La soutenabilité forte

La soutenabilité forte permet de préserver les acquis liés à l'implantation pratique et l'institutionnalisation des principes du développement durable²²⁵ tout en cherchant à répondre aux critiques grandissantes concernant le manque de priorisation de l'axe environnemental et social sur l'axe économique. À cet effet, certaines critiques reprochent au concept de développement durable d'avoir, implicitement (par un certain flou théorique) ou explicitement, favorisé le statu quo qui priorise nettement la croissance des activités économiques au détriment de l'environnement et des sociétés humaines²²⁶.

225. Selon la Commission mondiale sur l'environnement et le développement des Nations Unies (1987), le développement durable désigne un développement imbriquant les dimensions sociétale, économique, culturelle et environnementale, dans l'optique de « répondre aux besoins du présent sans compromettre la possibilité pour les générations à venir de satisfaire les leurs ».

226. Par exemple, plusieurs auteurs ont jadis tenté de développer des méthodologies d'évaluation de projets en établissant une unité fonctionnelle commune aux sphères économiques, sociales et environnementales. Ces perspectives, dites de « soutenabilité faible » ont reçu beaucoup de critiques quant à la possibilité qu'elles aient, consciemment ou inconsciemment, favorisé le statu quo en priorisant nettement la croissance de l'économie et l'accumulation de capital économique au détriment de l'environnement et de la société.

Ainsi, contrairement aux approches dites de soutenabilité faible qui considèrent que les types de capitaux économiques, sociaux et environnementaux sont substituables les uns aux autres, la soutenabilité forte statue que « le capital naturel n'est pas complètement remplaçable par du capital manufacturé²²⁷ ». Bien que les technologies numériques puissent générer des bénéfices économiques importants, une perspective de soutenabilité forte stipule que les conséquences négatives sur l'environnement et les sociétés humaines ne peuvent être simplement compensées par des capitaux économiques.

La soutenabilité forte implique un certain recadrage du développement durable vers la notion de **bien commun**. On peut considérer le bien commun comme un ensemble de ressources (matérielles, culturelles et scientifiques), d'institutions, de relations sociales et de valeurs partagées qui permettent le bien-être des individus et l'épanouissement des collectivités dans leur ensemble. Autrement dit, le bien commun renvoie au projet collectif de vivre-ensemble, qui favorise la pluralité et l'inclusion des différents individus et groupes sociaux. Le bien commun vise l'intérêt général, ce qui implique la priorisation des bénéfices collectifs sur les intérêts particuliers lorsque ceux-ci entrent en contradiction²²⁸.

4.2.2 La responsabilité environnementale

Il est utile de distinguer deux catégories de responsabilité, l'une rétrospective et l'autre prospective. Envisagée sous un angle rétrospectif, la responsabilité signifie qu'un agent peut être imputable d'un acte passé. La responsabilité prospective est, pour sa part, orientée vers le présent et l'avenir. Elle implique que des agents puissent collectivement corriger des injustices ou des situations déplorables existantes en ce moment même et soient responsables des conséquences futures de leurs actions, bien que celles-ci puissent paraître lointaines.

La **responsabilité environnementale** met l'accent sur le principe de non-malfaisance, lequel vise à empêcher ou à minimiser le plus possible les préjudices à autrui ainsi qu'à la communauté des vivants²²⁹. Si l'humanité a pu être autrefois vulnérable à l'égard d'une nature beaucoup plus puissante qu'elle, c'est maintenant cette dernière qui se retrouve en danger face au pouvoir de transformation sans précédent des techniques scientifiques et technologiques modernes qui sont largement intégrées au système de production économique. Par leur puissance et leur étendue, celles-ci ont littéralement décuplé la capacité d'agir de l'être humain, d'un point de vue tant spatial que temporel. Sur le plan spatial, les techniques ont, par exemple, acquis la possibilité d'affecter les écosystèmes par-delà les frontières humaines, d'affecter la survie des autres espèces et d'affecter la biosphère elle-même. Sur le plan temporel, elles sont maintenant susceptibles d'influencer de manière irréversible les cycles biogéochimiques et de mettre en danger les **générations futures**²³⁰.

227. Boisvert *et al.*, 2019, p.4.

228. CEST, 2022.

229. Définition offerte par Catherine Larrère : « [L]'ensemble des vivants, animaux et végétaux, qui partagent notre existence et avec lesquels nous formons un monde commun » (Larrère, 2014). Garvey abonde dans le même sens lorsqu'il mentionne que l'essentiel de l'éthique environnementale est « [d']élargir notre conception des valeurs ou du moins du nombre de choses que nous valorisons », voire d'élargir la communauté morale tout entière (Garvey, 2008).

230. Jonas, 2008.

La responsabilité environnementale invite les acteurs à faire preuve de **prudence** à l'endroit du développement de technologies numériques. Elle implique d'agir de manière à minimiser les risques de dommages à l'environnement. La prudence peut se décliner en différents principes en fonction du niveau de risque et d'incertitude en jeu. Le **principe de prévention** s'applique lorsque des risques sont connus et que l'on peut anticiper leur occurrence. Il consiste à gérer ces risques en amont, que ce soit en les atténuant, en les surveillant, en les éliminant à la source ou encore en cherchant à les contourner. De son côté, le **principe de précaution** vise à orienter l'action dans les situations qui sont façonnées par l'incertitude, soit pour celles dont les risques ne sont pas entièrement connus. Selon le principe de précaution, le manque de certitude scientifique ou technique sur des risques potentiellement graves et irréversibles ne doit pas empêcher la mise en œuvre de mesures appropriées et proportionnées afin de les éviter, même s'il n'est pas garanti que ces risques se concrétisent²³¹.

La responsabilité environnementale comprend un ensemble d'actions visant à **préserver l'environnement** et à **lutter contre les changements climatiques**. La préservation de l'environnement exige la prise de mesures afin d'éliminer ou, du moins, de limiter significativement les conséquences négatives des activités humaines sur l'environnement naturel. Elle implique également le déploiement de moyens d'action qui permettent *d'améliorer* la biodiversité et la santé des écosystèmes.

De son côté, la lutte contre les changements climatiques comprend généralement des méthodes d'action qui visent l'atténuation des changements climatiques et l'adaptation des sociétés humaines à leurs conséquences. L'atténuation consiste en la réduction de l'ampleur des changements climatiques. Elle rassemble toutes les méthodes de réduction à la source des émissions de GES, qu'il s'agisse de la prohibition de substances ou de procédés à fortes émissions de GES, ou le développement des énergies renouvelables et des réseaux de transports en commun.

L'*adaptation* aux changements climatiques concerne pour sa part la diminution des effets des changements climatiques sur les populations humaines. La construction de digues pour éviter les inondations, la création d'îlots de verdure en milieu urbain et la conservation des espèces sont des exemples de mesures d'adaptation.

4.2.3 La qualité de l'information et la transparence

Pour prendre des décisions éclairées et cohérentes avec **le bien commun**, tous les citoyens, les organisations et les décideurs publics doivent avoir accès à des informations de qualité sur le bilan environnemental des appareils et des services numériques. Cette qualité de l'information s'obtient par l'accès à des sources fiables, contenant des énoncés vérifiables, sans déformation des faits ni tentatives de tromperie ou de manipulation. L'information scientifique constitue une ressource précieuse pour garantir cette valeur²³².

Produire une quantité significative d'informations fiables et pertinentes pour la décision exige une grande **transparence**, une valeur qui implique de répondre de manière claire et précise aux demandes d'information, mais aussi de diffuser proactivement certaines informations jugées essentielles²³³.

231. CEST, 2022.

232. CEST, 2022c.

233. La transparence s'impose de plus en plus comme une condition d'acceptabilité et de légitimité de l'action des organisations publiques ou privées et est un prérequis à l'établissement d'une relation de confiance avec les citoyennes et les citoyens. La transparence permet aux citoyens et aux décideurs publics d'avoir accès à toute l'information pertinente à l'exercice de leur autonomie, soit leur capacité de faire des choix éclairés et en phase avec leurs valeurs et intérêts.

4.2.4 Éducation et participation citoyenne

Le **bien commun** ne peut se réaliser sans la promotion de l'**éducation**. On peut définir l'éducation comme un processus actif et expérimental qui vise l'acquisition de connaissances et le développement de compétences telles que les habiletés de synthèse, d'analyse et de jugement critique, ainsi que la capacité d'être **autonome** et d'innover afin de contribuer concrètement au bien commun de sa société et du monde. L'éducation doit permettre aux individus de participer concrètement à la vie démocratique et de travailler à l'avancement de leurs sociétés²³⁴.

Il est crucial d'envisager la participation citoyenne sous l'angle des « **capabilités** », concept désignant l'ensemble des dispositions et des capacités nécessaires pour qu'un individu puisse exercer ses choix, qu'il s'agisse de compétences, de connaissances ou d'accès à certaines ressources matérielles. Par exemple, un individu peut avoir la volonté et la liberté formelle d'entreprendre des démarches pour réduire les impacts environnementaux liés à son usage des TN, mais ne pas avoir les ressources nécessaires pour exercer cette liberté en ne disposant pas du temps ou des connaissances requises²³⁵. Les capabilités constituent donc un ensemble de conditions nécessaires à l'expression de l'**autonomie** des individus. Finalement, la **transparence** mentionnée au point précédent ne peut se réaliser pleinement que si les citoyens disposent des connaissances nécessaires pour comprendre les informations transmises et disposent également des moyens d'action permettant de concrétiser les meilleures pratiques²³⁶.

4.2.5 Justice environnementale

La **justice environnementale** est souvent envisagée dans sa dimension distributive. Sous cet angle, elle vise une répartition équitable, entre les individus et les générations, des bénéfices et des coûts ou des torts liés aux conditions et aux ressources environnementales. Ainsi, la production et les usages des technologies numériques, même lorsque celles-ci sont mobilisées pour la protection de l'environnement et la lutte contre les changements climatiques, ne doivent pas porter atteinte aux droits de la personne, ni détériorer les conditions sociales (ex. : bien-être et santé des populations), ni maintenir ou renforcer les inégalités sociales et internationales. Par exemple, il est important de veiller à ce que les développements des technologies numériques n'accroissent pas la fracture numérique²³⁷, laquelle englobe à la fois les inégalités d'accès aux possibilités offertes par ces technologies et celles liées aux compétences et aux connaissances permettant de tirer parti de leur utilisation.

La justice environnementale possède une dimension intergénérationnelle, puisque les actions humaines peuvent changer considérablement – voire compromettre – les conditions futures de la vie sur Terre. La justice intergénérationnelle appelle à la responsabilité morale des contemporains de veiller au bien-être des générations futures et de leur léguer des conditions de vies saines et épanouissantes.

234. CEST, 2018.

235. Oosterlaken et Van den Hoven, 2012.

236. Lesmann et Rauschmayer, 2013.

237. On notera que la situation actuelle de l'économie numérique est marquée par de profondes inégalités. D'une part, les investissements et les revenus de l'économie numérique sont fortement concentrés dans deux économies nationales : les États-Unis et la Chine. À elles seules, ces deux économies détiennent 75 % des brevets relatifs à la technologie de la chaîne de blocs, 50 % des dépenses consacrées à l'Internet des objets, 75 % du marché des services informatiques en nuage ainsi que 90 % de la valeur de la capitalisation boursière mondiale des 70 premières plateformes numériques au monde. La fracture numérique liée à l'accessibilité à une connexion de qualité est encore plus importante chez les pays les moins avancés. En effet, on estime que, dans ces pays les moins avancés économiquement, environ la moitié de la population n'aurait toujours pas accès à une connexion Internet et que les disparités fondées sur le genre seraient encore les plus criantes par rapport à cette fracture numérique.

La **justice environnementale** et la **justice intergénérationnelle** ne peuvent se réduire à une dimension strictement locale, car elles poursuivent des visées internationales. En effet, les enjeux environnementaux, par leur nature même, transgressent les frontières nationales et affectent de façon différenciée les États à travers le monde. Il suffit de penser à l'augmentation des GES liés à la production et à la consommation des technologies numériques qui proviennent majoritairement de pays industrialisés à travers le monde, alors que ce sont des pays du Sud global qui subissent les conséquences les plus importantes associées aux changements climatiques et à la gestion inefficace des déchets d'équipements électriques et électroniques dans le monde.

La justice environnementale doit cependant dépasser une vision strictement distributive de la justice et **inclure une dimension participative et pluraliste**, défendant l'égalité de considération des parties en présence et de leurs points de vue. Cette dimension participative tente de penser ensemble la pluralité scientifique et la pluralité culturelle²³⁸. La justice environnementale doit ainsi comprendre la reconnaissance de la **diversité culturelle** des perceptions et des rapports à la nature. Si les différentes disciplines scientifiques permettent en effet de comprendre les phénomènes de la nature d'un point de vue technoscientifique, la nature fait aussi l'objet d'une perception et d'une sensibilité locale par différents individus et groupes²³⁹.

4.2.6 Responsabilité commune, mais différenciée

La lutte aux changements climatiques implique la prise en compte du **principe de responsabilité commune, mais différenciée**. Ce principe implique le devoir moral universel des États à **préserver l'environnement** et à **lutter contre les changements climatiques**. Toutefois, les générations et les gens issus de nations qui ont bénéficié — et qui bénéficient encore — d'un enrichissement économique collectif provenant d'une industrialisation intensive faisant fi des limites d'absorption du carbone par la planète doivent en faire davantage que les pays du Sud global. En plus d'avoir moins de capacités économiques et technologiques pour entreprendre une **transition socioécologique**, plusieurs des pays du Sud global seront plus lourdement affectés par les conséquences négatives des changements climatiques. Dans ce contexte, les capacités financières et technologiques supérieures des États les plus riches les enjoignent à **contribuer** davantage à **l'atténuation et à l'adaptation aux changements climatiques** ainsi qu'à la **transition socioécologique** des pays du Sud global, notamment par un soutien financier et un transfert technologique.

4.2.7 La sobriété numérique

Dans le contexte du présent avis, le comité d'experts consulté est parvenu à la conclusion que la *sobriété numérique* est le principe central autour duquel tous les autres principes et valeurs gravitent pour réaliser une vision d'un futur numérique québécois soutenable, participatif et juste. La sobriété numérique renvoie à la **modération** et au **discernement**²⁴⁰ afin de rendre l'utilisation du numérique compatible avec **les limites planétaires**, tout en préservant un accès équitable aux **bénéfices** qu'il génère, et ce, pour nos contemporains ainsi que pour les **générations futures**.

La sobriété numérique comporte à la fois un volet individuel et un volet collectif. Sur le plan individuel, les citoyens et les organisations sont invités à prendre du recul par rapport à leurs habitudes de consommation du numérique, à comparer leurs effets positifs et négatifs, et à les changer, de sorte que les actions individuelles s'accordent avec le **bien commun**. Par exemple, les individus peuvent, selon leurs capacités, s'efforcer d'allonger le plus possible la durée de vie des appareils, limiter leur recours à l'infonuagique, limiter leur usage de la diffusion en continu et retirer le plus possible la vidéo des contenus ou en diminuer la qualité²⁴¹.

238. Larrère, 2009.

239. *Ibid.*

240. Cézard et Mourad, 2019, p. 4.

241. Bordage, 2019.

Cependant, le volet individuel de la sobriété numérique présente des limites. En se concentrant sur les actions individuelles, certaines personnes risquent de se donner une fausse tranquillité d'esprit en adoptant des comportements qui réduisent en réalité très faiblement leur empreinte environnementale. Dans le même esprit, certaines entreprises pourraient opérer des ajustements superficiels à leur fonctionnement, sans que ces démarches ciblent les causes structurelles des impacts environnementaux croissants du numérique. Ces causes structurelles englobent des éléments tels que l'économie de l'attention, les pratiques industrielles et sociales conduisant à l'obsolescence des appareils et des services numériques, ainsi que le rôle des mécanismes politiques de régulation qui rendent possibles ces pratiques excessives²⁴².

Pour pallier ces limites, le principe de sobriété numérique comprend également un volet sociétal. En effet, l'augmentation des effets environnementaux du numérique est un problème mondial qui appelle une réponse concertée de la part de tous les acteurs de la chaîne de valeurs de l'industrie du numérique (gouvernements, organisations, compagnies, consommateurs, etc.), lesquels partagent la responsabilité collective de veiller à la soutenabilité des sociétés.

C'est la raison pour laquelle certains promoteurs du principe de sobriété numérique insistent sur le recours au levier législatif pour réglementer la production des appareils et leur distribution, mais également les usages du numérique. L'une des avenues d'action, la *priorisation des usages*, implique une démarche d'évaluation de la pertinence sociale et des conséquences des usages numériques, ainsi que l'instauration d'une réglementation conséquente restreignant potentiellement certains usages au profit d'autres.

L'importance de l'**éducation** et de la **participation citoyenne** est décuplée par la conceptualisation de la sobriété numérique comme une démarche démocratique. En effet, la sobriété numérique fait la promotion de l'autonomie des collectivités, c'est-à-dire de leur capacité d'agir en fonction de leurs valeurs, ce qui requiert des lieux de dialogue²⁴³ et de délibération éthique²⁴⁴, qui doit être à la fois démocratique et informée par la science. Dans ce contexte, des projets politiques, tels que la mise en place de nouvelles lois, règlements et standards, doivent se conjuguer et se renforcer mutuellement avec des initiatives citoyennes ou issues des milieux professionnels. Ainsi, envisagée sous cet angle démocratique, la sobriété numérique implique un apprentissage et une participation continue des citoyens et des collectifs.

Sur le plan environnemental, la sobriété numérique fait la promotion de l'**efficacité**²⁴⁵ des produits et des services numériques. Cette efficacité comprend, entre autres, la réduction des déchets et la maximisation des matières réutilisées ou recyclées dans le cycle de vie de la technologie, l'efficacité énergétique et la réduction des répercussions sur les écosystèmes et la biodiversité. On peut comprendre la sobriété numérique comme l'application à l'échelle sociétale, et non seulement individuelle, des 3RV : réduire, réemployer, recycler et valoriser, avec une insistance particulière sur la réduction.

242. CEST, 2023a.

243. Le dialogue se traduit comme une entreprise de coconstruction de sens entre deux ou plusieurs personnes. Le dialogue se distingue d'autres formes de communication telles que le débat ou la négociation, principalement par le fait qu'il ne vise pas à convaincre, mais plutôt à inviter les acteurs en interaction à transformer leurs pensées et leurs points de vue à travers la qualité et la rigueur des points de vue des autres, en s'appuyant notamment sur les connaissances partagées au sein des échanges.

244. La délibération éthique consiste en « une démarche de coconstruction de sens qui vise l'atteinte d'une compréhension commune des faits, des conflits de valeurs et des solutions envisageables. Cette démarche dialogique vise ultimement l'atteinte d'un consensus, et ce, même si certains désaccords peuvent subsister. Elle s'oppose aussi à une simple opération d'agrégation des préférences ou de recherche du meilleur argument » (CEST, 2021, p. 54).

245. L'efficacité est le rapport entre les résultats obtenus et les objectifs fixés. L'efficacité, de son côté, est le rapport entre les résultats obtenus et les ressources utilisées pour les atteindre. Ainsi, une technologie est efficace si elle permet de réaliser entièrement l'objectif pour lequel elle est déployée ; elle est efficiente si elle permet d'atteindre cet objectif en faisant une utilisation optimale des ressources disponibles.

La sobriété numérique s'inscrit dans un cadre de **soutenabilité forte**. En effet, la sobriété numérique prône une approche visant à maximiser les bienfaits de l'utilisation du numérique tout en minimisant ses méfaits, tant sur les plans environnemental, social et sanitaire que démocratique. En cohérence avec la valeur de **justice environnementale**, la sobriété numérique et les moyens de l'actualiser sont étroitement liés au respect des droits et libertés des personnes. Par exemple, favoriser l'utilisation efficiente du numérique contribue directement à un meilleur respect du droit à la vie privée. En effet, la cueillette minimale et le stockage restreint des données personnelles diminuent le risque pour les personnes d'être ciblées ou identifiées. Par opposition, la connectivité entre les systèmes, l'Internet des objets et l'économie de l'attention basée sur les données massives sont à la fois hautement énergivores et présentent des risques pour le respect du droit à la vie privée²⁴⁶. La démarche de sobriété numérique permet aussi de prendre en compte des « nouveaux droits » tout en réduisant les conséquences négatives des TN sur l'environnement. Le *droit à l'oubli* ou *droit au déréférencement* mis en pratique en Ontario et dans l'Union européenne en est un bon exemple. Ce droit permet aux individus d'exiger le retrait d'informations erronées ou diffamatoires, ou des liens vers celles-ci, apparaissant dans les moteurs de recherche²⁴⁷. Ces exemples montrent que le principe de sobriété numérique, la soutenabilité forte et la réflexion sur la priorisation des usages peuvent et doivent être harmonisés avec le respect des libertés et des droits fondamentaux des personnes. Enfin, si la sobriété numérique et la priorisation des usages peuvent sembler imposer des contraintes importantes aux sociétés, leurs défenseurs mettent l'accent sur le fait que des contraintes s'imposeront éventuellement par elles-mêmes. On peut penser à cet effet aux limites liées à l'épuisement des ressources naturelles, à la capacité des infrastructures et à notre capacité d'optimiser la consommation d'énergie des appareils et des systèmes (limite de Landauer²⁴⁸). Il serait donc profitable de les anticiper afin de choisir collectivement là où il serait le moins dommageable, voire le plus profitable, de les appliquer.

4.3 Moyens de mise en œuvre de la sobriété numérique

L'économie circulaire, l'écoconception et le principe du pollueur-payeur sont des moyens permettant de mettre en œuvre la soutenabilité forte, la responsabilité environnementale, la justice environnementale et la sobriété numérique. Ces trois éléments figurent déjà parmi les avenues préconisées dans la stratégie gouvernementale de développement durable (2023-2028)²⁴⁹. La prochaine section vise à détailler ces principes fondamentaux du développement durable, lesquels sont indispensables à la concrétisation de la sobriété numérique.

4.3.1 Économie circulaire

Selon la définition du Pôle québécois de concertation sur l'économie circulaire, ce dernier principe se définit comme un « système de production, d'échange et de consommation visant à optimiser l'utilisation des ressources à toutes les étapes du cycle de vie d'un bien ou d'un service, dans une logique circulaire, tout en réduisant l'empreinte environnementale et en contribuant au bien-être des individus et des collectivités ²⁵⁰ ». L'économie circulaire tente de « préserver et de récupérer le plus de valeur possible des ressources en réduisant, réutilisant, réparant, remettant à niveau, refabriquant, convertissant ou recyclant des produits et des matériaux²⁵¹ ».

246. CEST, 2020a.

247. Règlement général sur la protection des données (RGPD), 2016.

248. Cézard et Mourad, 2019, p. 9.

249. Gouvernement du Québec, 2023.

250. RECYC-QUÉBEC, s.d.

251. Gouvernement du Canada, s.d. <https://www.canada.ca/fr/services/environnement/conservation/durabilite/economie-circulaire.html>

Ce modèle économique s'oppose donc à l'économie linéaire, dans laquelle des ressources transitent incessamment de l'extraction à l'utilisation, puis au statut de déchet. L'idéal de l'économie circulaire est de parfaitement *fermer* les flux de matière afin qu'aucune ressource ne devienne un déchet. Comme cela est impossible, car plusieurs ressources se dégradent au fil de leur utilisation et de leur recyclage, l'économie circulaire vise d'abord la *réduction* collective des flux de matière, donc à extraire beaucoup moins de ressources. On peut en comprendre que l'économie circulaire exige une application à l'échelle sociétale, plutôt que seulement individuelle du respect de la hiérarchie des 3RV : réduire, réemployer, recycler et valoriser. À cet égard, l'écoconception des produits et services est une partie intégrante de l'économie circulaire.

4.3.2 Écoconception

Dans la logique de la hiérarchie des 3RV, l'écoconception commence par évaluer le besoin réel de procéder à la numérisation d'un produit ou d'un service. Ensuite, les produits écoconçus doivent consommer peu d'intrants, limiter l'utilisation de ressources non renouvelables et éviter les matières toxiques. Ils doivent également favoriser la durabilité, la réparabilité et la recyclabilité, en évitant les conceptions qui rendent les réparations difficiles, comme l'utilisation excessive de colle et de soudures. Une conception modulaire et ouverte facilite aussi le réemploi des composants.

L'écoconception prône l'utilisation de basses technologies (low-tech), réduisant le recours aux technologies de pointe souvent irréparables et gourmandes en ressources rares. Les services numériques, comme les sites Web et applications, doivent aussi être écoconçus. Cela inclut la simplification des services, la compatibilité avec des terminaux plus anciens, la réduction du temps d'utilisation et l'hébergement sur des serveurs alimentés par des énergies renouvelables.

4.3.3 Principe du pollueur-payeur

Le principe du pollueur-payeur (PPP) implique que les entités responsables de dommages environnementaux soient celles qui assument les coûts nécessaires pour les réparer et les compenser. En pratique, l'application du PPP peut passer par la taxation des revenus générés par des activités polluantes, par l'imposition d'un prix à payer pour certaines émissions ou, encore, lorsque la pollution dépasse certains seuils préétablis, par l'imposition de pénalités comme des amendes. De plus, des actions concrètes, comme l'assainissement des milieux pollués ou la modification des procédés ayant causé la pollution, peuvent aussi être exigées. En ce sens, dès son origine, ce principe mobilise les valeurs de *responsabilité* et de *justice*, dans son sens correctif, puisqu'il s'oppose à la socialisation des coûts de la dégradation de l'environnement. Toutefois, le PPP n'est pas seulement mobilisé dans une visée corrective. Au cours de son histoire, sa compréhension et son application ont été enrichies par l'apparition et la considération accordées au principe de prévention²⁵². Les systèmes de tarification du carbone, tels que les taxes carbone et les systèmes de plafonnement et d'échange, sont d'autres concrétisations bien connues du PPP.

L'efficacité du PPP repose sur l'**internalisation des coûts**. Selon ce principe, les biens et services mis sur le marché doivent afficher un prix qui intègre les coûts sociaux qu'ils occasionnent, particulièrement, dans le cas qui nous occupe, les coûts relatifs à la dégradation de l'environnement. Si l'on veut limiter la capacité d'acteurs privés de profiter de la pollution, le prix de celle-ci doit être inclus dans celui de leurs produits. En ce sens, on peut distinguer un PPP « standard », selon lequel le pollueur ne paie que pour ramener la pollution à un niveau dit acceptable, d'un PPP « étendu », selon lequel le pollueur paie également pour compenser les coûts sociaux et environnementaux de la pollution dite acceptable²⁵³.

252. de Sadeleer, 2020.

253. de Sadeleer, 2020, p. 52, citant Pezzey, 1998.





◦ **CHAPITRE 5**
ANALYSE DES ENJEUX ÉTHIQUES
ET RECOMMANDATIONS

CHAPITRE 5 : ANALYSE DES ENJEUX ÉTHIQUES ET RECOMMANDATIONS

5.1 La sobriété numérique au cœur de l'action climatique et de la transition écologique

5.1.1 Reconnaître que les technologies numériques offrent un bilan mitigé quant à leur contribution au respect des limites planétaires et s'appuyer sur des preuves solides à l'endroit de leurs bénéfices

L'accélération de la transition écologique est impérative afin de prévenir les conséquences les plus dévastatrices des changements climatiques. Le numérique offre un bilan environnemental mitigé. Bien que certains effets indirects des technologies numériques tels que la substitution et l'efficacité puissent générer des bénéfices environnementaux, plusieurs effets directs et indirects génèrent d'importantes conséquences négatives sur le plan environnemental.

Bien que le numérique puisse, lorsque déployé avec **sobriété**, être un outil important dans l'atteinte de nos cibles environnementales et climatiques, l'ampleur et l'origine des crises que nous traversons exigent une panoplie d'actions qui dépassent le champ de la technologie. Une concentration excessive sur les solutions technologiques risque en effet d'entraîner des lacunes et des omissions dans d'autres domaines essentiels à une réponse globale et équilibrée face aux changements climatiques. **En réalité, c'est l'ensemble des modes de production et de consommation qui doit subir des changements structurels majeurs afin de limiter le réchauffement climatique et stopper la dégradation de la biodiversité sur Terre.**

Il importe de prendre garde à l'adoption d'un optimisme exagéré selon lequel une expansion indéfinie du numérique serait nécessairement bénéfique pour l'environnement. Le renforcement global de l'action climatique et l'accélération de la transition écologique nécessitent l'adoption d'une démarche de **sobriété numérique** qui reconnaît les limites inhérentes du numérique en matière de bénéfices environnementaux et climatiques. Il n'est pas exclu que le numérique puisse faire partie des solutions environnementales, mais il exerce toutefois un poids environnemental important avant même de se traduire positivement en matière de solutions environnementales. La transition écologique ne peut pas se réaliser en s'appuyant exclusivement sur la transition numérique.

Considérant les limites du numérique comme stratégie de préservation de l'environnement et de lutte aux changements climatiques,

1. La Commission recommande que le gouvernement du Québec et l'ensemble de ses ministères et organismes reconnaissent les limites de la numérisation comme stratégie de lutte contre les changements climatiques et de préservation de l'environnement, et s'efforcent de la déployer selon des paramètres spécifiques et dans des contextes où ses bénéfices environnementaux sont attestés par des preuves scientifiques selon une approche de cycle de vie qui évite tout déplacement d'impact.

5.1.2 Adopter, déployer et encourager la sobriété numérique dans l'ensemble de la société

Certains membres du comité d'experts ont partagé leurs inquiétudes à l'endroit du fait que les forces industrielles convergent présentement à l'opposé d'une logique de **sobriété numérique**. En effet, les modèles d'affaires mêmes de l'industrie du numérique opèrent selon une logique constante de renouvellement des appareils et d'accroissement des usages du numérique en utilisant des principes comme l'économie de l'attention et la collecte massive de données à des fins de monétisation sur le marché.

Considérant les limites du numérique comme stratégie de préservation de l'environnement et de lutte aux changements climatiques, et la nécessité de transformer notre rapport au numérique afin de l'aligner avec la **sobriété numérique**, la **soutenabilité forte**, la **responsabilité environnementale** et la **justice environnementale**,

2. La Commission recommande que le gouvernement du Québec adopte, déploie et encourage le principe de sobriété numérique dans une perspective de soutenabilité forte afin de préserver les ressources naturelles et la biodiversité, et de respecter les limites planétaires.

Suggestions de pistes d'action

- Inclure la sobriété numérique dans la *Loi sur la gouvernance et la gestion des ressources informationnelles des organismes publics et des entreprises du gouvernement*.
- Exiger que les organismes publics qui produisent des rapports de développement durable divulguent les flux d'appareils numériques et leur consommation de ressources informationnelles (loi sur la gouvernance et la gestion des ressources informationnelles).
- Veiller attentivement sur les flux de matières liées au cycle de vie complet des ressources numériques, qu'il s'agisse des ressources naturelles (eau, métaux), des matériaux transformés, des produits manufacturés et des déchets.
- Effectuer une veille et s'inspirer des meilleures politiques publiques visant à améliorer le bilan social et environnemental du numérique tout en portant plus spécifiquement attention aux juridictions ayant un poids économique substantiel afin d'évaluer la possibilité que ce type de pratique soit implanté au Québec. Par exemple, s'inspirer des lois et des normes environnementales européennes telles que les lois visant à réduire l'empreinte environnementale générale du numérique, à imposer un chargeur universel, et à établir un système REP plus transparent et ambitieux. Également, se tenir au fait de l'adoption des passeports digitaux des produits en Europe et évaluer comment cette obligation pourrait être réalisable en Amérique du Nord.
- Limiter ou interdire les usages de technologies numériques dont les effets environnementaux sont trop lourds comparativement à leurs bénéfices avérés.

5.1.3 Exemplarité de l'État

L'État est l'acteur central de l'établissement d'une culture favorisant la sobriété numérique. En parallèle aux mesures législatives, aux initiatives et aux campagnes de sensibilisation d'envergure, il peut exercer un leadership déterminant en matière de sobriété numérique au sein de son administration publique. De plus, en s'approvisionnant avec des appareils et des services ayant la plus faible empreinte environnementale possible, il peut exercer une pression sur le marché et inspirer d'autres acteurs.

Considérant que l'État, par son poids économique dans ses achats groupés et sa force symbolique, peut jouer un rôle exemplaire dans la promotion de la sobriété numérique dans une perspective de soutenabilité forte,

3. La Commission recommande que le gouvernement du Québec adopte les meilleures pratiques en matière de sobriété numérique au sein de l'ensemble de l'administration publique québécoise, intègre des critères environnementaux et sociaux dans les marchés publics, et assume un rôle de leader en la matière.

Suggestions de pistes d'action

- Que le Conseil du trésor exige l'achat d'appareils électroniques certifiés (ex. : EPEAT ou TCO).
- Promouvoir la création de règles relatives aux catégories de produits (PCR) dans une perspective d'approvisionnement durable et les utiliser.
- Exiger que les appareils des organismes publics en surplus soient réutilisés puis remis gratuitement ou vendus selon leur valeur résiduelle à des reconditionneurs ou des recycleurs certifiés par l'organisme de gestion désigné (OGD).

5.2 Obtenir et diffuser une information de qualité sur les effets environnementaux du numérique

Si des désaccords sur les mesures réglementaires les plus souhaitables pour limiter l'impact environnemental du numérique persistent entre les différents experts du secteur, le constat sur les données nécessaires pour informer ces mesures est largement partagé : elles sont parcellaires et difficilement accessibles. Ce constat est avéré tant dans la recherche documentaire effectuée par la CEST qu'au sein du comité d'experts mobilisé en soutien au présent avis. Deux avenues principales devraient être privilégiées pour y remédier. La première vise à rendre plus accessibles les données concernant l'entièreté du cycle de vie des technologies numériques alors que la deuxième a pour objectif d'obtenir davantage de données scientifiques de qualité sur leurs effets environnementaux.

5.2.1 Garantir la divulgation des données concernant l'entièreté du cycle de vie des technologies numériques et leur commercialisation

La **transparence** et la **qualité de l'information** sont des enjeux majeurs dans le dossier de l'impact environnemental du numérique. Comme il a été possible de le voir au chapitre 2, une grande quantité d'informations pertinentes est manquante pour évaluer cet impact à chaque étape du cycle de vie des technologies numériques. Dès la phase d'extraction, on note que l'incertitude plane concernant les GES émis, tout comme sur les bouleversements écologiques et sociaux qui se produisent autour de ces opérations minières.

Du côté de la fabrication, bien qu'il soit clair que les impacts sont très élevés, il est également difficile d'obtenir des renseignements exhaustifs. Concernant la phase d'utilisation, il est facile de connaître la consommation énergétique des appareils, mais le manque de divulgation des quantités d'appareils mis en marché par les manufacturiers et les commerçants du numérique empêche la réalisation d'un portrait

complet. La fin de vie est également une étape clé dont les impacts environnementaux sont peu documentés. Pour le public québécois, obtenir le portrait complet des appareils électroniques et électriques mis en marché, réemployés et récupérés annuellement permettrait, entre autres, de juger comment les entreprises se conforment aux programmes de récupération par rapport aux cibles réglementaires (conformité comme le stipule l'article 5 de la première version publiée de la révision réglementaire de la REP en 2022).

Les impacts totaux de l'utilisation de certaines techniques et technologies restent aussi dans l'ombre. C'est notamment le cas de l'intelligence artificielle et de l'apprentissage machine, alors que les acteurs qui entraînent et offrent les services de systèmes d'intelligence artificielle ne sont pas tenus de divulguer des données importantes comme la consommation d'eau et d'énergie, ainsi que les émissions de GES. Les usages des technologies numériques à des fins scientifiques, notamment pour l'entraînement de modèles d'apprentissage machine, devraient aussi être soumis à ces exigences de divulgation.

La traçabilité des matériaux comme les métaux critiques devrait également faire l'objet de mesures visant à assurer un approvisionnement qui respecte les droits fondamentaux de la personne et des normes environnementales élevées. Il s'agit d'un enjeu majeur, puisque la production des technologies numériques se fait souvent au bénéfice des pays riches et au détriment des pays du Sud global, de sorte que les premiers exportent les coûts environnementaux et sociaux de leur mode de vie vers les seconds. Mieux situer la provenance et les méthodes de production des différentes composantes de nos technologies numériques peut donc être la première étape vers une plus grande **justice environnementale**.

La divulgation de données n'est évidemment pas une panacée. Il faut également faire sens des données qui ont été divulguées, notamment au moyen d'une approche comparative commune des différents usages et phases du cycle de vie du numérique. Cette démarche permettrait d'assurer une plus grande **efficacité** dans la lutte contre les changements climatiques et pour la préservation de l'environnement que sous-tend le dossier du numérique, notamment en facilitant le **dialogue** social par rapport à celui-ci. Elle permettrait également de mieux éclairer les gestes individuels et l'action collective.

Considérant le manque d'informations fournies par les entreprises et leurs réticences à faire preuve d'une plus grande transparence quant à leurs pratiques commerciales afin de permettre une évaluation rigoureuse de l'empreinte environnementale du numérique, ainsi que la mise en place de politiques ciblées et efficaces,

Considérant que l'impact environnemental du numérique dépasse les frontières du Québec et compte tenu de l'impératif d'une gestion responsable, juste et soutenable des données à l'échelle mondiale,

4. La Commission recommande que le gouvernement du Québec légifère afin de rendre obligatoire la divulgation du plus grand nombre possible de données, essentielles à l'évaluation des impacts environnementaux du cycle de vie des technologies numériques mises en marché sur son territoire et des services numériques en ligne utilisés au Québec (consommation d'eau, d'énergie et de métaux rares; émissions de GES; lieux où circulent et sont stockées les données; etc.).

Suggestions de pistes d'action

- Obliger la divulgation publique des quantités de produits mises en marché et récupérées par les entreprises qui se dotent d'un programme de récupération individuelle. À l'instar des pays européens, RECYC-QUÉBEC sera ainsi tenue de diffuser publiquement, sous forme de données agrégées, ces informations par catégories de produits.
- Obliger la divulgation sur demande des effets environnementaux (énergie, eau, GES) des technologies numériques ainsi que du stockage des données des individus et des organisations.
- Obliger les entreprises du numérique à faire preuve d'une plus grande transparence concernant les effets environnementaux liés à l'entraînement et à l'utilisation des modèles d'intelligence artificielle.

5.2.2 De l'importance d'encourager la recherche scientifique sur les effets environnementaux et sociaux du numérique

Si la divulgation des données du numérique nous aide à situer ses effets directs, les effets indirects des technologies numériques, comme la substitution et, surtout, les différents effets rebonds, sont encore mal compris, nécessitant ainsi des études plus approfondies pour une meilleure compréhension.

Les mises en garde émises dans cet avis à l'endroit du bilan environnemental du numérique ne minent pas la possibilité que le développement du numérique puisse se faire de manière à favoriser un développement économique global ainsi que la possibilité qu'il soit utilisé comme stratégie de lutte contre les changements climatiques. Toutefois, dans cette perspective, les solutions numériques doivent être déployées selon des paramètres spécifiques et dans des contextes où leurs bénéfices environnementaux sont attestés par des preuves scientifiques, lesquelles doivent être basées sur une approche de cycle de vie cherchant à éviter les déplacements d'impact. Des recherches portant sur de nouvelles formes de mesure des impacts sont également indispensables.

Considérant le manque de recherches approfondies sur les effets environnementaux des technologies numériques et les besoins criants en la matière,

5. La Commission recommande que le gouvernement du Québec finance les recherches sur les impacts environnementaux et sociaux du numérique, et de ses usages à des fins de protection de l'environnement.

Suggestions de recherches pertinentes

- L'empreinte carbone des appareils et des infrastructures numériques (exiger la création des règles relatives aux catégories de produits [PCR] pour la réalisation d'études d'analyse du cycle de vie et la communication de leurs résultats, conformément aux normes internationales ISO 14025 et ISO 14044);
- Les perspectives du numérique pour la préservation de l'environnement et la lutte contre les changements climatiques;
- L'analyse du cycle de vie des technologies numériques;
- L'évaluation des effets rebonds des technologies numériques;
- Les gestes individuels contribuant à la promotion de la sobriété numérique;
- L'efficacité des dispositifs légaux visant à encadrer l'impact environnemental des technologies numériques;
- Les impacts sociaux du numérique et la pertinence de différents usages;
- La REP et la transition juste;
- Les politiques publiques, les changements législatifs et les controverses publiques associées aux réglementations environnementales à travers le monde;
- Les effets sociaux des modèles d'affaires exploitant l'économie de l'attention;
- Les effets des centres de données sur l'environnement, incluant ceux sur l'aménagement du territoire.



5.3 Responsabilité politique à l'endroit de la sobriété numérique

5.3.1 Responsabiliser les acteurs du numérique

On observe que les multinationales du numérique déploient des stratégies de relations publiques mettant en valeur leurs engagements écoresponsables quant à leur empreinte environnementale. Leurs initiatives sont nombreuses : atteinte du zéro déchet dans un court laps de temps, construction de centres d'économie circulaire pour les centres de données, atteinte de la carboneutralité, élimination des plastiques à usage unique, augmentation des taux de récupération, etc. Si l'on ne peut que saluer ce type d'initiative, il faut toutefois reconnaître les limites inhérentes à ces démarches de responsabilité sociale des entreprises. Les entreprises n'ont pas pour visée première de veiller au **bien commun**, mais d'abord de générer des profits. De plus, les entreprises peuvent très bien afficher des engagements écoresponsables dans le but d'éviter des lois plus sévères et contraignantes.

Ensuite, ces engagements peuvent dissimuler des activités commerciales dont les visées sont contraires à la **sobriété numérique**. En effet, ces engagements comportent un très haut risque d'**écoblanchiment**, soit « une opération de relations publiques menée par une organisation, une entreprise pour masquer ses activités polluantes et tenter de présenter un caractère écoresponsable²⁵⁴ ». En effet, les entreprises peuvent se dire responsables concernant les effets environnementaux directs du numérique tout en contribuant à des effets indirects beaucoup plus dommageables. Pensons, par exemple, aux rôles des entreprises du numérique dans l'optimisation de l'exploration et du transport de pétrole. Aussi, ces engagements, intégrés dans une stratégie de relations publiques peuvent entraîner un effet de cadrage sur le narratif à partir duquel l'opinion publique se saisira des problèmes environnementaux. Enfin, les démarches de responsabilité des entreprises demeurent volontaires, celles-ci sont donc libres de ne pas respecter leurs engagements.

L'État possède le pouvoir de contraindre les entreprises à se responsabiliser à l'égard de leur empreinte environnementale pour assurer une réelle soutenabilité de l'industrie numérique. Pour assurer la préservation de l'environnement et l'action climatique, l'État peut imposer des normes élevées en matière de récupération et de réemploi des AEE et un cadre législatif fort pour dissuader l'obsolescence. Les États sont également les seules entités pouvant contraindre les entreprises et les organismes de recyclage à faire preuve d'une plus grande **transparence**. L'établissement d'une culture et de procédés favorisant l'**économie circulaire** nécessite la divulgation d'informations que les entreprises préfèrent souvent conserver de manière confidentielle²⁵⁵.

En outre, les États peuvent encourager et favoriser, par différents mécanismes financiers et fiscaux, l'émergence d'initiatives exemplaires qui concourent à la **sobriété numérique**. C'est le cas pour les entreprises d'économie sociale qui favorisent à la fois la réinsertion sociale et la réparation et la réutilisation des appareils ainsi que pour les entreprises qui adoptent une démarche rigoureuse de soutenabilité environnementale et de commerce équitable.

254. Office québécois de la langue française, 2010a.

255. Le continent européen, qui fait preuve d'une plus grande transparence au sein de ses rapports officiels, affiche par ailleurs le meilleur taux au monde de collection et de recyclage des DEEE, soit 42,5 %, comparativement à 11,7 % pour les Amériques et l'Océanie, et 0,9 % pour le continent africain.

Considérant les risques et les lacunes afférents aux initiatives individuelles des acteurs économiques ainsi que l'importance de l'État dans la mise en application de normes environnementales élevées qui s'appliquent de manière équitable à l'ensemble des acteurs de l'économie du numérique, et l'importance de l'adoption des principes de prévention et de précaution,

6. La Commission recommande que le gouvernement du Québec renforce les normes environnementales entourant les technologies et les services numériques, et instaure des incitatifs économiques encourageant les acteurs du numérique à adopter des pratiques sobres et soutenables.

Les sections 5.3.2, 5.3.3, 5.3.4, 5.3.5 et 5.3.6 visent à satisfaire les exigences de cette recommandation. Elles visent à favoriser la circularité de l'économie, la conception écoresponsable des technologies numériques, le renforcement du système de REP, l'établissement de leviers pour contrer l'obsolescence, ainsi qu'à promouvoir l'efficacité énergétique.

Il importe de noter que la mise en place de ces moyens doit se faire de manière concertée et de manière à ne pas perdre de vue la finalité de réduire l'empreinte environnementale globale des technologies et des infrastructures numériques. Cette démarche d'évaluation globale des répercussions est nécessaire afin d'éviter que les gains environnementaux réalisés dans un secteur génèrent des effets négatifs dans d'autres. Par exemple, bien qu'une plus grande circularité de l'économie soit un principe phare afin de réduire l'empreinte environnementale du numérique, certains matériaux peuvent se présenter en qualité diluée et en quantité diminuée et, par conséquent, exiger davantage de ressources et d'énergie afin de les recycler convenablement. Ainsi, on risque d'augmenter l'empreinte environnementale d'un appareil en recherchant une plus grande circularité de l'économie.

5.3.2 Favoriser la circularité de l'économie

Un facteur important en lien avec le faible niveau de circularité de l'économie québécoise concerne le manque d'application systématique de la hiérarchie des 3RV. Les lois et les règlements spécifient pourtant clairement l'ordre de priorité des trois principes « réduire, réemployer et recycler ». Malheureusement, la mise en pratique demeure souvent irrégulière. Certains experts consultés soulignent que le discours ambiant ne fait qu'accentuer l'idée que le recyclage est la seule solution, entraînant ainsi la mise au rebut prématurée d'appareils encore pleinement fonctionnels. Opter pour le recyclage signifie la destruction de l'appareil avec une tentative de récupération partielle de certains métaux et composantes, alors que des stratégies de réemploi en amont permettent d'éviter ce gaspillage des ressources. Il est crucial de promouvoir cette hiérarchie dans les stratégies de gestion des appareils pour un traitement plus responsable. La circularité de l'économie implique de réduire, ralentir et boucler les flux de matières. Favoriser une réelle adoption de la hiérarchie des 3RV permet d'encourager une approche circulaire de la consommation et de la production dans laquelle les déchets sont réduits au minimum, et où les ressources sont utilisées de manière efficace et réfléchie. Cette approche contribue à créer un système plus durable, réduisant la pression sur les ressources naturelles et minimisant l'impact sur l'environnement.

Considérant l'ensemble des conséquences environnementales découlant des flux d'énergie et de matière associés aux technologies et aux services numériques,

7. La Commission recommande que le gouvernement du Québec favorise davantage la circularité de l'économie, de manière à réduire, ralentir et boucler les flux de matières lorsque celle-ci est réellement bénéfique sur le plan environnemental.

Suggestions de pistes d'action

- Utiliser systématiquement une marge préférentielle dans les marchés publics pour les appareils ayant une faible empreinte environnementale.
- Instaurer des cibles de réemploi dans le traitement des appareils récupérés.
- Favoriser la structuration d'un écosystème de reconditionneurs et de réparateurs du matériel informatique par le biais d'un financement et d'une réglementation appropriés.
- Favoriser une plus grande transparence et collaboration des entreprises.
- Développer des incitatifs qui reconnaissent les avantages sociaux et environnementaux de la réparation des appareils et de l'achat d'appareils remis à neuf.
- Mettre en place des incitatifs économiques à l'utilisation de matière recyclée dans la conception de produits.
- Réduire les flux de matière via l'écoconception (voir la recommandation suivante).
- Exiger que les grandes entreprises qui renouvellent leur parc informatique ne puissent pas l'envoyer directement au recyclage.

5.3.3 Favoriser la conception écoresponsable des technologies numériques

Les impacts environnementaux significatifs des technologies numériques nécessitent l'adoption du principe d'écoconception, ce qui inclut la promotion d'une approche de basse technologie (*low-tech*). Comme mentionné plus haut, l'approche de basse technologie désigne « une manière de repenser l'usage et le recours systématique à des technologies surdimensionnées pour le besoin auquel elles répondent²⁵⁶ ». Elle ne concerne pas que les objets, mais aussi les « systèmes, techniques, services, savoir-faire, pratiques, modes de vie et même courants de pensée qui abordent la technologie selon trois grands principes ». Ainsi, dans le cadre de la conception des produits, l'adoption croissante d'une approche de basse technologie déplacerait la norme d'excellence des produits de la performance vers « l'utile, l'accessible et le durable »²⁵⁷ tout en favorisant le choix de matériaux et l'utilisation d'une moins grande quantité de matériaux à fort impact environnemental.

Considérant l'importance de la conception des applications, des appareils, des réseaux et des centres de données dans l'impact environnemental de l'ensemble du cycle de vie des technologies numériques,

8. La Commission recommande que le gouvernement du Québec s'engage à inciter ou à rendre obligatoire un nombre croissant de pratiques favorisant l'écoconception des technologies numériques, qu'il favorise ces technologies et les rende attrayantes auprès du grand public.

Suggestions de pistes d'action

- Recommander la création de règles de déclaration environnementale de produits sur une base comparable, lesquelles constituent un bon moyen d'évaluer l'écoconception (exemple de l'Union européenne).
- Exiger la création des règles relatives aux catégories de produits (PCR) pour la réalisation d'études d'analyse du cycle de vie et la communication de leurs résultats conformément aux normes internationales ISO 14025 et ISO 14044.
- Promouvoir et rendre attrayantes par des mesures incitatives des approches de basse technologie au sein des organisations et dans la société plus largement.

256. Chemins de transition, 2022, p. 26.

257. *Ibid.*, Jalon 22, p. 1.

- Promouvoir l'utilisation des écoétiquettes reconnues pour le numérique (EPEAT, TCO Certified).
- Mise en place d'incitatifs financiers à l'écoconception, telle la modulation des écofraîs des appareils électroniques selon leur impact environnemental.

5.3.4 Renforcer le système de REP (responsabilité élargie des producteurs)

La responsabilité des producteurs constitue un levier central dans la diminution de la pollution générée par les appareils numériques au Québec. Dans la logique du principe pollueur-payeur, il est crucial que les entreprises assument davantage de responsabilités par rapport aux produits qu'elles mettent en marché, en visant à réduire au maximum leur impact sur l'environnement. Or, la dernière révision réglementaire du système REP québécois est venue diminuer les cibles de récupération fixées pour certaines catégories de produits et abolir le versement des pénalités au gouvernement qui devaient être allouées au Fonds de protection de l'environnement. Les OGD qui ne parviendront pas à atteindre leurs cibles devront investir leur pénalité dans un programme de redressement. Ceci constitue une application bien faible du principe pollueur-payeur et n'encourage pas une réelle responsabilisation des OGD dans le déploiement des moyens nécessaires afin de répondre aux exigences réglementaires qui sont déjà largement inférieures à celles fixées par les systèmes REP situés sur le continent européen.

Considérant l'importance du principe pollueur-payeur dans la responsabilisation environnementale des acteurs économiques du numérique ainsi que les impacts sociaux et environnementaux de la fin de vie de ces technologies,

9. La Commission recommande au gouvernement du Québec de procéder à des révisions réglementaires périodiques du système REP afin de rétablir le principe du pollueur-payeur et de renforcer la transparence et le dialogue avec toutes les parties prenantes.

Suggestions de pistes d'action

- Augmenter les cibles de récupération des programmes en s'inspirant des systèmes REP du continent européen.
- Élargir le champ d'application du règlement afin d'incorporer une plus grande proportion de produits électriques et électroniques.
- À l'instar de la France, instaurer des cibles de réemploi contraignantes.
- Rétablir le paiement des pénalités en cas de non-conformité.
- Instaurer la pleine transparence (comme en Belgique et en France) concernant les compensations données aux municipalités en dédommagement pour leurs activités de collecte, de tri et d'entreposage, et faire en sorte que la compensation soit basée sur les coûts réels encourus par les municipalités. Cette transparence est nécessaire pour s'assurer que le principe du pollueur-payeur soit bien respecté.
- Créer un comité composé de diverses parties prenantes afin d'établir des balises assurant une meilleure reddition de compte de l'Association pour le recyclage des produits électroniques (ARPE) et des différents programmes de recyclage. Ce comité devrait avoir une représentation issue, au minimum, des municipalités, des recycleurs participants au programme, des recycleurs de métaux généralistes, de reconditionneurs issus de l'économie sociale, des consommateurs et des chercheurs.
- Privilégier les acteurs de l'économie sociale qui favorisent le réemploi en plus de générer des retombées sociales (priorisation du bien commun sur la profitabilité).

5.3.5 Se doter de leviers pour contrer l'obsolescence

Il ne fait aucun doute : l'adoption de la *Loi protégeant les consommateurs contre l'obsolescence programmée et favorisant la durabilité, la réparabilité et l'entretien des biens*²⁵⁸ constitue un pas dans la bonne direction. La Commission voit d'un très bon œil l'intégration de considérations à l'endroit de l'obsolescence, notamment à travers l'inclusion d'une garantie légale de bon fonctionnement.

Toutefois, en ce qui concerne l'obsolescence programmée, prouver que des fabricants se sont engagés intentionnellement dans de telles pratiques peut s'avérer un défi ardu et complexe. Certaines expérimentations juridiques ailleurs dans le monde révèlent effectivement des défis quant à l'application concrète de lois visant à empêcher ou pénaliser les délits d'obsolescence programmée²⁵⁹.

De plus, la lutte à l'obsolescence économique nécessiterait aussi d'implanter des mesures d'écofiscalité pour rendre la réparation plus accessible, telles que celles réclamées par Équiterre en 2022, dans son rapport *Pour des appareils électroménagers et électroniques réparables au Canada*. Ces mesures pourraient mettre en action le **principe pollueur-payeur** pour les appareils peu durables, tout comme inciter les consommateurs à faire réparer leurs appareils, réduisant ainsi l'empreinte environnementale des TN.

Aussi, rien n'est présentement mis de l'avant pour lutter contre le phénomène d'obsolescence *psychologique*, laquelle est « liée à l'image et aux changements de besoins des consommateurs et consommatrices²⁶⁰ ». Or, il serait extrêmement important de le faire, puisque l'obsolescence peut être absolue (un produit cesse de fonctionner et est remplacé), mais aussi relative (le produit fonctionne encore, mais est remplacé par un appareil plus récent). S'attaquer au phénomène d'obsolescence psychologique demanderait, entre autres, de limiter la création (ou l'expansion) de besoins que la publicité suscite chez les individus. On peut bien favoriser une conception plus écoresponsable de nos technologies numériques et faciliter leur réparation, mais cette approche demeurera incomplète et insuffisante pour l'atteinte de la **sobriété numérique** tant que les incitatifs au suréquipement et au remplacement d'appareils encore fonctionnels ne seront pas limités. Une considération supérieure pourrait aussi être offerte à l'obsolescence *logicielle*, qui survient lorsqu'un appareil autrement fonctionnel ne reçoit plus les mises à jour nécessaires à son bon fonctionnement, ou reçoit des mises à jour inadaptées qui ont pour effet de le ralentir.

Ensuite, afin d'utiliser la réparation comme outil de lutte à l'obsolescence, il serait essentiel de considérer et de promouvoir l'entièreté du **droit à la réparation**, compris comme le « droit de faire réparer ses objets ou de les réparer soi-même, dans un court délai et à un prix raisonnable²⁶¹ ». En effet, si la loi favorise effectivement le droit à la réparation à un prix raisonnable, elle laisse les questions relatives aux délais nécessaires être déterminées par règlement et n'agit pas dans le sens de la **réparation citoyenne**. Les délais de réparation sont un facteur important pour plusieurs appareils qui sont utilisés sur une base quotidienne : un délai élevé peut donc pousser un consommateur à renouveler son article plutôt qu'à le réparer. L'autoréparation, quant à elle, est importante à favoriser dans l'esprit de développer les **capabilités** des citoyens, de réduire les coûts et les délais encourus par ces derniers et de garder le lieu de réparation le plus près possible du lieu d'utilisation, réduisant ainsi les émissions reliées au transport. Une mesure favorisant l'autoréparation pourrait être de garder la garantie intacte si une autoréparation a été faite sur l'appareil.

258. Projet de loi n° 29, *Loi protégeant les consommateurs contre l'obsolescence programmée et favorisant la durabilité, la réparabilité et l'entretien des biens* (RLRQ).

259. Notamment, la France n'est jamais parvenue à condamner une entreprise pour un délit d'obsolescence programmée. La condamnation d'Apple en 2020 à une amende de 5 millions d'euros a été réalisée à partir d'un article de loi portant sur des pratiques commerciales trompeuses par omission. Seule l'Italie est parvenue, en 2018, sur la base d'une loi punissant l'obsolescence, à condamner Apple et Samsung à une sentence de 10 et 5 millions d'euros respectivement.

260. Équiterre, 2022b, p. 14.

261. *Ibid.*, p. 16.

Enfin, à la différence des précédents projets de loi (PL 197 et PL 195), la loi de 2023²⁶² ne prévoit pas la mise en place d'un indice de durabilité ou de réparabilité. Bien que celui-ci soulève certains défis, comme en témoigne son implantation récente en contexte français, la mise en place d'un tel indice pourrait s'avérer pertinente au Québec. Ce dernier constitue un moyen efficace de **responsabiliser** les entreprises, qui seront incitées à se démarquer par la production de biens plus durables et réparables. Plus encore, l'indice de durabilité semble favoriser l'autonomie dans la prise de décisions éclairées vis-à-vis des choix de consommation et de réparation²⁶³. Comme l'un des plus grands freins à la réparation des AEE qui sont rapportés par les citoyens et citoyennes est la perception d'irréparabilité de ceux-ci, cette mesure permettrait véritablement de différencier les appareils qui sont réparables de ceux qui ne le sont pas. Plus généralement, cela fournirait un critère standardisé et impartial, qui permettrait de simplifier un choix qui se voit compliqué par la vastitude de l'offre et des spécificités des produits en question. Un sondage a d'ailleurs révélé que les trois quarts des Français avaient trouvé l'indice utile dans leurs achats²⁶⁴. Au Québec, selon des données de 2021, 72 % des citoyens et citoyennes appuient « la mise en place d'un logo/label unique pour identifier les produits les plus durables ou réparables²⁶⁵ ».

En raison de son potentiel significatif, des intervenants comme Équiterre recommandent la création d'un indice de durabilité au Québec, intégrant des critères de réparabilité, de fiabilité et d'amélioration continue, notamment en ce qui concerne les mises à jour générales et la sécurité. Ce type d'indice est généralement considéré par les individus comme plus pertinent qu'un simple indice de réparabilité, car il permet de tenir compte des situations où la réparabilité et la fiabilité pourraient être en conflit. Pour garantir son impartialité et sa transparence, l'organisme québécois recommande que cet indice soit élaboré par le Bureau de normalisation du Québec²⁶⁶. De plus, il est tout aussi important que la méthode d'évaluation soit rendue publique et que les vérifications des produits soient effectuées par un organisme indépendant.

En somme, la mise en place d'un indice de durabilité s'inspirant des succès et des enjeux de l'indice français serait susceptible d'encourager des comportements vertueux à la fois dans la consommation et la production, comportements qui, à terme, permettraient de réduire les coûts financiers et environnementaux associés à l'obsolescence des AEE.

Finalement, il est important de noter que de nombreux autres détails de la loi seront définis par règlements, notamment la durée de la garantie de bon fonctionnement, les critères pour déterminer des frais de réparation raisonnables, ainsi que les pièces de rechange pour lesquelles un commerçant ne peut se soustraire à l'obligation de les fournir. Il sera par conséquent important que le règlement impose les normes les plus élevées possibles et que les révisions réglementaires subséquentes puissent également servir à relever davantage les normes. L'expérience québécoise de la REP démontre malheureusement que si l'approche réglementaire offre une certaine flexibilité, celle-ci s'est principalement traduite par un assouplissement des objectifs et une réduction des pénalités lorsque les acteurs de l'industrie n'ont pas réussi à les atteindre.

Considérant les conséquences environnementales et sociales délétères de l'obsolescence prématurée de nos technologies numériques,

10. La Commission recommande que le gouvernement du Québec s'engage fortement dans la lutte contre toutes les formes d'obsolescence des technologies numériques à l'aide d'outils variés.

262. Projet de loi n° 29, *Loi protégeant les consommateurs contre l'obsolescence programmée et favorisant la durabilité, la réparabilité et l'entretien des biens* (RLRQ).

263. CEST, 2021.

264. Halte à l'obsolescence programmée (HOP), 2022.

265. Équiterre, 2022a, p.25.

266. Équiterre, 2023.

Suggestions de pistes d'action

- Mettre en place un indice de durabilité rigoureux qui inclut les informations sur la fabrication, la consommation énergétique, la réparabilité, la fiabilité et l'amélioration continue (p. ex. : nombre d'années de couverture d'un appareil par des mises à jour régulières et de sécurité).
- Ajuster les écofrais en fonction du pointage obtenu à l'indice de durabilité.
- Encadrer la publicité encourageant la croissance et la diversification des besoins numériques.
- Instaurer des mesures d'écofiscalité encourageant la réparation ou favorisant la durabilité (p. ex. : mise en place d'un fonds de réparation ou de subventions à la réparation qui permettrait d'assumer une partie des coûts lors du paiement d'un acte de réparation).
- Se doter d'une législation obligeant les fabricants à autoriser la reproduction par une tierce partie des pièces originales qui ont été discontinuées.
- De manière complémentaire à toutes ces mesures, intervenir auprès du gouvernement canadien afin d'obtenir un droit à la réparation à l'échelle canadienne. Cette législation pourrait contenir des mesures liées à des champs de compétence fédéraux, comme le droit d'auteur et les brevets.

5.3.6 Promouvoir la sobriété énergétique

Il apparaît que la société québécoise prend progressivement conscience de l'importance de l'hydroélectricité, une ressource renouvelable, néanmoins limitée. Il est crucial que l'État établisse des normes élevées en matière d'efficacité énergétique pour les appareils numériques afin de faire pression sur les fabricants pour qu'ils produisent des appareils ou des infrastructures moins énergivores. De plus, il est important que l'État poursuive sa démarche actuelle de priorisation des usages (même si elle n'est pas explicitement nommée), en limitant l'approvisionnement en énergie pour des technologies ou des services numériques gourmands qui offrent des bénéfices environnementaux et sociétaux limités pour le **bien commun** de la société québécoise.

Considérant la consommation d'énergie importante et croissante des technologies numériques et les émissions de GES qui leur sont associées,

11. La Commission recommande que le gouvernement du Québec accentue ses efforts pour favoriser la sobriété énergétique à l'endroit des activités numériques, que ce soit au sein de son territoire ou au sein d'autres juridictions.

Suggestions de pistes d'action

- Exiger la récupération de chaleur et des indices de performances énergétiques élevés pour les centres de données.
- Se doter d'un code de bonne conduite en matière d'efficacité énergétique des centres de données à l'instar de l'Union européenne.
- Imposer les normes d'efficacité énergétiques les plus élevées possibles au sein du *Règlement sur l'efficacité énergétique des appareils fonctionnant à l'électricité ou aux hydrocarbures*.

5.4 Sensibiliser les citoyens et les décideurs sur les effets environnementaux du numérique et favoriser la participation citoyenne

5.4.1 Intégration dans les cursus scolaires et réalisation de campagnes de sensibilisation sur la matérialité du numérique

Comme mentionné précédemment, il est impératif de transformer l'ensemble de nos modes de consommation afin de les rendre plus sobres. Pendant des décennies, la matérialité du numérique a été largement invisibilisée, créant un important retard à combler dans l'éducation de l'ensemble de la population.

Considérant le manque de connaissance général sur les effets environnementaux du numérique, et la nécessité que les citoyens adoptent des comportements écoresponsables et que les professionnels de l'industrie du numérique soient formés aux approches de sobriété numérique et d'écoconception,

12. La Commission recommande que le gouvernement du Québec réalise des campagnes de sensibilisation et d'information visant l'ensemble de sa population quant aux effets environnementaux positifs et négatifs du numérique, et aux gestes à poser afin de minimiser ses effets négatifs.

Suggestions de campagnes de sensibilisation pertinentes

- Campagnes de sensibilisation quant aux conséquences liées à la surconsommation générale et, plus spécifiquement, celles liées à la surconsommation de produits numériques;
- Campagnes de sensibilisation sur la sobriété numérique;
- Campagnes de sensibilisation et de conscientisation portant sur l'importance de la réduction de la consommation d'appareils et de services numériques à forte empreinte environnementale;
- Campagnes de sensibilisation sur l'impact environnemental des cryptomonnaies;
- Campagnes de sensibilisation sur l'importance de la hiérarchisation des 3R dans les programmes scolaires.

Pour garantir une sensibilisation adéquate de la société québécoise aux effets environnementaux du numérique, il est nécessaire d'intégrer ces connaissances à tous les niveaux d'éducation, du primaire à l'université. La CEST et le Conseil Supérieur de l'éducation (CSE) recommandaient déjà, dans le contexte de l'usage croissant des systèmes d'IA générative en enseignement supérieur, que le ministère de l'Enseignement supérieur (MES) travaille en concertation avec le ministère de l'Éducation (MEQ) afin de mettre à jour le *Cadre de référence de la compétence numérique* sous forme de continuum (du préscolaire à l'enseignement supérieur²⁶⁷). Or, une telle mise à jour devrait également s'assurer, afin de renforcer les capacités numériques de l'ensemble des citoyennes et des citoyens, d'englober une compréhension approfondie du fonctionnement des appareils numériques jusqu'aux grandes infrastructures. Le *Cadre de référence de la compétence numérique* comprend déjà une dimension qui vise le développement de « la pensée critique envers le numérique ». Or, il est crucial pour le développement de cette pensée critique que la population comprenne clairement que l'expansion du numérique entraîne généralement une augmentation correspondante des ressources matérielles²⁶⁸. Enfin, les programmes de formation en ingénierie doivent permettre la formation de scientifiques et d'ingénieurs de demain aptes à favoriser l'innovation numérique et l'écoconception des appareils et des logiciels selon les impératifs de la sobriété numérique.

267. Commission de l'éthique en science et en technologie et Conseil Supérieur de l'éducation, 2024.

268. Pitron, 2021.

Considérant l'importance de garantir une sensibilisation adéquate de la société québécoise aux effets environnementaux du numérique,

13. La Commission recommande que le ministère de l'Éducation du Québec et le ministère de l'Enseignement supérieur s'assurent de l'intégration des considérations environnementales liées au numérique dans l'ensemble des programmes scolaires de la province.

Suggestions de pistes d'action

- Intégrer la matérialité et l'impact environnemental du numérique dans le *Cadre de référence de la compétence numérique* du MEES (dernière mise à jour : avril 2019).

14. La Commission recommande que le gouvernement du Québec élabore des stratégies de transfert de connaissances savantes vers les milieux de pratiques (organisations, professionnels, etc.).

5.4.2 Établir des lieux de dialogue et de délibération sur les usages numériques

La démocratisation du numérique et ses bénéfices en ont fait une ressource essentielle dans plusieurs sphères de la société, permettant notamment l'accès à l'information, aux soins de santé, à l'éducation, au marché du travail et à la culture. Le numérique est devenu un **bien commun** dont il importe de garantir l'accès à chacune et à chacun. Or, le numérique a des effets environnementaux délétères importants et, d'autre part, il repose sur l'extraction de ressources non renouvelables, ce qui fait de lui une ressource finie. Ces constats nous enjoignent à trouver un point d'équilibre permettant à la société québécoise de profiter équitablement de la ressource numérique, tout en garantissant la possibilité pour les autres sociétés et les générations futures d'en bénéficier également.

La priorisation des usages s'impose déjà dans la sphère publique québécoise. Il suffit de penser à l'interdiction des cellulaires dans les salles de classes primaires et secondaires, ou bien à la décision d'Hydro-Québec de demander la suspension du processus d'attribution de puissance réservée aux cryptomonnaies²⁶⁹. Dans le dernier cas, compte tenu du caractère extrêmement énergivore de la technologie de chaînes de blocs essentielle au fonctionnement des cryptomonnaies²⁷⁰, la société d'État a fait valoir que l'allocation d'énergie à ce type d'activité entre directement en conflit avec d'autres besoins énergétiques « prioritaires » au Québec. Étant donné que la priorisation des usages peut restreindre la liberté individuelle à certains égards, il est nécessaire de s'assurer qu'elle se fait dans l'intérêt du **bien commun**. En effet, ce processus devrait être éclairé d'une **délibération éthique** qui soit démocratique et informée par la science. Cela est d'autant plus nécessaire puisque la priorisation requiert la prise en compte d'autres types d'impacts que ceux concernant l'environnement, à commencer par les conséquences sociosanitaires, qui permettent de statuer sur la pertinence de différents usages.

Comme la prise de pouvoir collective sur les usages du numérique est une nécessité pressante pour altérer la trajectoire insoutenable du développement du numérique, la Commission considère qu'il faudrait très rapidement entamer le processus d'éducation mentionné dans le cadre des deux recommandations précédentes, de même qu'un processus consultatif portant sur les usages du numérique impliquant les citoyens, la société civile, le milieu de la recherche, les acteurs gouvernementaux ainsi que toute autre partie prenante qui pourrait contribuer au dialogue.

269. Hydro-Québec, 2023.

270. CEST, 2018.

Considérant la nécessité de s'imposer collectivement des limites pour éviter l'épuisement de la ressource numérique et la répartir de manière juste, et la contribution de l'expansion continue des usages du numérique à son coût environnemental, mais aussi les enjeux démocratiques reliés à l'imposition de telles limites sur des secteurs de l'économie ou des pans de la population,

15. La Commission recommande que le gouvernement du Québec enclenche rapidement une démarche de réflexion sur la priorisation des usages par la mise en place des lieux de dialogue et de délibération entre différentes parties prenantes (incluant la société civile) sur les bienfaits et les méfaits environnementaux et sociaux des usages du numérique afin de déterminer collectivement ceux qu'il faudrait prioriser ou encourager, limiter ou interdire, ou encore mieux encadrer.

5.4.3 Encourager et soutenir les initiatives citoyennes et locales favorisant la sobriété numérique

Aussi importants que l'éducation des citoyens et leur participation à la prise de décision concernant la trajectoire du numérique au sein de la société québécoise, des moyens plus concrets de vivre la **sobriété numérique** et de s'y retrouver en tant que communauté devraient être favorisés par le gouvernement du Québec.

En effet, la concrétisation de la sobriété numérique dépend en partie des initiatives citoyennes, locales et issues des milieux de pratiques qui la soutiennent activement. De plus, une adoption généralisée de la sobriété numérique favorise grandement l'essor de démarches innovantes. Comme mentionné précédemment, les États ont le pouvoir d'encourager et de soutenir, par différents mécanismes financiers et fiscaux, l'émergence d'initiatives exemplaires qui contribuent à la sobriété numérique. Il est donc important de s'assurer de la mise en place de structures permettant d'encourager et de soutenir ces initiatives.

Nous nous contenterons ici de mentionner quelques exemples d'initiatives et de démarches méritant d'être encouragées et soutenues par l'État. Ce portrait n'a pas vocation à être exhaustif. En ce qui concerne la réparation citoyenne des appareils numériques, il existe plusieurs initiatives qui visent à donner des occasions aux citoyennes et aux citoyens de développer leurs capacités. Qu'il s'agisse de « cafés réparation », d'ateliers de réparation autonome ou de garages libre-service, ces initiatives permettent de créer et de réparer des objets dans un esprit collaboratif, d'obtenir l'assistance d'amateurs de différents domaines techniques, ou encore d'utiliser des outils et des machines habituellement difficiles d'accès pour le grand public. Plus profondément, ce partage des connaissances constitue une façon de nuancer la séparation tranchée entre les *concepteurs* des technologies et les *usagers* auxquels ces technologies sont destinées. Ces initiatives constituent des moyens concrets de favoriser l'**autonomie** des usagers et doivent être encouragées et soutenues.

On peut également citer, à titre d'initiative favorisant les capacités en matière de réparation, les entreprises qui font converger enjeux sociaux et environnementaux dans une perspective d'économie sociale et solidaire. On pense ici aux entreprises d'économie sociale qui œuvrent à la fois sur le plan de la réinsertion sociale, et de la réparation et de la réutilisation des appareils.

De plus, la mutualisation est une stratégie pertinente pour favoriser la sobriété numérique. Comme le faisait remarquer l'organisme Chemins de transition dans son rapport sur le défi numérique, ses bénéfices environnementaux et sociaux sont importants. Comme le coût environnemental des technologies numériques, particulièrement au Québec, est largement dû à la fabrication, partager ces dernières afin d'en réduire le nombre total devrait être une priorité. Sur le plan social, mutualiser ces technologies permet de garantir l'accès à des ressources numériques à davantage de personnes, tout en faisant meilleur emploi des plus gros ou plus coûteux appareils qui sont sous-utilisés lorsqu'ils sont possédés par une seule personne²⁷¹.

Par exemple, plusieurs mesures de mutualisation à l'échelle locale pourraient être soutenues par le gouvernement du Québec. Offrir un soutien au développement des bibliothèques d'outils, des ateliers de réparation ainsi que des *Fab Labs* – des espaces communautaires qui offrent l'accès à des outils et à de la formation concernant le numérique – permettrait de favoriser les **capabilités citoyennes**. Il existe aussi, en France et dans d'autres pays, des coopératives qui mettent à la disposition de leurs membres des appareils électroniques et électroménagers écoconçus et réparables moyennant un abonnement mensuel. Ces lieux, qui tablent sur « l'économie de la fonctionnalité », visent à limiter les effets négatifs de la propriété privée des objets numériques tout en préservant ses côtés positifs (l'accessibilité rapide, principalement). Pour les habitations à plusieurs logements, des incitatifs pourraient être mis en place afin de mutualiser des appareils numériques dans une pièce commune²⁷².

Au niveau des organisations, qu'elles soient publiques ou privées, adopter une politique de mutualisation représente aussi une avenue intéressante qui permet de diminuer les ressources consacrées au numérique par une utilisation plus réfléchie. Grâce à son parc informatique imposant, le gouvernement du Québec pourrait adopter un rôle de leader dans ce dossier.

Considérant l'importance de la participation citoyenne et des territoires dans une société démocratique, dans la réalisation de la sobriété numérique et du droit à la réparation, tout comme l'importance des bienfaits associés au renforcement des capacités citoyennes,

16. La Commission recommande que le gouvernement du Québec encourage et soutienne la création d'espaces favorisant l'augmentation de la littératie numérique, la participation citoyenne dans la démarche de sobriété numérique, ainsi que la mutualisation des appareils.

Suggestions de pistes d'action

- Favoriser les plateformes qui permettent la mutualisation des équipements, notamment par le biais du prêt entre particuliers.

271. Chemins de transition, 2022.

272. *Ibid.*





CONCLUSION

CONCLUSION

Tout en reconnaissant les bénéfices environnementaux qu'offrent les technologies du numérique, cet avis met en évidence les risques et les enjeux éthiques que soulèvent les effets environnementaux et climatiques des technologies numériques. Après avoir esquissé le contexte des technologies numériques et de l'économie du numérique, nous avons brossé un portrait général des effets environnementaux directs et indirects du numérique. Nous avons également porté un regard critique sur les phénomènes accélérateurs de l'accroissement de l'impact environnemental du numérique et analysé les effets positifs et négatifs de certaines technologies émergentes telles que la vidéo en diffusion en continu, les chaînes de blocs, l'Internet des objets, l'intelligence artificielle et le haut débit mobile 5G.

Nous avons ensuite fait le survol des encadrements législatifs appliqués au Québec en présentant, notamment, le système de responsabilité élargie des producteurs (REP), les règlements sur l'efficacité énergétique des appareils et la nouvelle loi québécoise sur l'obsolescence programmée. Parallèlement, des initiatives innovantes portées par la France ont été présentées, illustrant l'étendue des possibilités législatives visant à réduire l'empreinte du numérique et à favoriser l'économie circulaire. Différentes certifications ou *écoétiquettes*, utilisées au Canada et à l'international, ont également été présentées comme moyens de stimuler l'écoconception des appareils et d'encourager leur efficacité énergétique. Dans le cadre d'analyse éthique, nous avons identifié les valeurs et les principes à prioriser.

Pour guider les décideurs publics québécois, 16 recommandations cohérentes avec ces principes ont été formulées, chacune ciblant des avenues possibles pour atténuer les impacts environnementaux des technologies numériques. Au cœur de ces recommandations se trouve l'adoption d'une démarche de sobriété numérique, qui appelle à revoir les modes de production et de consommation, et les modèles d'affaires de l'industrie du numérique afin de rendre son utilisation compatible avec les limites planétaires. Cette démarche de sobriété se veut hautement démocratique : elle vise à promouvoir l'implication citoyenne à tous les niveaux.

Par conséquent, le gouvernement du Québec est encouragé à faire non seulement preuve d'exemplarité en favorisant, notamment, la gestion efficiente des ressources numériques au sein de son administration, mais bien de mettre en œuvre des moyens légaux et fiscaux permettant d'obliger les entreprises à adopter des pratiques transparentes, responsables et soutenables.

L'accès à l'information est essentiel à la prise de décisions éclairées et informées par la science de même qu'à la réalisation de recherches scientifiques sur les défis environnementaux relatifs à nos usages des technologies du numérique. La sensibilisation et l'éducation sur les considérations environnementales associées au numérique doivent être accessibles pour le grand public, dans les milieux de pratique et intégrées dans l'ensemble des programmes scolaires de la province. Également, le gouvernement du Québec est encouragé à soutenir les initiatives citoyennes visant l'augmentation de la littératie numérique, l'amélioration des connaissances sur la réparabilité des technologies du numérique, la mutualisation des appareils et plus largement la participation citoyenne dans la démarche de sobriété numérique. Finalement, afin de garantir un accès équitable et pérenne au bien commun qu'est devenu le numérique, l'État québécois doit mettre en place des lieux de dialogue et de délibération éthique en impliquant dans la réflexion sur la priorisation des usages du numérique les citoyens, la société civile, le milieu de la recherche, les acteurs gouvernementaux et les autres parties prenantes.

La CEST espère, par cet avis, illustrer la complexité des effets du numérique sur l'environnement, de même que l'importance pour la sphère politique de se saisir rapidement des différents enjeux qui y sont abordés et d'agir, dès maintenant, afin de limiter les effets environnementaux négatifs des technologies numériques. En outre, la CEST affirme et réitère son intention de contribuer activement à la réflexion éthique sur la crise climatique.

BIBLIOGRAPHIE

- ADEME, Lhotellier, J., Less, E., Bossame, E., Pesnel, S., RDC ENVIRONMENT, BV CODDE et FCBA. (2018). *Modélisation et évaluation des impacts environnementaux de produits de consommation et biens d'équipement*. <https://librairie.ademe.fr/consommer-autrement/1189-modelisation-et-evaluation-des-impacts-environnementaux-de-produits-de-consommation-et-biens-d-equipement.html>
- Albreem, M. A., Sheikh, A. M., Alsharif, M. H., Jusoh, M. et Mohd Yasin, M. N. (2021). Green Internet of Things (GloT) : Applications, Practices, Awareness, and Challenges. *IEEE Access*, 9, 38833-38858. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3061697>
- Ambroise, D. (2019, 3 janvier). *Terres rares, éléments clefs de la transition numérique*. DigitalCorner. <https://www.digitalcorner-wavestone.com/2019/01/terres-rares-elements-clefs-de-la-transition-numerique/>
- Añón Higón, D., Gholami, R. et Shirazi, F. (2017). ICT and environmental sustainability : A global perspective. *Telematics and Informatics*, 34(4), 85-95. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2017.01.001>
- Association des banquiers canadiens. (2022, 31 mars). *Fiche info – Les Canadiens et leurs activités bancaires*. <https://cba.ca/technology-and-banking?l=fr>
- Barrau, A. (2020). *Le plus grand défi de l'histoire de l'humanité : face à la catastrophe écologique et sociale*. Michel Lafon.
- Bekaroo, G., Bokhoree, C. et Pattinson, C. (2016). Impacts of ICT on the natural ecosystem : A grassroot analysis for promoting socio-environmental sustainability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 1580-1595. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.147>
- Bergeron, U. (2022, 3 novembre). *Hydro-Québec freine la filière crypto*. Le Devoir. <https://www.ledevoir.com/economie/769377/la-demande-pour-l-electricite-quebecoise-devrait-bondir-de-14-en-dix-ans>
- Bergeron, U. et Riopel, A. (2022, 11 novembre). *Hydro-Québec prévoit une multiplication des centres de données*. Le Devoir. <https://www.ledevoir.com/economie/770321/hydro-quebec-prevoit-une-multiplication-des-centres-de-donnees>
- Berkhout, F. et Hertin, J. (2001). *Impacts of Information and Communication Technologies on Environmental Sustainability : speculations and evidence*. Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Bernard, C. (dir.). (2010). 9. Conséquences sanitaires du commerce des déchets électriques et électroniques du Nord vers le Sud. Dans *Santé internationale : les enjeux de santé au sud* (p. 157-167). Sciences Po les presses.
- Bernier, Nicolas. (2021). « La COVID-19 comme défi à la solidarité sociale et internationale. » Dans *L'État du Québec 2022 : L'avenir est-il d'abord communautaire ?*
- Berteaux, D., Casajus, N. et de Blois, S. (dir.). (2014). *Changements climatiques et biodiversité du Québec : vers un nouveau patrimoine naturel*. Presses de l'Université du Québec.
- Berthoud, F. (2017). Numérique et écologie. *Annales des Mines – Responsabilité et environnement*, N° 87(3), 72.
- Bieser, J. et Hilty, L. (2018). Assessing Indirect Environmental Effects of Information and Communication Technology (ICT) : A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 10(8), 2662. <https://doi.org/10.3390/su10082662>
- Boisvert, V., Carnoye, L. et Petitimberty, R. (2019). « La durabilité forte : enjeux épistémologiques et politiques, de l'économie écologique aux autres sciences sociales. » Entretien avec Valérie Boisvert mené par Leslie Carnoye et Rémi Petitimberty. *Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie*, (Vol. 10, no 1). <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.13837>
- Bordage, F. (2019). *Empreinte environnementale du numérique mondial*. <https://www.greenit.fr/empreinte-environnementale-du-numerique-mondial/>

Bourque, G. L. et Duhaime, É. N. (2020). *La révolution numérique au service du bien commun : la technologie des chaînes de blocs*. Institut de recherche en économie contemporaine. <https://irec.quebec/publications/notes-de-recherche/la-revolution-numerique-au-service-du-bien-commun-la-technologie-des-chaines-de-blocs>

Charfeddine, L. et Umlai, M. (2023). ICT sector, digitization and environmental sustainability : A systematic review of the literature from 2000 to 2022. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 184. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113482>

Chemins de transition. (2022). *Comment faire converger la transition numérique et la transition écologique au Québec dans un horizon de 20 ans ? Rapport final du défi numérique*. <https://cheminsdetransition.org/les-defis/numerique/>

Citton, Y. (2014). Introduction. Dans *L'économie de l'attention* (p. 7-31). La Découverte. <https://doi.org/10.3917/dec.citto.2014.01.0007>

Collectif Acétopol. (s. d.). *Débrancher la 5G ? Écosociété*. <https://ecosociete.org/livres/debrancher-la-5g>

Commission de l'éthique en science et en technologie. (2017). *La ville intelligente au service du bien commun : lignes directrices pour allier l'éthique au numérique dans les municipalités au Québec*. <https://www.ethique.gouv.qc.ca/fr/publications/ville-intelligente/>

Commission de l'éthique en science et en technologie. (CEST). (2018a). *Éthique et cybercitoyenneté : un regard posé par des jeunes*. Gouvernement du Québec. <https://www.ethique.gouv.qc.ca/fr/publications/l-utilisation-d-une-application-mobile-de-tracage-des-contacts-dans-le-cadre-d-une-pandemie/>

Commission de l'éthique en science et en technologie. (2018b, 20 avril). *Les cryptomonnaies et la consommation d'énergie par les technologies de l'information*. <https://ethique.gouv.qc.ca/fr/actualites/ethique-hebdo/eh-2018-04-20/>

Commission de l'éthique en science et en technologie. (2020a). *Les enjeux éthiques soulevés par la reconnaissance faciale*. <https://www.ethique.gouv.qc.ca/fr/publications/reconnaissance-faciale/>

Commission de l'éthique en science et en technologie. (2020b). *L'Internet des objets, la vie privée et la surveillance : balises éthiques et recommandations*. <https://www.ethique.gouv.qc.ca/fr/publications/supplement-ido/>

Commission de l'éthique en science et en technologie. (CEST). (2020c). *Enjeux éthiques de l'utilisation d'une application mobile de traçage des contacts dans le cadre de la pandémie de COVID-19 au Québec*. <https://www.ethique.gouv.qc.ca/fr/publications/l-utilisation-d-une-application-mobile-de-tracage-des-contacts-dans-le-cadre-d-une-pandemie/>

Commission de l'éthique en science et en technologie. (2021). *La réappropriation des objets et la réparation citoyenne pour contrer l'obsolescence programmée*. <https://www.ethique.gouv.qc.ca/fr/actualites/ethique-hebdo/eh-2021-07-14/>

Commission de l'éthique en science et en technologie. (CEST). (2022). *L'utilisation de l'information scientifique par les décideurs publics au sein d'une société démocratique*. <https://ethique.gouv.qc.ca/fr/publications/l-utilisation-de-l-information-scientifique-par-les-decideurs-publics-au-sein-d-une-societe-democratique/>

Commission de l'éthique en science et en technologie. (2023a, 24 mai). *Sobriété numérique : avantages et limites d'une démarche individuelle*. Commission de l'éthique en science et en technologie. <https://ethique.gouv.qc.ca/fr/actualites/ethique-hebdo/sobriete-numerique-avantages-et-limites-d-une-demarche-individuelle/>

Commission de l'éthique en science et en technologie. (2023b, 15 juin). *La sobriété numérique et la question de la priorisation des usages collectifs*. Commission de l'éthique en science et en technologie. <https://ethique.gouv.qc.ca/fr/actualites/ethique-hebdo/la-sobriete-numerique-et-la-question-de-la-priorisation-des-usages-collectifs/>

Commission de l'éthique en science et en technologie et Conseil supérieur de l'éducation. (2024). *IA générative en enseignement supérieur : enjeux pédagogiques et éthiques*. <https://ethique.gouv.qc.ca/fr/publications/iagenerative/>

Commission mondiale sur l'environnement et le développement des Nations Unies. (1987). *Rapport Brundtland*.

Conférence des Nations Unies sur le Commerce et le Développement (CNUCED). (2017). *Rapport sur l'économie de l'information 2017*.

Conférence des Nations Unies sur le Commerce et le Développement (CNUCED). (2019). *Rapport sur l'économie numérique 2019*.

Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination [politiques]. (2007, 9 janvier). <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/gestion-reduction-dechets/engagements-internationaux/convention-bale-controle-mouvements-transfrontieres.html>

Déclaration de Montréal. (2018). *Déclaration de Montréal pour un développement responsable de l'IA*. <https://www.declarationmontreal-iaresponsable.com/>

De Sadeleer, N. (2020). *Environmental principles : from political slogans to legal rules* (2^e éd.). Oxford University Press.

Environnement Québec. (2022, 3 novembre). *Règlement sur la récupération et la valorisation de produits par les entreprises*. <https://www.youtube.com/watch?v=2rSCc0CJAbQ>

Équiterre. (2022). *La réparation des appareils électroménagers et électroniques : perspectives des consommateurs et consommatrices au Québec*. https://cms.equiterre.org/uploads/Rapport-Reparation-electro-sondage_Final.pdf

Équiterre. (2022b). *Pour des appareils électroménagers et électroniques réparables au Canada*. <https://www.equiterre.org/fr/ressources/rapport-pour-des-appareils-electromenagers-et-electroniques-reparables-au-canada>

Équiterre. (2023). *Pour un droit à la réparation robuste et accessible partout au Québec*. <https://www.equiterre.org/fr/ressources/pour-un-droit-a-la-reparation-robuste-et-accessible-partout-au-quebec>

European Environment Agency. (2020, 15 octobre). *Interview with Geert Van Calster – Does the polluter pay?* <https://www.eea.europa.eu/signals/signals-2020/articles/interview-does-the-polluter-pay>

Flipo, F. (2017). Peut-on croire aux TIC « vertes » ? *Annales des Mines – Responsabilité et environnement*, N° 87(3), 105-107.

Flipo, F. (2020). Introduction. L'enjeu de la sobriété est celui du contrôle de l'historicité. Dans *L'impératif de la sobriété numérique* (p. 7-68). Éditions Matériologiques. <https://www.cairn.info/l-imperatif-de-la-sobriete-numerique-9782373612585-p-7.htm>

Flipo, F. (2021). L'impératif de la sobriété numérique. *Cahiers Droit, Sciences & Technologies*, (13), 29-47. <https://doi.org/10.4000/cdst.4182>

Flipo, F., Deltour, F., Dobré, M. et Michot, M. (2012). *Peut-on croire aux TIC vertes ? Technologies numériques et crise environnementale*. Presses des Mines.

Forti, V., Balde, C. P., Kuehr, R. et Bel, G. (2020). *The Global E-waste Monitor 2020 : Quantities, flows and the circular economy potential*. United Nations University/United Nations Institute for Training and Research, International Telecommunication Union, and International Solid Waste Association. <https://collections.unu.edu/view/UNU:7737>

Freitag, C., Berners-Lee, M., Widdicks, K., Knowles, B., Blair, G. S. et Friday, A. (2021). The real climate and transformative impact of ICT : A critique of estimates, trends, and regulations. *Patterns*, 2(9), 100340. <https://doi.org/10.1016/j.patter.2021.100340>

GeSI. (2008). *SMART 2020 : Enabling the low carbon economy in the information age*. <https://www.gesi.org/research/smart-2020-enabling-the-low-carbon-economy-in-the-information-age>

GeSI. (2015). *SMARTer 2030 : ICT Solutions for 21st Century Challenges*. <https://www.gesi.org/research/smarter2030-ict-solutions-for-21st-century-challenges>

Gheraouti, S. (2020, 21 octobre). Changer notre idée du progrès et la place du numérisme pour appréhender le monde d'après. <https://www.letemps.ch/opinions/changer-idee-progres-place-numerisme-apprehender-monde-dapres>

Gibbs, S. (2022, 30 mars). How smart thermostats can save you fuel and money. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/money/2022/mar/30/how-smart-thermostats-can-save-you-fuel-and-money>

Ginisty, F. (2022, 22 décembre). Le principe pollueur-payeur contre l'environnement ? *Le site du journal L'âge de faire*. <https://lagedefaire-lejournal.fr/le-principe-pollueur-payeur-contre-lenvironnement/>

- Gossart, C. (2014). Rebound Effects and ICT : A Review of the Literature. Dans *ICT Innovations for Sustainability* (Springer International Publishing). Hilty, Aebischer. https://www.researchgate.net/publication/263658145_Rebound_Effects_and_ICT_A_Review_of_the_Literature
- Gouvernement du Canada. (2021, mars 24). Économie circulaire. <https://www.canada.ca/fr/services/environnement/conservation/durabilite/economie-circulaire.html>
- Gouvernement du Québec. (2011). *Règlement sur la récupération et la valorisation de produits par les entreprises*. <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca>
- Gouvernement du Québec. (2023). Stratégie gouvernementale de développement durable (2023-2028). <https://www.quebec.ca/gouvernement/politiques-orientations/developpement-durable/strategie-gouvernementale>
- Gravel, S., Bakhiyi, B., Zayed, J., Gravel, S., Côté, D., Roberge, B., Lavoie, J., Wingert, L. et Labrèche, F. (2022). *Recyclage primaire des matières résiduelles électroniques au Québec : portrait de la santé et de la sécurité du travail et appréciation du risque sanitaire* (Projet de recherche : 2015-0083). Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité au travail. <https://www.irsst.qc.ca/publications-et-outils/publication-irsst/ij/101151/n/recyclage-primaire-matieres-residuelles-electroniques>
- Groupe consultatif interagences en éthique de la recherche. (2023, 11 janvier). Énoncé de politique des trois conseils : Éthique de la recherche avec des êtres humains — EPTC 2 (2022) — Chapitre 1 : Cadre éthique. https://ethics.gc.ca/fra/tcps2-eptc2_2022_chapter1-chapitre1.html
- Hadjadji, N. (2018, 11 juillet). *La guerre des métaux rares : le coût écologique des nouvelles technologies*. L'ADN. <https://www.ladn.eu/tech-a-suivre/guerre-metaux-rares-cout-ecologique-geopolitique-numerique/>
- Halte à l'obsolescence programmée (HOP). (2022). *The French reparability index – A first assessment – One year after its implementation*. <https://www.stopobsolescence.org/2021/04/19/the-french-reparability-index-a-stimulation-for-a-larger-european-initiative/>
- Haut conseil pour le climat. (2020). *Maîtriser l'impact carbone de la 5G*. <https://www.hautconseilclimat.fr/publications/maitriser-limpact-carbone-de-la-5g/>
- Heikkilä, M. (2022, novembre 14). We're getting a better idea of AI's true carbon footprint. *MIT Technology Review*. <https://www.technologyreview.com/2022/11/14/1063192/were-getting-a-better-idea-of-ais-true-carbon-footprint/>
- Heikkilä, M. (2023a, décembre 1). *Making an image with generative AI uses as much energy as charging your phone* | MIT Technology Review. https://www.technologyreview.com/2023/12/01/1084189/making-an-image-with-generative-ai-uses-as-much-energy-as-charging-your-phone/?truid=&utm_source=the_algorithm&utm_medium=email&utm_campaign=the_algorithm.unpaid.engagement&utm_content=12-04-2023
- Heikkilä, M. (2023b, décembre 5). *AI's carbon footprint is bigger than you think* | MIT Technology Review. <https://www.technologyreview.com/2023/12/05/1084417/ais-carbon-footprint-is-bigger-than-you-think/>
- Horner, N. C., Shehabi, A. et Azevedo, I. L. (2016). Known unknowns : indirect energy effects of information and communication technology. *Environmental Research Letters*, 11(10), 103001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/10/103001>
- Howson, P. et de Vries, A. (2022). Preying on the poor? Opportunities and challenges for tackling the social and environmental threats of cryptocurrencies for vulnerable and low-income communities. *Energy Research & Social Science*, 84. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102394>
- Hydro-Québec. (2023, janvier 10). Secteur québécois des chaînes de blocs. Hydro-Québec. <https://www.hydroquebec.com/chaines-de-blocs/>
- Jonas, H. (2008). *Le principe responsabilité : une éthique pour la civilisation technologique*. Flammarion.
- Jones, B. A., Goodkind, A. L. et Berrens, R. P. (2022). Economic estimation of Bitcoin mining's climate damages demonstrates closer resemblance to digital crude than digital gold. *Scientific Reports*, 12(1), 14512. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18686-8>
- Jourde, C. (2021). The 'Global South' in the study of international relations. *Third World Quarterly*, 42(6), 1340-1359. <https://doi.org/10.1080/01436597.2021.1948831>
- Kadam, Y. (s. d.). *How does AI and big data drive oil and gas industry recovery?* GEP. <https://www.gep.com/blog/mind/ai-and-big-data-in-oil-and-gas-industry>

- Keller, R. et Stucki, M. (2018, 6 septembre). *Cumulative energy demand of adolescent's digital media behaviour*. 5th European Conference on Behaviour and Energy Efficiency (BEHAVE 2018), Zurich, 5-7 September 2018. <https://digitalcollection.zhaw.ch/handle/11475/10566>
- Khamis, A., Li, H., Prestes, E. et Haidegger, T. (2019). AI : A Key Enabler of Sustainable Development Goals, Part 1 [Industry Activities]. *IEEE Robotics Automation Magazine*, 26(3), 95-102. <https://doi.org/10.1109/MRA.2019.2928738>
- Labrecque, A. (2020, 29 janvier). Recyclage des produits électroniques : des travailleurs exposés à des substances inquiétantes. *Québec Science*. <https://www.quebecscience.qc.ca/sante/recyclage-electroniques-travailleurs-substances-inquietantes/>
- Lange, S., Pohl, J. et Santarius, T. (2020). Digitalization and energy consumption. Does ICT reduce energy demand? *Ecological Economics*, 176, 106760. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106760>
- Larrère, C. (2009). La justice environnementale. *Multitudes*, 36(1), 156-162. <https://doi.org/10.3917/mult.036.0156>
- Larrère, C. (2014). Vulnérabilité et responsabilité : un autre Jonas? *Alter*, 22, 181-193.
- Le Cun, Y. (2019). *Quand la machine apprend : la révolution des neurones artificiels et de l'apprentissage profond*. <http://banq.prenumerique.ca/accueil/isbn/9782738149329>
- Leclair, L. (2018). Guillaume Pitron, LA GUERRE DES MÉTAUX RARES. La face cachée de la transition énergétique et numérique : Les Liens qui Libèrent, 2018, 296 p., 20 €. *Projet*, 363(2), 90. <https://doi.org/10.3917/pro.363.0090>
- Leclerc, S. et Badami, M. (2019). Extended Producer Responsibility for E-waste Management : Policy Drivers and Challenges. *Journal of Cleaner Production*, 251, 119657. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119657>
- Lessmann, O. et Rauschmayer, F. (2012). Re-conceptualizing Sustainable Development on the Basis of the Capability Approach : A Model and Its Difficulties. *Journal of Human Development and Capabilities*, 14(1), 95-114. <https://doi.org/10.1080/19452829.2012.747487>
- Lindström, B., Bellander, M., Schultner, D. T., Chang, A., Tobler, P. N. et Amodio, D. M. (2021). A computational reward learning account of social media engagement. *Nature Communications*, 12(1), 1311. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19607-x>
- Loi sur les normes d'efficacité énergétique et d'économie d'énergie de certains produits*. RLRO, c. N-1.01. <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/lc/n-1.01>
- Ludvigsen, K. G. A. (2022, 6 décembre). *How to estimate and reduce the carbon footprint of machine learning models*. Medium. <https://towardsdatascience.com/how-to-estimate-and-reduce-the-carbon-footprint-of-machine-learning-models-49f24510880>
- Madakam, S., Ramaswamy, R. et Tripathi, S. (2015). Internet of Things (IoT) : A Literature Review. *Journal of Computer and Communications*, 3(5), 164-173. <https://doi.org/10.4236/jcc.2015.35021>
- Magazzino, C., Porrini, D., Fusco, G. et Schneider, N. (2021). Investigating the link among ICT, electricity consumption, air pollution, and economic growth in EU countries. *Energy Sources, Part B : Economics, Planning, and Policy*, 0(0), 1-23. <https://doi.org/10.1080/15567249.2020.1868622>
- Maurey, H., Chaize, P., Chevrollier, G. et Houllégatte, J.-M. (2020). *Rapport d'information fait au nom de la commission de l'aménagement du territoire et du développement durable par la mission d'information sur l'empreinte environnementale du numérique (1) pour une transition numérique écologique*.
- McCarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N. et Shannon, C. E. (2006). A proposal for the Dartmouth summer research project on artificial intelligence : August 31, 1955. *AI Magazine*, 27(4), 12-15.
- MinérallInfo. (s.d.). *Comité pour les Métaux Stratégiques*. <https://www.mineralinfo.fr/fr/acteurs/comite-pour-metaux-strategiques>
- Ministère de l'Environnement. (s.d.). *Répertoire des écoétiquettes*. <https://www.environnement.gouv.qc.ca/developpement/ecoetiquette/index.asp>
- Morozov, E. (2013). *To save everything, click here : the folly of technological solutionism*. PublicAffairs.
- Office québécois de la langue française. (2010a). *Écoblanchiment*. <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/8365406/ecoblanchiment>

- Office québécois de la langue française. (2010b). *Étiquette écologique*. <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/8349721/etiquette-ecologique>
- Office québécois de la langue française. (2015). *Ludification*. <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/26519806/ludification>
- Office québécois de la langue française. (2018). *Preuve de travail*. <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/26544976/preuve-de-travail>
- Office québécois de la langue française. (2022). *Écoconception*. <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/2068587/ecoconception>
- Office québécois de la langue française. (s. d. – a). *chaîne de blocs*. <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/26531717/chaîne-de-blocs>
- Office québécois de la langue française. (s. d. – b). *Numérique*. <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/8360889/numerique>
- Oosterlaken, I. et Van Den Hoven, J. (dir.). (2012). *The Capability Approach, Technology and Design* (vol. 5). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-3879-9>
- Open AI. (s. d.). *AI and compute*. <https://openai.com/research/ai-and-compute>
- Organisation de coopération et de développement économique. (2017). *La responsabilité élargie du producteur – Une mise à jour des lignes directrices pour une gestion efficace des déchets*. OECD Publishing. <https://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=4940056>
- Patterson, D., Gonzalez, J., Le, Q., Liang, C., Munguia, L.-M., Rothchild, D., So, D., Texier, M. et Dean, J. (2021). Carbon Emissions and Large Neural Network Training. *arXiv :2104.10350 [cs]*. <http://arxiv.org/abs/2104.10350>
- Piscicelli, L. (2023). The sustainability impact of a digital circular economy. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 61, 101251. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2022.101251>
- Pitron, G. (2017). *La guerre des métaux rares, La face cachée de la transition énergétique et numérique*. Éditions les Liens qui libèrent
- Pitron, G. (2021). *L'enfer numérique : voyage au bout d'un Like*. Éditions les Liens qui libèrent
- Plamondon Emond, E. (s. d.). *L'intelligence artificielle et l'environnement : un mariage naturel ?* Le Devoir. <https://www.ledevoir.com/societe/science/550293/l-intelligence-artificielle-et-l-environnement-un-mariage-naturel>
- Polimeni, J. M. et Mayumi, K. (dir.). (2008). *The Jevons paradox and the myth of resource efficiency improvements*. Earthscan.
- Pont, A., Robles, A. et Gil, J. A. (2019). e-WASTE : Everything an ICT Scientist and Developer Should Know. *IEEE Access*, 7, 169614-169635. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2955008>
- Precedence Research. (s. d.). *Artificial Intelligence (AI) Market Size, Growth, Report 2022-2030*. <https://www.precedenceresearch.com/artificial-intelligence-market>
- Projet de loi n° 197. *Loi modifiant la Loi sur la protection du consommateur afin de lutter contre l'obsolescence programmée et de faire valoir le droit à la réparation des biens*. <https://www.assnat.qc.ca/fr/travaux-parlementaires/projets-loi/projet-loi-197-42-1.html>
- Radio-Canada. (2019, 5 mars). *Toujours plus de temps perdu sur la route à cause de la circulation*. Radio-Canada.ca. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1156598/canadiens-consacrent-plus-temps-rendre-travail>
- RECYC-QUÉBEC. (2022). *Responsabilité élargie des producteurs – Fiche d'information*. <https://www.reyc-quebec.gouv.qc.ca/entreprises-organismes/mieux-gerer/responsabilite-elargie-producteurs/>
- RECYC-QUÉBEC. (s.d.). *L'économie circulaire, une priorité*. RECYC-QUÉBEC. <https://www.reyc-quebec.gouv.qc.ca/entreprises-organismes/mieux-gerer/economie-circulaire/>
- Union européenne. (2016). *Règlement général sur la protection des données (RGPD), Règlement (UE) 2016/679*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A32016R0679>
- Ressources naturelles Canada. (2011). *ENERGY STAR au Canada*. https://publications.gc.ca/site/archivee-archived.html?url=https://publications.gc.ca/collections/collection_2011/rncan-nrcan/M144-145-1-2010-fra.pdf

- Rolnick, D., Donti, P. L., Kaack, L. H., Kochanski, K., Lacoste, A., Sankaran, K., Ross, A. S., Milojevic-Dupont, N., Jaques, N., Waldman-Brown, A., Luccioni, A., Maharaj, T., Sherwin, E. D., Mukkavilli, S. K., Kording, K. P., Gomes, C., Ng, A. Y., Hassabis, D., Platt, J. C., ... Bengio, Y. (2019). Tackling Climate Change with Machine Learning. *arXiv :1906.05433 [cs, stat]*. <http://arxiv.org/abs/1906.05433>
- Roussilhe, G. (2021a, 24 juillet). *Éco-conception, le brouillard à venir*. <https://gauthierroussilhe.com/articles/eco-conception-le-brouillard-a-venir>
- Roussilhe, G. (2021b, 4 décembre). *Explication sur l'empreinte environnementale du secteur numérique*. <https://gauthierroussilhe.com/articles/explications-sur-l-empreinte-environnementale-du-numerique>
- Roussilhe, G. (2022a, 23 janvier). *Explications sur l'empreinte carbone du transfert de données*. <https://gauthierroussilhe.com/articles/explications-sur-l-empreinte-carbone-du-streaming-et-du-transfert-de-donnees>
- Roussilhe, G. (2022b, 14 septembre). *Les effets environnementaux indirects de la numérisation*. <https://gauthierroussilhe.com/articles/comprendre-et-estimer-les-effets-indirects-de-la-numerisation>
- Roussilhe, G., Ligozat, A.-L. et Quinton, S. (2023). A long road ahead : A review of the state of knowledge of the environmental effects of digitization. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 62, 101296. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2023.101296>
- Samuel, G., Lucivero, F., Knowles, B. et Wright, K. (2024). Carbon Accounting in the Digital Industry : The Need to Move towards Decision Making in Uncertainty. *Sustainability*, 16(5). <https://doi.org/10.3390/su16052017>
- Sen, A. (1993). Capability and Well-Being. Dans *The Quality of Life* (p. 30-50). Oxford University Press.
- Sen, A. (2023). *L'idée de justice*. Flammarion.
- Tanguay, T. (2022, 8 novembre). Les enjeux de l'écoconception dans le numérique. *Activis*. <https://activis.ca/site-internet-municipal/les-enjeux-de-leco-conception-dans-le-numerique/>
- The Shift Project. (2018). *LEAN ICT : pour une sobriété numérique*. The Shift Project. <https://theshiftproject.org/article/pour-une-sobriete-numerique-rapport-shift/>
- The Shift Project. (2019). *Climat : l'insoutenable usage de la vidéo : le nouveau rapport du Shift*. The Shift Project. <https://theshiftproject.org/article/climat-insoutenable-usage-video/>
- The Shift Project. (2020). *Déployer la sobriété numérique*. <https://theshiftproject.org/article/deployer-la-sobriete-numerique-rapport-shift/>
- The Shift Project. (2021). *Impact environnemental du numérique : tendances à 5 ans et gouvernance de la 5G*. <https://theshiftproject.org/article/impact-environnemental-du-numerique-5g-nouvelle-etude-du-shift/>
- The Shifters Montréal. (2020). *L'impact environnemental du numérique au Québec et au Canada (2^e rapport du projet DiagnostiC)*.
- Tracol, É. (2020, 7 octobre). *Les « effets rebond » du télétravail*. ekodev website. <https://ekodev.com/actualites/effets-rebond-teletravail/>
- Union européenne. (2023). *Exigences en matière d'étiquetage énergétique dans l'UE*. Your Europe. https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/labels-markings/energy-labels/index_fr.htm
- Veltz, P. (2023, 23 janvier). *L'effet rebond : quand la surconsommation annule les efforts de sobriété*. The Conversation. <http://theconversation.com/effet-rebond-quand-la-surconsommation-annule-les-efforts-de-sobriete-197707>
- Verchère, A. (2011). Le développement durable en question : analyses économiques autour d'un improbable compromis entre acceptions optimiste et pessimiste du rapport de l'Homme à la Nature. *L'Actualité économique*, 87(3), 337-403. <https://doi.org/10.7202/1009279ar>
- Viana, L. R., Cheriet, M., Nguyen, K.-K., Marchenko, D. et Boucher, J.-F. (2022). Sending fewer emails will not save the planet! An approach to make environmental impacts of ICT tangible for Canadian end users. *Sustainable Production and Consumption*, 34, 453-466. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.09.025>
- Villani, C., Schoenauer, M., Bonnet, Y., Berthet, C., Cornut, A.-C., Levin, F. et Rondepierre, B. (2018). *Donner un sens à l'intelligence artificielle : pour une stratégie nationale et européenne*. Conseil national du numérique.

Vinuesa, R., Azizpour, H., Leite, I., Balaam, M., Dignum, V., Domisch, S., Felländer, A., Langhans, S. D., Tegmark, M. et Fuso Nerini, F. (2020). The role of artificial intelligence in achieving the Sustainable Development Goals. *Nature Communications*, 11(1), 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-14108-y>

Vitali-Rosati, M. (2014). Chapitre 4. Pour une définition du « numérique ». Dans M. E. Sinatra (dir.), *Pratiques de l'édition numérique* (p. 63-75). Presses de l'Université de Montréal. <http://books.openedition.org/pum/319>

World Bank. (2016). *World Development Report 2016 : Digital Dividends*. The World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-0671-1>

Zanzana, S. et Martin, J. (2023). *Retail e-commerce and COVID-19 : How online sales evolved as in-person shopping resumed*. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/11-621-m/11-621-m2023002-eng.htm>

MEMBRES DU COMITÉ DE TRAVAIL²⁷³

Président de la Commission

Luc Bégin

Professeur
Faculté de philosophie
Université Laval

Jocelyn Maclure

Président jusqu'au 14 février 2024

Professeur
Département de philosophie
Université McGill

Présidente du comité

Marie Lambert Chan

(jusqu'en décembre 2021)

Rédactrice en chef
Émission Découverte | Pôle Science
et environnement, Radio-Canada

Experts externes

Alexandre Gajevic Sayegh

Professeur
Département de Science politique Université Laval

Allison Marchildon

Professeure
Responsable des programmes de maîtrise en
philosophie et en éthique appliquée
Université de Sherbrooke

Cécile Bulle

Professeure
Département de stratégie, responsabilité sociale
et environnementale
Université du Québec à Montréal

Catherine Potvin (jusqu'en mai 2021)

Professeure
Département de biologie
Université McGill

Jean-Michel Lapointe

Chargé de projets technopédagogiques
Carrefour d'innovation et de pédagogie
universitaire

Marie-Caroline Bourg

Présidente
EnviroRcube

Marie-France Bellemare

Directrice générale
Insertech

Martin Deron

Responsable du défi numérique
Chemins de transition

Maxime Pinsard

(jusqu'en novembre 2021)

Ingénieur et Ph. D.
en énergie et matériaux de l'INRS
Low tech Lab, Les Shifters Montréal

Mohamed Cheriet

Professeur
École de technologie supérieure
Titulaire de la Chaire de recherche du Canada
sur la durabilité écologique d'Eco-Cloud.

Nicolas Merveille

Professeur
Département de stratégie, responsabilité sociale
et environnementale
Université du Québec à Montréal

273. La Commission de l'éthique en science et en technologie assume l'entière responsabilité du contenu de ce document. Les positions qu'il contient ne reflètent pas forcément les opinions des personnes consultées aux fins de son élaboration.

Pierre-Olivier Pineau
(jusqu'en novembre 2021)

Professeur
Département de sciences de la décision
Haute école de commerce, HEC Montréal

Sasha Lucionni

Chercheuse responsable climat
Hugging Face

Sara Russo Garrido

Directrice exécutive adjointe
Centre international de références sur le cycle
de vie des produits, procédés et services (CIRAIG)

Stéphanie H. Leclerc

Chargée de programme
Approvisionnement durable et gestion des actifs
Université McGill

Relecture critique

Julie-Christine Denoncourt

Chargée de projet
Équiterre

COMMISSION DE L'ÉTHIQUE EN SCIENCE ET EN TECHNOLOGIE

Président

Luc Bégin

Professeur
Faculté de philosophie
Université Laval

Jocelyn Maclure

Président jusqu'au 14 février 2024

Professeur
Département de philosophie
Université McGill

Membres

Daniel Weinstock

Vice-doyen à la recherche et professeur
Faculté de droit,
Université McGill

Éric Montpetit

Professeur
Département de science politique
Université de Montréal

Lyne Létourneau

Professeure
Département des sciences animales
Université Laval

Michel Bergeron

Consultant en éthique et en conduite responsable
en recherche

Guillaume Chicoisne

Ingénieur en informatique et
conseiller scientifique
Institut de valorisation des données (IVADO)

Nathalie De Marcellis-Warin

Professeure
Département de mathématiques et de génie
industriel
Polytechnique Montréal
Présidente-directrice générale, CIRANO

Miriam Fahmy

Conseillère en transfert des connaissances
Territoires innovants en économie sociale
et solidaire (TIESS)

Naïma Hamrouni

Professeure
Département de philosophie et des arts
Université du Québec à Trois-Rivières

Nathalie Orr Gaucher

Médecin d'urgence pédiatrique
Centre hospitalier universitaire
Sainte-Justine

Quoc Dinh Nguyen,

Gériatre, épidémiologiste et chercheur
Centre hospitalier de l'Université de Montréal

Sébastien Gambs

Professeur
Département d'informatique
Université du Québec à Montréal



Commission
de l'éthique
en science
et en technologie

Québec 