



DÉFI NUMÉRIQUE

ÉTAPE 1 - DIAGNOSTIC PROSPECTIF

Face à la crise écologique qu'affronte l'humanité, l'Université de Montréal et Espace pour la Vie s'allient pour lancer Chemins de transition, un grand projet qui engage la communauté universitaire, au côté des autres forces vives de la société, dans le nécessaire débat sur la transition au Québec.

Ce projet mobilise les savoirs de plusieurs sciences, et de multiples acteurs, afin d'identifier collectivement les chemins qui ont le potentiel de mener la société québécoise dans une trajectoire plus souhaitable.

LES TROIS DÉFIS



Défi alimentaire - Comment nourrir en santé toujours plus d'humains sans épuiser les ressources terrestres dans un contexte de changements climatiques ?



Défi numérique - Comment faire converger transition numérique et transition écologique ?



Défi territoire - Comment habiter le territoire québécois de façon sobre et résiliente dans un contexte de transition écologique ?

OBJECTIF DE L'ÉTAPE 1

**CARTOGRAPHIER LES
FUTURS POSSIBLES**



**CHOISIR UN FUTUR
SOUHAITABLE**



**TRACER DES
TRAJECTOIRES**



PLUS D'INFORMATION



Page Web du défi numérique : www.cheminsdetransition.org/numerique/



Chargé de projet : Martin Deron, martin.deron@umontreal.ca

QUELLE SERA LA PLACE DU NUMÉRIQUE DANS LA SOCIÉTÉ QUÉBÉCOISE EN TRANSITION ?

ON CONSTATE...

L'omniprésence du numérique

En l'espace d'une vingtaine d'années, le numérique est devenu omniprésent dans l'ensemble des sociétés industrielles. Il y a seulement quelques décennies, les TIC étaient considérées comme des outils puissants pouvant donner un avantage compétitif à ceux qui savaient les maîtriser. Or, cette vision du numérique comme une niche n'est plus réellement d'actualité, tant le numérique est devenu l'espace de vie au complet. Les technologies numériques, et notamment les applications téléphoniques, sont utilisées pour gérer les contacts, les courriels, les appels, ou encore le partage de documents et d'informations. Au niveau collectif, le numérique est aussi présent à chaque palier organisationnel. De l'administration publique, à la gestion des entreprises en passant par les entités étatiques et les transports, tous ont franchi l'étape de la numérisation de leurs services et utilisent en continu des logiciels pour effectuer suivis et analyses. Somme toute, le numérique ne correspond plus à une simple liste d'outils numériques, il est devenu à la place un environnement complet qui exerce une influence sur la culture et les relations sociales.

La montée de l'infobésité

Le déploiement des appareils numériques est allé de pair avec l'explosion de l'utilisation des réseaux sociaux, qui a bouleversé le rapport à l'information. Celle-ci est devenue accessible en quelques instants, sans contraintes physiques, à un tel point que les flux d'informations puissent être parfois considérés excessifs. En d'autres termes, pour la première fois historiquement, la hausse de la quantité d'informations disponible n'est plus synonyme d'une hausse de l'assimilation, et peut être même associée à une baisse de la rétention informationnelle. La difficulté de traiter cette surabondance d'informations, souvent appelée « surcharge informationnelle » ou « infobésité », serait liée à des déficits de l'attention, des phénomènes d'addiction, d'anxiété ou encore des pertes de mémoire. (1)

L'importance de l'accès à Internet

L'Internet haute vitesse n'est pas officiellement reconnu comme un bien de première nécessité, mais force est de constater qu'être « branché » est devenu une exigence de la vie normale d'aujourd'hui. Nombreuses activités quotidiennes se déroulent en ligne, permettant aux utilisateurs d'avoir accès à des produits et services, dont des services publics. Internet se présente alors comme un outil fondamental donnant accès à des biens ou des opportunités. Sans accès à Internet, un individu se retrouve exclu d'une quantité croissante de biens et de services seulement accessibles en ligne. Les assemblées citoyennes, les médias d'information ou encore les forums en ligne constituent des formes d'espaces publics. (2) Être connecté au réseau devient alors un enjeu de citoyenneté à l'ère du numérique. De plus, en temps de crise sanitaire, avoir accès à une connexion haut débit peut être un facteur déterminant pour garder ou obtenir un emploi.

Un accès encore inégal à la ressource numérique

Le Québec est touché par une fracture numérique, composée de deux grandes formes d'inégalité. D'une part, on constate des inégalités d'accès à la ressource numérique. En effet, il est estimé qu'environ 10% des foyers de la province ont un accès nul ou très mauvais à Internet (3). D'autre part, on observe également des inégalités en matière de connaissances et de compétences permettant de tirer parti de l'utilisation de la ressource numérique (littératie numérique). En effet, il n'est plus suffisant d'avoir accès au numérique, il faut également être en mesure de pouvoir l'utiliser pour répondre à ses besoins, de comprendre les risques qui l'accompagnent, et de pouvoir en saisir les opportunités (2). Les inégalités liées au numérique viennent souvent se superposer sur d'autres inégalités, notamment sociales et territoriales, et peuvent donc devenir un facteur d'exclusion supplémentaire. (2,4)

L'existence de bulles d'autorenforcement

Avec un accès inédit à une multitude de sources permis par Internet, il pourrait être attendu que les usagers soient confrontés à un nombre plus élevé de points de vue, dont une partie serait différente de leur. Or d'après plusieurs auteurs, l'accès réel à l'information est de plus en plus filtré par les algorithmes des moteurs de recherches et des réseaux sociaux (5). En effet, les algorithmes informatiques qui accompagnent les plateformes numériques se servent des données émises par les utilisateurs pour personnaliser le contenu qui leur est offert afin de les fidéliser. D'une certaine manière, chaque internaute aurait ainsi accès à une version des plateformes web différente. À travers ce phénomène, l'utilisateur s'installe progressivement, et sans s'en rendre compte, dans une bulle optimisée pour sa personnalité supposée (5). Sur les réseaux sociaux, par exemple, les plateformes utilisent l'historique de consultations, les clics et les interactions sociales pour hiérarchiser et filtrer le contenu qui sera jugé le plus pertinent pour l'utilisateur. Ce phénomène donne une impression déformée de la réalité en accordant plus d'importance à certains éléments plutôt qu'à d'autres (5). À la manière d'une chambre d'écho traditionnelle, l'« effet bulle » tend à s'autorenforcer en reproduisant des opinions et des croyances proches de celles de l'utilisateur qui est ainsi, à son tour, de plus en plus convaincu et de moins en moins ouvert aux idées extérieures. Cette tendance pourrait mener à une exacerbation des tensions sociales en réduisant la possibilité de dialogues entre les différentes bulles d'opinions.

ON OBSERVE DES ÉVOLUTIONS ET ON PRÉVOIT...

Une plus grande connectivité du territoire

Au Québec, comme ailleurs dans le monde, la tendance est à la numérisation. À travers la Stratégie canadienne pour la connectivité, le gouvernement fédéral reconnaît depuis 2019 qu'avoir accès à l'Internet haute vitesse n'est plus un luxe « mais plutôt une nécessité » (6). En soutenant financièrement la mise en place de services Internet haute vitesse dans les régions les plus rurales et éloignées du pays, le gouvernement vise à ce que tous les Canadiens aient accès à une connexion de 50/10 Mbps en 2030 (vitesse jugée suffisante pour tirer parti des applications essentielles comme l'éducation en ligne ou encore les services de télésanté) (6). À l'échelle provinciale, une volonté très similaire est annoncée depuis plusieurs années mais on observe du retard dans la réalisation. Le précédent programme du gouvernement « Québec branché » lancé en 2016 n'a pas réussi à réduire la fracture numérique territoriale autant que souhaité (110 000 foyers mal ou non desservis sur les 340 000 visés devraient bénéficier d'une aide) (7). L'objectif d'équiper tous les québécois d'une connexion Internet haut débit initialement prévu pour 2021 est maintenant fixé à 2026, porté par le programme « Québec haut débit » qui consacre 400 M\$ à la réalisation de nouveaux projets d'infrastructures d'accès à l'Internet haut débit

(8). Si la couverture numérique augmente de façon générale, et que de nombreuses municipalités affichent un intérêt grandissant pour le développement des TIC (Québec, Sherbrooke, Magog par exemple), on prévoit néanmoins une disparité grandissante entre le reste de la province et Montréal, qui continue d'attirer la plupart des talents et des projets du secteur (9).

L'apprentissage du numérique, une nouvelle priorité dans l'éducation

Le gouvernement du Québec souhaite profiter du « virage numérique » et met en œuvre depuis fin 2018 son Plan d'action numérique en éducation et en enseignement supérieur (10). 1200 M \$ ont ainsi été débloqués pour « soutenir le développement des compétences numériques des jeunes et des adultes » « exploiter le numérique comme vecteur de valeur ajoutée dans les pratiques d'enseignement et d'apprentissage » et « créer un environnement propice au déploiement du numérique dans le système éducatif » (11). C'est ce dernier objectif qui reçoit la majeure partie du financement, notamment pour ce qui traite de l'acquisition d'équipements numériques dans les établissements (11). On compte de nombreux programmes provinciaux et fédéraux (NumeriQc à l'école, Geek Junior, la Boîte à pitons) qui proposent de l'éducation au numérique à différents âges pour sensibiliser la population à l'informatique. Des plateformes innovantes pour la programmation (CodeClubCanada, CodeMTL) ont également vu le jour aussi bien pour les jeunes que pour les adultes. Par ailleurs, le numérique est aussi un vecteur pour l'éducation dans l'apprentissage des savoirs classiques, comme en témoigne la popularité grandissante des formations et des cours en ligne et la généralisation de l'école à la maison pour certains niveaux en temps de pandémie (10).

La prolifération de fausses nouvelles et l'ère de post-vérité

Les réseaux sociaux offrent à beaucoup d'individus la possibilité inédite de s'exprimer sans devoir passer par un média institutionnel, et d'atteindre de nombreuses personnes en un temps record. Puissants outils de communication, les réseaux sociaux donnent ainsi une plateforme publique de partage d'opinions, qui inondent la toile d'avis divers sans passer par un processus de vérification. À cet effet, depuis les dernières années, plusieurs auteurs et organismes alertent sur la croissance exponentielle des fausses nouvelles (*fake news*) qui gagnent progressivement en popularité, notamment sur Internet (12,13,14). Ces informations mensongères ou incomplètes, aux rédacteurs souvent inidentifiables, ont pour objectif de manipuler ou de tromper le public (13). Au cours des dernières années, on a observé la montée de programmes de trucage vidéo basés sur l'intelligence artificielle. Communément appelés *deepfake* ou hypertrucage, ces programmes utilisent des outils de synthèse d'images qui servent à superposer des fichiers audio et vidéo existants sur d'autres vidéos, en changeant ainsi le visage d'une personne, sa voix, ou les paroles prononcées. Cette technique, dont les applications sont encore expérimentales, pourrait révolutionner le monde de la communication lorsqu'il sera impossible pour un public non averti de distinguer un discours présidentiel d'une contrefaçon malveillante (15). Et les conséquences pourraient prendre des proportions alarmantes pour des sujets liés à la sécurité, tels que de fausses déclarations de guerre ou d'attaque nucléaire (15). La démultiplication des flux informationnels et l'utilisation de l'IA dans l'altération de contenu rendent la distinction entre opinion et informations vérifiées de plus en plus difficile pour une grande partie de la population. Leur prolifération participerait même à un changement de paradigme informationnel, basculant ainsi le monde dans l'« ère de la post-vérité » (12). Popularisée lors du référendum britannique et des élections présidentielles américaines de 2016, l'expression vise à désigner des circonstances dans lesquelles les informations et les faits objectifs sont moins efficaces que les appels à l'émotion et aux opinions personnelles pour modeler l'opinion publique (14).

La remise en question de l'expertise

En lien avec l'ère de la post-vérité, c'est l'idée même du partage du savoir et de l'expertise qui semble de plus en plus remise en question. Auparavant, le statut de chercheur ou d'enseignant-chercheur bénéficiait d'une forte légitimité associée à un rôle de détenteur du savoir et d'éducateur (16). Or, Internet a permis de multiplier les sources de la connaissance, remettant en question le rôle classique de l'enseignant comme seul détenteur d'un savoir qu'il transmet (16). Cette multiplicité des sources d'informations réduit progressivement la frontière palpable entre les pratiques non professionnelles et les sciences institutionnalisées, et introduit ainsi une concurrence des autorités en ouvrant la voie à la participation des non professionnels à la production de connaissances, au détriment de l'expertise (16).

ON POURRAIT MÊME IMAGINER...

Le développement d'une IA responsable

Face aux préoccupations éthiques générées par les perspectives d'applications de l'IA, certains acteurs se penchent sur la mise en place de principes établissant un cadre éthique pour pouvoir assurer le développement d'une intelligence artificielle responsable, inclusive, équitable et écologiquement soutenable. Ces préoccupations émergent notamment du milieu académique (La Déclaration de Montréal en IA responsable, portée par l'Université de Montréal), du secteur privé (Microsoft) ou encore du secteur de l'assurance (AXA Research Fund). Les défenseurs de l'IA responsable souhaitent avertir le public de sorte que le développement de l'IA ne soit pas une simple course à l'innovation, mais qu'il soit bénéfique pour les populations qui l'utilisent. À travers les initiatives, les principes reprennent une série de valeurs jugées fondamentales et incluent entre autres la protection de la vie privée, le respect de l'autonomie, et le principe de prudence.

L'homogénéisation progressive des cultures

Avec une utilisation croissante d'algorithmes automatisés pour aider à la décision, certains pensent que la tendance actuelle va progressivement vers une homogénéisation des cultures à travers le monde (17). En effet, en utilisant de plus en plus l'apprentissage machine et les données, les décisions favorisées seront issues d'une optimisation mathématique qui les présentera comme les meilleures à prendre dans le contexte donné. Au fur et à mesure, la recherche constante de l'optimisation pourrait amener à reléguer les considérations culturelles au second plan, puis progressivement amener vers une standardisation des modes de vie à travers le monde, basés sur l'optimisation algorithmique.

COMMENT LE NUMÉRIQUE SERVIRA-T-IL LE SYSTÈME ÉCONOMIQUE DE DEMAIN ?

ON CONSTATE...

L'importance du numérique comme secteur économique au Québec et au Canada

L'économie numérique figure dans les 10 secteurs créant le plus de valeur au Canada selon les Shifters Montréal (9). Selon leur analyse, le secteur des TIC emploie présentement 151 000 personnes au Québec, soit 3,8 % des 4 millions de travailleurs au total. Le secteur connaît une croissance annuelle de 2 % en termes de PIB et de 4 % en termes d'emplois, principalement répartis entre les logiciels et services informatiques (65 % des travailleurs) et les services de télécommunication (22 % des travailleurs). En 2018 les TIC au Québec représentaient 30G\$ de revenus, 8G \$ en exportations et 17G \$ de PIB (5 % du total pour le Québec, avec une proportion similaire au Canada). En termes d'économie numérique, Montréal est souvent considéré comme un pôle de TIC Mondial grâce à diverses conditions favorables à l'implantation du secteur comme une électricité à bas coût et peu carbonée ou encore sa proximité avec les États-Unis (9).

Un financement du numérique basé sur la consommation perpétuelle

Les modèles économiques de l'industrie numérique, comme le développement récent de l'« économie de l'attention », visent à augmenter constamment le volume de contenus consommés et de terminaux produits. En monétisant le temps passé sur les plateformes, ces mécanismes favorisent l'intégration de designs stimulants et addictifs, qui se traduisent par des volumes de données considérables et en augmentation croissante (+9 % d'énergie consommé par an) (18). Loin d'être l'exception, ce modèle de financement est dominant dans l'industrie. En 2017, par exemple, 87 % du chiffre d'affaires de Google était issu de la vente de contenus publicitaires personnalisés (19).

La mainmise de quelques géants numériques

En dépit de sa puissance, Internet n'est actuellement contrôlé par aucune instance de régulation. De fait, il est le produit de quelques grands acteurs qui ont réussi à accaparer l'essentiel du marché depuis la fin du 20^e siècle. Les géants américains GAFAM (Google, Amazon, Facebook, Apple, Microsoft) et leurs équivalents chinois les BATX (Baidu, Alibaba, Tencent et Xiaomi) capitalisent à eux seuls plus de 4 500 milliards de dollars, soit plus que le produit intérieur brut de l'Allemagne, la quatrième économie mondiale (20). La position considérable de ces entreprises dans le système économique pèse sur la balance des pouvoirs et, partout dans le monde, états et régulateurs cherchent la voie pour encadrer les géants du numérique sans pour autant réussir à imposer de vrais contre-pouvoirs (20). En effet, les technologies de l'information sont centrales aux enjeux commerciaux et géopolitiques et les puissances publiques se questionnent sur le rôle et les responsabilités de telles entreprises. D'un point de vue énergétique, la concentration du secteur numérique est tout aussi palpable : il est estimé que 80 % de la croissance des flux de données des cinq dernières années est attribuable à la consommation des services fournis par les GAFAM (21).

De nouveaux risques liés à la cybersécurité

La dématérialisation des entreprises et des organisations a fait apparaître un nouveau type de défis : les enjeux de cybersécurité. En effet, la mise en réseau des activités provoque la multiplication des points d'entrée du système et augmente ainsi la vulnérabilité aux agressions informatiques telles que le cyberespionnage, le cyberharcèlement, le cybercambriolage ou encore la cyberfinance criminelle (22). Que ce soit pour tenter de voler des données, de détruire, d'endommager ou d'altérer le fonctionnement normal de leur système, il est estimé que 62 % des entreprises américaines ont connu des tentatives de cyberattaque en 2018 (22) et que les dépenses mondiales en matière de sécurité devraient atteindre les 133,7 milliards de dollars en 2022 (23). Au Québec en 2019, le groupe financier Mouvement Desjardins a par exemple été victime du vol des données personnelles de ses 4,2 millions de membres particuliers, comprenant des informations confidentielles liées à l'identité et aux habitudes d'achat (24).

ON OBSERVE DES ÉVOLUTIONS ET ON PRÉVOIT...

L'essor continu du numérique au Canada

Le Canada affiche l'ambition de devenir un leader du numérique mondial au cours des prochaines années. Le gouvernement fédéral vise notamment à doubler le nombre d'entreprises numériques canadiennes d'un milliard de dollars ou plus, à tripler celles d'un million ou plus et à accroître de 300% le nombre de diplômés en génie informatique et en génie d'ici 2025 (6). L'essor du numérique se retrouve aussi dans les villes canadiennes, à l'image de Montréal qui devient progressivement un pôle d'excellence en TIC. La métropole a récemment été élue meilleur endroit au monde pour accueillir des centres de données, 4^{ème} centre d'emploi pour l'animation et les effets visuels, le 3^{ème} centre nord-américain en jeu-vidéo et le pôle mondial numéro 1 de chercheurs IA (9). Les métropoles canadiennes ne sont pas encore les principaux pôles numériques mondiaux mais demeurent concurrentielles en Amérique du nord, notamment grâce à des coûts de développement moins importants que leurs voisines américaines et une grande expertise dans des secteurs spécifiques (IA, contenu créatif numérique) (6,9). Enfin, diverses applications liées au développement de l'industrie 4.0 reçoivent beaucoup d'attention au Canada et annoncent des perspectives de croissance conséquentes. Parmi les pratiques numériques les plus prometteuses pour les entreprises québécoises, on retrouve la robotisation, l'infonuagique, l'IA, l'internet des objets ou encore l'utilisation des mégadonnées (*big Data*) (9).

Une réponse principalement technologique à la catastrophe environnementale

Face à l'urgence environnementale, de nombreux projets d'innovation technologiques se mettent sur pied avec l'ambition de servir de levier à la transition écologique. Au Canada, les divers projets de « ville intelligente » affichent des objectifs environnementaux : la réduction de l'empreinte environnementale de la ville pourrait être réalisée par une meilleure gestion de la consommation d'énergie, la minimisation de l'utilisation des ressources, ou encore l'amélioration de l'efficacité des systèmes en gérant les flux continus (mobilité, approvisionnement etc.) (25). Selon les promoteurs de cette réponse technologique, l'utilisation de l'IA et de l'apprentissage machine en ville permettrait d'analyser l'ensemble des interactions, prédire les tendances et ainsi gérer la ville de manière plus efficace. À l'intérieur du concept de « ville intelligente » se trouvent de nombreuses applications qui visent à réduire l'empreinte écologique à leur échelle en utilisant les avancées technologiques : les bâtiments intelligents visent par exemple à optimiser la durée de vie de la bâtisse et à améliorer l'efficacité énergétique tandis que la mobilité connectée souhaite utiliser les données des usagers afin de gérer l'offre en temps réel. À l'échelle industrielle, l'impression 3D

fait partie des technologies transformatives clés, et celle-ci est régulièrement citée comme un levier pour le développement durable. Elle permettrait, entre autres, de concevoir des produits utilisant moins de matériaux, d'utiliser des matériaux à faible impact environnemental, de fabriquer uniquement à la demande et d'utiliser des nouveaux procédés de fabrication plus efficaces. Le secteur semble attirer de plus en plus d'intérêt et suit une croissance annuelle mondiale d'environ 20 % (26).

Le développement du capitalisme de surveillance

L'essor des technologies numériques a permis de développer ce que la professeure émérite de l'université d'Harvard Shoshana Zuboff appelle le « capitalisme de surveillance » (27). Ce terme désigne selon l'auteure une nouvelle ère du capitalisme dans laquelle l'expérience humaine est considérée comme une manière première, qu'il est possible pour un acteur économique d'exploiter à des fins commerciales. L'entreprise américaine Google aurait été la première à exploiter les données personnelles pour améliorer la qualité des services rendus dans un premier temps, puis à être monétisée sous la pression des investisseurs, marquant ainsi la naissance d'une pratique qui se serait reproduite par la suite comme modèle d'affaires (27). À terme, Zuboff estime que l'évolution du capitalisme de surveillance pourrait tendre à la suppression de toute notion de vie privée et d'intimité. Le fondateur et directeur exécutif du magazine technologique *Wired* Kevin Kelly estime lui aussi que dans peu de temps, l'enregistrement des données, y compris personnelles, sera systématique et permanente grâce à des capteurs directs, mais aussi à travers des images de vie telles que des caméras reliées entre elles pour pallier les faiblesses de la mémoire vive (28). Cette vision décrit le monde futur comme un « super organisme » associant l'intelligence humaine et celle des machines en liant tous les objets connectés et leurs utilisateurs (28).

Un changement de paradigme vers une économie de flux

L'ère numérique a permis à un nouveau modèle d'affaires de se développer centré autour des plateformes numériques, offrant la place à une économie basée sur le principe d'usage plutôt que sur le principe de propriété (28). Ce changement de paradigme économique permettrait aux utilisateurs de mettre en vente leurs compétences, biens, ou expérience à une échelle jusque-là inaccessible pour des individus ou des petites entreprises (29). De ce point de vue, les plateformes numériques sont en train de retirer le pouvoir économique entretenu par les institutions traditionnelles telles que les hôtels ou les taxis (dans le cas d'Airbnb ou d'Uber), mais d'un autre côté, l'utilisation croissante des plateformes est en train de générer une nouvelle forme de concentration de pouvoir dans les mains de leurs opérateurs (29).

La multiplication de synergies technologiques

La progression des performances de l'intelligence artificielle et des différentes applications numériques pourrait provoquer des bouleversements dans de nombreux domaines à travers leurs combinaisons. Par exemple, la *blockchain* décentralisée et l'IA centralisatrice pourraient ensemble conduire à des organisations à intelligence décentralisée (30) tandis que la mise en commun de l'IA et de la réalité virtuelle pourrait bientôt faire du téléphone intelligent un remplaçant des magasins physiques (31). Cette dernière tendance s'inscrirait dans la continuité du développement du commerce en ligne, qui progresse sans arrêt depuis son apparition. Cet effet de synergie est également constaté par les Shifters Montréal qui montrent les liens d'interrelation entre les différentes technologies numériques. Ainsi, les mégadonnées (big data) permettent de développer l'IA et la chaîne de blocs (*blockchain*), qui, couplés à la 5G, rendent possible l'Internet des objets, essentiel pour développer la ville intelligente. Ces applications finales produisent ensuite à leur tour des données additionnelles pour nourrir les IA et autres secteurs des mégadonnées (9).

Un prolongement de l'ancien monde pour le financement du secteur

En ces temps d'incertitude économique, il aurait pu être attendu que les géants de la tech subissent une perte de revenu en lien avec la baisse des dépenses publicitaires lors de l'année 2020. Or, tous ont augmenté leur chiffre d'affaire durant les neuf premiers mois de l'année 2020 : celui d'Alphabet (Google) a augmenté de 9 %, celui d'Apple de 4 %, 17 % pour Facebook, 13 % pour Microsoft et 35 % pour celui d'Amazon (32). Il semblerait que le modèle économique de ces géants ne connaisse pour le moment pas de frein visible à l'horizon.

ON POURRAIT MÊME IMAGINER...

La diffusion de la pensée low-tech

Les défenseurs des *low-tech* (« basses technologies ») s'inscrivent dans un rejet à l'idéologie du progrès technique et en particulier de la prolifération des périphériques numériques (33). Cette démarche consiste à s'interroger sur les besoins de la société, et d'y répondre par des solutions qui minimisent l'énergie requise à la production et à l'usage, diminuent significativement la consommation de matières et les impacts sur l'environnement, tout en redonnant aux utilisateurs de l'autonomie et de la maîtrise sur les outils (34). Une démarche *low-tech* en vient à se demander (33) : pourquoi produit-on? Que produit-on? Comment produit-on? Encore relativement peu nombreux en dehors des groupes militants, les défenseurs de la pensée *low-tech* offrent des solutions concrètes pour mettre en place une forme de frugalité numérique pour limiter son empreinte et changer notre rapport à la technique.

La montée en popularité des données ouvertes et des communs numériques

Défini par l'*Open Knowledge Foundation* en 2005, le mouvement des données ouvertes (« *open data* » en anglais) désigne des données auxquelles tout le monde a accès, et que n'importe qui peut utiliser ou partager. Celles-ci reposent sur la disponibilité et l'accès, la réutilisation et la redistribution, ainsi que la participation universelle (35). Le mouvement souhaite aller à l'encontre des pratiques des grands acteurs du numérique, et essaie souvent d'en reproduire les services pour fournir une version plus transparente et accessible. Cette philosophie se retrouve au cœur de la conception de communs numériques, qui désignent des ressources produites ou entretenues collectivement et gouvernées pour assurer leur caractère collectif et partagé (35). À l'inverse des communs traditionnels, l'usage des communs numériques par les uns ne limite pas l'accès aux autres, rendant ainsi la ressource non rivale et non exclusive. C'est cette particularité qui rend les communs numériques attractifs à grande échelle, car ils gagnent à être partagés pour augmenter la valeur de la ressource et étendre la communauté qui la préservera (35). On retrouve des communs numériques basés sur les données ouvertes dans une diversité de secteurs : le système d'exploitation Linux, le navigateur Internet Firefox ou encore l'encyclopédie en ligne Wikipédia mais aussi OpenFoodFact qui constitue une base de données libre sur les produits alimentaires commercialisés dans le monde.

COMMENT ARRIVERA-T-ON À GÉRER LES RESSOURCES PLANÉTAIRES NÉCESSAIRES À LA TRANSITION NUMÉRIQUE ?

ON CONSTATE...

L'innovation numérique, outil et défi pour la transition écologique

Les gouvernements provincial et fédéral s'appuient en grande partie sur la transition numérique pour remplir leurs objectifs de réduction d'émissions de GES. « L'accélération de la transformation numérique des entreprises vers de nouvelles technologies » est par exemple l'un des piliers du Plan d'action provincial (36). De la même manière, Hydro-Québec compte sur les incidences positives de la transformation numérique pour « répondre aux nouveaux défis du secteur énergie face aux changements climatiques » (10). Or, si certaines technologies numériques ont un potentiel de gain environnemental important, ce n'est pas le cas de toutes. Il arrive que le coût environnemental de la technologie numérique elle-même ou des effets indirects (et rebond) qu'elle génère dépasse l'économie d'énergie réalisée. Selon The Shift Project, si le gain net n'est pas toujours évident, c'est en partie car le système d'innovation manque d'un protocole de caractérisation des conditions de déploiement des technologies numériques qui les rendent pertinentes d'un point de vue environnemental (18).

Une importante consommation de la part des Canadiens...

Un Canadien moyen consommait 1000 Go de données en 2019, soit trois fois plus que la moyenne mondiale. Chacun possède environ une dizaine d'appareils numériques, en remplace deux chaque année par du neuf et génère ainsi 4,3 kg de déchets numériques. On observe ainsi un taux de renouvellement moyen très rapide, de l'ordre de 4 ans pour les ordinateurs et de 1,5 an pour les téléphones intelligents. On compte actuellement 8 millions d'objets connectés au Québec et 34 millions au Canada. Et ce nombre est en forte croissance : en intégrant les capteurs de l'Internet des Objets, il pourrait être multiplié par 10 d'ici 2025. De manière générale, on constate que le numérique prend une place de plus en plus centrale dans la vie des Canadiens et des Québécois. La crise sanitaire de la COVID-19 a d'autant plus renforcé cette tendance : le confinement, le télétravail ou encore l'école à la maison ont contribué à l'augmentation du temps passé devant un écran, et à la perception de nécessité des outils numériques dans les tâches du quotidien (10).

... qui génère des impacts environnementaux conséquents et méconnus

En Canada, en 2020, le numérique se résume par 20 millions de tonnes de CO2 émises, 160 milliers de tonnes de déchets électroniques, et 55 milliers de tonnes de métal (soit deux fois la moyenne mondiale). L'énergie finale du numérique se répartit entre l'utilisation (60 %) et la fabrication des équipements 40 %. 70% de celle-ci est attribuable aux appareils utilisateurs (pour la production et l'utilisation), le reste se divise entre les réseaux et les centres de données (10). À l'échelle mondiale, la production et l'utilisation du système numérique sont responsables d'environ 4 % des émissions carbonées (soit deux fois plus que le transport aérien civil) (18). Enfin, les équipements numériques font partie des produits manufacturés qui ont l'intensité en matière première la plus forte. Pour un téléphone intelligent de 150g, 183 kg de matières premières sont nécessaires à mobiliser en amont (37). Pour une puce électronique de 2g, il faut

en moyenne 32 kg de matières premières, soit 16 000 fois son poids final (37). Or, beaucoup d'utilisateurs voient le secteur sous l'angle de la dématérialisation et pensent que celle-ci s'accompagne automatiquement d'une réduction des impacts environnementaux. Chaque service numérique s'appuie de fait sur des infrastructures physiques (terminaux, infrastructures, réseaux) et induit donc une consommation d'énergie et de matière, elles-mêmes liées à des émissions carbonées. Si l'implantation de TIC peut permettre une réduction de l'énergie consommée ou des GES émis dans certains cas, cela n'est pas systématique. En effet, il arrive bien souvent que la dématérialisation ou l'optimisation d'un produit/service conduise à une augmentation de son usage, et ainsi de son impact environnemental. La popularisation du *streaming* vidéo a, par exemple, conduit à une hausse spectaculaire de la consommation de films et de séries télévisées, ainsi que de l'intensité énergétique associée (taille de l'écran, format de la vidéo), menant alors à une augmentation de l'empreinte énergétique globale (38).

Une forte dépendance énergétique du système aux énergies fossiles

Le système de production et de consommation global actuel est encore fortement dépendant des énergies fossiles pour assurer son fonctionnement. En effet, en 2018, plus de 80 % de la consommation énergétique mondiale était d'origine fossile (le pétrole représente 32 %, le charbon 27 % et le gaz naturel 22 %) (39). Jusqu'à présent, les nouvelles énergies renouvelables (photovoltaïque et éolienne) ne sont pas parvenues à remplacer les sources d'énergies fossiles et se sont, au contraire, ajoutées aux autres sources d'énergie dans la consommation mondiale (40). Au Québec, près de 50 % du mix énergétique est issu de sources fossiles (35 % pour le pétrole, 14 % pour le gaz naturel et 0,8 % pour le charbon) malgré une forte capacité hydroélectrique (41). Pour le moment, la transition numérique se déploie donc en grande partie grâce à des sources d'énergies non soutenables, qui aggravent les changements climatiques et présentent des risques de pénuries ponctuelles ou prolongées.

Une forte demande en métaux

Le déploiement de la transition numérique dépend entièrement de l'accès à des quantités importantes de matières et de métaux tels que le cuivre, le lithium, le manganèse, le nickel, le cobalt ou encore les terres rares pour construire les infrastructures de télécommunication, les centres de données et les équipements numériques. Il faudrait environ une quarantaine de métaux différents pour fabriquer un téléphone intelligent, chacun dans des quantités allant de quelques milligrammes à quelques dizaines de grammes (42). Ces métaux sont nécessaires pour leurs propriétés optiques, catalytiques, chimiques, et semi-conductrices qui les rendent très difficiles à substituer (43). Or les quantités de métaux disponibles dans la croûte terrestre ne sont pas infinies. En mai 2020, l'Agence Internationale de l'Énergie publiait une étude visant à alerter des risques majeurs d'approvisionnement de matières premières stratégiques à venir (44).

Une gestion de fin de vie difficile

La gestion de fin de vie des périphériques numériques est pour le moment un problème auquel peu de solutions ont été apportées. En 2018, sur les 50 millions de tonnes de déchets électriques et électroniques générés dans le monde, seuls 20 % étaient identifiés comme ayant été pris en charge par une filière de recyclage autorisée (42). Et même une fois pris en charge, la petite taille des composantes utilisées et les mélanges d'alliages réalisés rendent le recyclage extrêmement ardu : pour l'indium, le gallium, le tantale et le germanium, le taux de recyclage est inférieur à 1 % (42). Les déchets électroniques qui ne sont pas recyclés sont enfouis, entreposés dans des décharges en plein air ou incinérés, et provoquent des problèmes sanitaires et environnementaux en contaminant les sols, les cours d'eau et les nappes phréatiques (33). Le faible taux de récupération renforce la problématique des métaux, car la

fabrication des appareils et infrastructures numériques dépend ainsi de l'extraction constante de nouvelles ressources.

ON OBSERVE ET ON PRÉVOIT...

Une explosion du nombre d'équipements et du trafic numériques...

Tous les indicateurs pointent vers une démultiplication du nombre d'équipements numériques au cours des prochaines années, portée par la généralisation des objets connectés et de l'informatique embarquée (robots ménagers, voitures etc.). On prévoit ainsi 65 milliards d'équipements numériques en 2025, dont 48 milliards d'objets connectés (48x plus qu'en 2010) (37). Au Canada, le nombre d'objets connectés pourrait doubler entre 2020 et 2025, en lien avec le développement des « villes intelligentes » pour lesquelles le pays a consacré 124 G\$ de financement en 2020, chiffre qui pourrait passer à 150 G\$ dès 2022 (10). Le trafic de données (responsable de plus de la moitié de l'impact énergétique mondial du numérique) connaît actuellement une croissance de plus de 25 % par an, portée à 80 % par les flux vidéo (37). Enfin, la pandémie de COVID19 semble agir comme point de bascule pour la numérisation des activités professionnelles vers un monde plus connecté. Une récente étude de BNP Paribas 3 Step IT confirme l'accélération de la transformation digitale des entreprises, en montrant notamment que 84 % des entreprises européennes ont acheté de nouveaux équipements pour le travail à distance et que 60 % prévoient de permettre à leurs collaborateurs de continuer à travailler depuis leur domicile (45).

... et des indicateurs environnementaux associés

Selon *The Shift Project*, la part du numérique dans les émissions mondiales de GES va continuer d'augmenter au cours des prochaines années dans tous les cas, et ce, même si d'importants efforts de sobriété sont mis en œuvre (celle-ci pourrait représenter entre 4.8% et 8% en 2025 selon les scénarios envisagés) (18). Ces trajectoires sont à mettre en perspective avec les objectifs climatiques internationaux. En effet, le respect des accords de Paris nécessite une diminution des émissions mondiales d'au moins 5% par an. Or, pour le moment les émissions mondiales continuent d'augmenter malgré la numérisation intensive de nos activités.

Une consommation énergétique à la hausse

L'empreinte énergétique du numérique suit une trajectoire insoutenable : elle est actuellement en progression de 9 % par an, notamment à cause de l'explosion des usages vidéo et de la multiplication des périphériques numériques fréquemment renouvelés (39). Par ailleurs, l'intensité énergétique de l'industrie numérique augmente de l'ordre de 4 % par an, ce qui va à contre-courant de l'intensité énergétique du PIB mondial qui elle baisse de 1,8 % par an (39). Si les tendances ne sont pas infléchies, la consommation énergétique du secteur risque d'exploser à l'avenir. Il est estimé qu'entre 2010 et 2025, le nombre d'équipements numériques aura quintuplé et que son empreinte environnementale aura été multipliée par deux à trois fois (37). En dehors de l'augmentation du nombre d'utilisateurs, l'augmentation de la facture énergétique du numérique sera principalement liée :

- aux objets connectés, dont le nombre sera multiplié par 48 entre 2010 et 2025;
- au doublement de la taille des écrans entre 2010 et 2025;
- au tassement des gains en matière d'efficacité énergétique;
- et à l'équipement des pays émergents, dont l'électricité est souvent de source carbonée (37).

Des gains énergétiques insuffisants

L'efficacité énergétique des périphériques numériques a fait d'énormes progrès depuis la mise sur le marché des premiers produits : en suivant la loi de Koomey, on observe que la quantité d'énergie dont une machine a besoin pour effectuer un nombre donné de calculs a diminué d'un facteur deux chaque année et demie. En d'autres termes, le nombre de traitements (capacité) par joule (quantité d'énergie) a doublé presque systématiquement tous les 18 mois. Or, les gains d'efficacité énergétique (notamment sur la phase d'utilisation) ont connu un ralentissement au cours des dernières années et ne compensent plus la hausse continue du bilan énergétique du secteur (37). Par exemple, l'efficacité énergétique des centres de données progresse en moyenne de 15 % à 20 % par an mais le volume de données à traiter augmente de 35 % par an (42). D'ailleurs, il semblerait que les technologies actuelles approchent de leurs limites et que les perspectives de technologies futures (comme les processeurs quantiques par exemple) d'être industrialisées à courte échéance soient faibles (42). Ainsi, malgré des progrès indéniables dans la consommation relative, le numérique devrait consommer 3 fois plus d'énergie en 2025 qu'en 2010.

Des tensions géopolitiques autour des ressources clés

Les projections de la demande en matières stratégiques, notamment les métaux, laissent à penser que la géopolitique sera un facteur structurant dans les prochaines décennies. En effet, la demande pour le lithium devrait tripler d'ici à 2025, celle du cuivre devrait augmenter de 20 % et celle du cobalt pourrait augmenter de 60 à 100 % sur la même période. À l'échelle planétaire, on observe de nouvelles stratégies d'acquisition de la part de puissances économiques qui jouent leurs cartes afin d'accaparer les marchés en expansion pour les technologies basses carbone ayant vocation à devenir les piliers des systèmes énergétiques de demain. Or, la disponibilité de ces métaux est concentrée dans un nombre limité de pays qui attirent l'attention des grandes puissances économiques : Argentine, Bolivie, Russie, Afrique du Sud, Kazakhstan, Brésil, République démocratique du Congo. Au cours des dernières années, l'investissement minier s'est plus particulièrement concentré sur l'Amérique latine et l'Afrique. Cette situation a favorisé la concentration des activités aux mains d'entreprises chinoises qui dominent souvent l'extraction et le raffinage des métaux critiques et terres rares. Ainsi, cinq entreprises se partageraient 90 % de la production mondiale de lithium, dont trois sont chinoises ou à capitaux chinois. La disponibilité des ressources de la transition risque de devenir un enjeu géopolitique majeur, et de générer des tensions dans un contexte de rivalités économiques et technologiques (43).

Un tarissement des réserves d'hydrocarbures

Selon l'Agence Internationale de l'Énergie, le pic de pétrole conventionnel aurait été atteint en 2008 et la production aurait depuis décru de 2,5 millions de barils par jour, représentant une chute annuelle de l'ordre de 2,5 % (46). Or, la production de pétrole mondiale a continué à augmenter sur la même période, soutenue par la production de pétrole dit « non conventionnel », tel que les sables bitumineux d'Alberta ou le pétrole de schiste américain. Cependant, le pétrole non conventionnel est par définition plus difficile à extraire et n'offre qu'un décalage temporel du déclin de la production. Tous types de pétroles confondus, il semblerait que le maximum historique de production ait été atteint en fin d'année 2018 et décroîtrait depuis (47). En parallèle, les puits déjà en production seraient en baisse de 6 % par an, et doivent ainsi être remplacés par de nouveaux puits pour compenser ce déclin. Étant donné la dépendance du système économique à l'approvisionnement en hydrocarbures, les signes énergétiques pointent à des contractions économiques importantes au cours des prochaines de la prochaine décennie (47).

ON POURRAIT MÊME IMAGINER

La généralisation de la sobriété numérique

À contre-courant de l'augmentation perpétuelle des usages, certains militent pour une forme de sobriété numérique afin de réduire autant que possible la facture environnementale du secteur. Au niveau individuel, la sobriété numérique consisterait à allonger la durée de vie de ses périphériques au lieu de les remplacer, et de repenser ses usages en fonction de leur impact environnemental. Selon les experts du Shift Project, « la sobriété numérique consiste à passer d'un numérique instinctif à un numérique réfléchi » (18). L'organisme propose également des cadres opérationnels pour mettre en place la sobriété numérique au sein des stratégies de politiques publiques, dans l'entreprise et dans les systèmes d'usages du domaine privé. Dénonçant le solutionnisme technologique très présent dans l'industrie, les experts soutiennent notamment que l'introduction d'une technologie numérique, même dans le but de produire des gains environnementaux, devrait faire l'objet d'une réflexion a priori. Appliquée aux outils numériques eux-mêmes, la sobriété pourrait se retrouver dans la conception (poids et design de sites Internet, objets utilisant des matériaux disponibles localement) et l'énergie nécessaire pour les faire fonctionner. On pourrait par exemple imaginer des systèmes d'IA avec une faible puissance de calcul et qui se basent sur un nombre limité d'exemples pour s'entraîner. Avec un certain nombre de mesures, le *think tank* propose un scénario sobre qui « démontre qu'il est possible d'infléchir une première fois la dynamique du numérique sans pour autant remettre en cause le principe même de la transition numérique » (18).

Le déploiement de l'économie circulaire

Afin de proposer une alternative au schéma linéaire de production et de consommation qui prévaut depuis la révolution industrielle basé sur l'extraction de matières premières naturelles et les déchets en fin de vie de produits, certains économistes appellent à la transition vers une économie circulaire. L'économie circulaire vise à découpler la croissance économique de l'épuisement des ressources naturelles, notamment par la création de produits, services, modèles d'affaires et politiques publiques innovants et pensés sur une perspective de temps long (48). Le modèle repose sur la création de cycles d'utilisation et de réutilisation de la matière ou du produit avant la destruction finale et met l'accent sur le changement des modes de conception de produits (48). Appliquées au numérique, les stratégies de circularité dépendent notamment de la conception des périphériques : il s'agit alors de créer des équipements qui sont facilement démontables et réparables par les utilisateurs en utilisant des pièces identifiables et détachables pour étendre la durée de vie des équipements et favoriser la prise en charge et la réutilisation des pièces et des matériaux qu'ils contiennent. L'entreprise néerlandaise Fairphone qui conçoit des téléphones intelligents suivant des principes de circularité a vendu un peu plus de 100 000 unités en Europe depuis leur commercialisation en 2013 (49).

La mise en place de politiques de décroissance

Face aux externalités environnementales et sociales de la poursuite de la croissance économique, certains appellent à mettre en place une décroissance anticipée afin de réduire la dépendance du système socioéconomique aux énergies fossiles et à l'idéologie du progrès. Le concept de décroissance relève d'une démarche volontaire dans laquelle la richesse économique produite n'augmenterait pas, voire diminuerait. Sous le slogan « moins de bien, plus de liens » les partisans de la décroissance appellent notamment à prendre conscience des limites planétaires dont la finitude des ressources et défendent que seule une réduction de la production et de la consommation globales pourrait rendre les trajectoires futures souhaitables et soutenables (50).

RÉFÉRENCES

1. Sauvajol-Riolland, C. (2014). Infobésité, gros risques et vrais remèdes. *L'Expansion Management Review*, (1), 110-118.
2. Commission de l'éthique en science et en technologie (2018). L'accès à Internet haute vitesse est-il un droit fondamental au XXI^e siècle? Repéré à <https://www.ethique.gouv.qc.ca/fr/ethique-hebdo/eh-2018-09-21/>
3. Ministère de l'Économie et de l'Innovation (s.d.). Programme Québec haut débit. Repéré à <https://www.economie.gouv.qc.ca/fr/bibliotheques/programmes/aide-financiere/programme-quebec-haut-debit/>
4. Commission de l'éthique en science et en technologie (2018). La ville intelligente au service du bien commun – lignes directrices pour allier l'éthique au numérique dans les municipalités au Québec.
5. Bakshy, E., Messing, S., et Adamic, L. A. (2015). Exposure to ideologically diverse news and opinion on Facebook. *Science*, 348(6239), 1130-1132
6. Gouvernement du Canada. (2019). La haute vitesse pour tous : la stratégie canadienne pour la connectivité.
7. Gouvernement du Québec (2019). Programme Québec branché 2018 – Bilan de mi-parcours. Repéré à <https://www.quebec.ca/gouv/ministere/economie/publications/evaluation-programmes-normes/bilan-mi-parcours-quebec-branche-2018/>
8. Ministère de l'Économie et de l'Innovation (MEIE). (2019). Québec haut débit. Repéré à <https://www.economie.gouv.qc.ca/bibliotheques/programmes/aide-financiere/quebec-haut-debit/>
9. Pinsard, M. et al., (2020). Montréal, le Québec, le Canada : numérique à quel point? Premier rapport du projet DiagnostiC.
10. Pinsard, M. et Toussaint, J. (2020) L'impact environnemental du numérique au Québec et au Canada. 2^{ème} rapport du projet DiagnostiC.
11. Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement Supérieur (MEES). (2018). *Plan d'action numérique en éducation et en enseignement supérieur*. Repéré à http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/ministere/PAN_Plan_action_VF.pdf
12. Pingeot, M. (2017, 20 janvier). Pour mieux saisir la post-vérité, re-lire Hannah Arendt. *The Conversation*. Repéré à <https://theconversation.com/pour-mieux-saisir-la-post-verite-relire-hannah-arendt-71518>
13. Valadier, P. (2017). Pêril en démocratie: la post-vérité. *Études*, (5), 55-64.
14. Fabre, M. (2019). Education et (post) vérité. L'épreuve des faits. Paris, France : Éditions Hermann.
15. Christian, J. (2018, 1 février). Experts fear face swapping tech could start an international showdown. *The Outline*. Repéré à <https://theoutline.com/post/3179/deepfake-videos-are-freaking-experts-out?zd=1&zi=k4g6r43j>
16. Barzman, M., Gerphagnon, M., Mora, O., Aubin-Houzelstein, G., Benard, A., Martin, C., ... et Hodson, S. (2019). Transition numérique et pratiques de recherche et d'enseignement supérieur en agronomie, environnement, alimentation et sciences vétérinaires à l'horizon 2040.
17. Harari, Y. N. (2016). Homo Deus : A brief history of tomorrow. Random House.
18. The Shift Project. (2020). Déployer la sobriété numérique. Repéré à <https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2020/01/2020-01.pdf>
19. Agence France Presse. (2018, 3 mars). Publicité : la « position écrasante » de Google et Facebook scrutée par l'Autorité de la concurrence. *Le Point*. Repéré à https://www.lepoint.fr/high-tech-internet/publicite-en-ligne-la-position-ecrasante-de-google-et-facebook-examinee-06-03-2018-2200122_47.php
20. Chevré, C. (2019, 11 février). Gafam vs Batx : « Pour les gouverner tous ». *Magazine décideurs*. Repéré à <https://www.magazine-decideurs.com/news/gafam-vs-batx-pour-les-gouverner-tous>
21. The Shift Project. (2019). Climat : l'insoutenable usage de la vidéo en ligne. Repéré à <https://theshiftproject.org/article/climat-insoutenable-usage-video/>
22. Accenture Security. (2019). *The cost of cybercrime*. Repéré à https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-96/Accenture-2019-Cost-of-Cybercrime-Study-Final.pdf#zoom=50
23. Gartner. (2019). Gartner Forecasts Worldwide Information Security Spending to Exceed \$124 Billion in 2019. Repéré à <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2018-08-15-gartner-forecasts-worldwide-information-security-spending-to-exceed-124-billion-in-2019>
24. Péloquin, T. et Pilon-Larose, H. (2019, 2 novembre). Vol de données chez Desjardins : 4,2 millions de victimes. *La Presse*. Repéré à <https://www.lapresse.ca/actualites/justice-et-faits-divers/2019-11-02/vol-de-donnees-chez-desjardins-4-2-millions-de-victimes>
25. Couturier, C. (2020). Ville intelligente, ville durable? *Le Devoir*. Repéré à <https://www.ledevoir.com/societe/science/588631/ville-intelligente-ville-durable>
26. Institut de développement de produits (2018). Dossier Impression 3D – Volet 5 – L'impression 3D, au-delà des aspects techniques!
27. Zuboff, S. (2019). The age of surveillance capitalism: The fight for a human future at the new frontier of power. Londres, Royaume-Uni : Profile Books.
28. Kelly, K. (2017). The inevitable: understanding the 12 technological forces that will shape our future. New York, NY : Penguin.
29. Future Earth. (2020). The D²S Agenda Research, Innovation, Action. Repéré à <https://sustainabilitydigitalage.org/>
30. Corea, F. (2019). The convergence of AI and blockchain. In *Applied Artificial Intelligence: Where AI Can Be Used In Business* (pp. 19-26). Springer, Cham.
31. Portnoff, A. Y., Soupizet, J. F. (2018). Artificial intelligence: Opportunities and risks. *Futuribles*, (5), 5-26.
32. Richter, F. (2020). Tech Giants Shrug Off COVID-19 Crisis. Repéré à <https://www.statista.com/chart/21584/gafam-revenue-growth/>
33. Bihouix, P. (2014). L'Âge des low-tech : vers une civilisation techniquement soutenable. Paris, France : Le Seuil
34. La Fabrique Écologique. (2019). Vers des technologies sobres et résilientes : pourquoi et comment développer l'innovation « low-tech »?. Repéré à <https://www.lafabriqueecologique.fr/app/uploads/2019/03/technologies-sobres-et-r%C3%A9silientes.pdf>
35. Open Knowledge Foundation. (s. d.). What is open?. Repéré à <https://okfn.org/opendata/>

36. Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. (s.d.). Plan d'action de développement durable 2015-2020 du Ministère. Repéré à <http://www.environnement.gouv.qc.ca/ministere/plandd/index.htm>
37. Bordage, F. (2019). Empreinte environnementale du numérique mondial. Repéré à https://www.greenit.fr/wp-content/uploads/2019/10/2019-10-GREENIT-etude_EENM-rapport-accessible.VF_.pdf
38. Court, V. et Sorrell, S. (2020) Digitalisation of goods: a systematic review of the determinants and magnitude of the impacts on energy consumption.
39. The Shift Project. (2018). Lean ICT – Pour une sobriété numérique. Repéré à <https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2018/11/Rapport-final-v8-WEB.pdf>
40. York, R., Bell, S. E. (2019). Energy transitions or additions?: Why a transition from fossil fuels requires more than the growth of renewable energy. *Energy Research & Social Science*, 51, 40-43.
41. Whitmore, J. et Pineau, P.O. (2020). État de l'énergie au Québec 2020. Chaire de gestion du secteur de l'énergie, HEC Montréal, préparé pour Transition énergétique Québec.
42. Ferreboeuf, H. (2018). Pour une sobriété numérique. *Futuribles*, (429), 15-31
43. Eyl-Mazzega, M. A., et Mathieu, C. (2020). Transition énergétique: Chine, États-Unis et Union européenne. *Futuribles*, (3), 55-66
44. Agence internationale de l'énergie (AIE). (2020). Clean energy progress after the Covid-19 crisis will need reliable supplies of critical minerals. Repéré à <https://www.iea.org/articles/clean-energy-progress-after-the-covid-19-crisis-will-need-reliable-supplies-of-critical-minerals>
45. BNP Paribas 3 Step IT. (2020). The State of Business IT 2020 – Exploring the IT trends and challenges for businesses in 2020 and beyond. Repéré à https://bnpparibas-3stepit.fr/wp-content/uploads/sites/4/2020/10/BNP-Paribas-3-Step-IT-State-of-Business-IT-2020-report_compressed.pdf
46. Agence internationale de l'énergie (AIE). (2018). World energy outlook 2018. Repéré à <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2018>
47. Jancovici, J.-M. (2019, 30 juillet). *Cours des mines 2019* [Vidéo en ligne]. Repéré à <https://www.youtube.com/watch?v=xgy0rW0oaFI>
48. Institut National de l'Économie Circulaire. (s. d.). L'économie circulaire. Repéré à <https://institut-economie-circulaire.fr/economie-circulaire/>
49. Anderson, T. (2019, 27 août). Want an ethical smartphone? Fairphone 3 is on the way. *The register*. Repéré à https://www.theregister.com/2019/08/27/fairphone_3/
50. Abraham, Y.-M. (2020). Guérir du mal de l'infini : produire moins, partager plus, décider ensemble. Montréal, Québec : Écosociété.