ONU programme pour l'environnement 1972-2022

NOTE Prospective 027

Novembre 2021

Alerte précoce, problèmes émergents et perspectives d'avenir

L'empreinte croissante de la numérisation

Contexte

Les Foresight Briefs (notes prospectives) sont publiées par le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) afin de mettre en lumière un point chaud du changement environnemental, de présenter un sujet scientifique émergent ou de discuter d'une question environnementale actuelle. Le public peut ainsi découvrir ce qui se passe dans son environnement en mutation et les conséquences de ses choix quotidiens. Elles permettent aussi de réfléchir aux orientations futures des politiques. La 27e édition des notes prospectives du PNUE explore les impacts environnementaux de l'utilisation d'Internet et la numérisation croissante de l'économie. Elle décrit certains des facteurs d'atténuation qui peuvent être mis en place pour que le monde numérique de demain soit plus respectueux de l'environnement.

Résumé

Depuis 2010, le nombre d'utilisateurs d'Internet a doublé à l'échelle de la planète et le trafic Internet mondial a été multiplié par 12. On parle souvent des services numériques dont nous profitons comme des « technologies dématérialisées ». Est-ce réellement le cas ? Les ordinateurs, les serveurs et les appareils électroniques mobilisent de grandes quantités de ressources naturelles. L'énergie nécessaire à leur fonctionnement émet de grandes quantités de CO_2. De plus, l'obsolescence programmée et le faible pourcentage de recyclage dans le domaine génèrent des déchets d'équipements électriques et électroniques. L'écrasante majorité des données qui se situent dans le cloud ne sont pas utilisées. Sans nier les nombreux avantages qu'offrent ces technologies, y compris pour l'environnement, les utilisateurs, les fournisseurs de services et les responsables politiques doivent comprendre les répercussions qu'elles ont et les stratégies qu'il est possible de mettre en place pour rendre les technologies numériques plus respectueuses de l'environnement.

Introduction

Au cours de la décennie passée, l'importance d'Internet et des technologies numériques associées dans nos vies personnelles et professionnelles a augmenté de manière exponentielle. Nos vies quotidiennes sont désormais structurées autour du cloud. Les musiques, les photos, les films, les courriels, les documents et les réseaux sociaux sont stockés sur des serveurs à distance, auxquels nous pouvons accéder instantanément depuis n'importe quel ordinateur ou téléphone portable, et ce, où que nous soyons sur la planète. Par ailleurs, la plupart de nos transactions économiques sont désormais numériques. On estime que 60 % du PIB mondial sera numérique d'ici la fin de 2022 et que 70 % de la nouvelle valeur créée dans l'économie au cours de la prochaine décennie s'appuiera sur des plateformes numériques (Forum économique mondial, 2019).

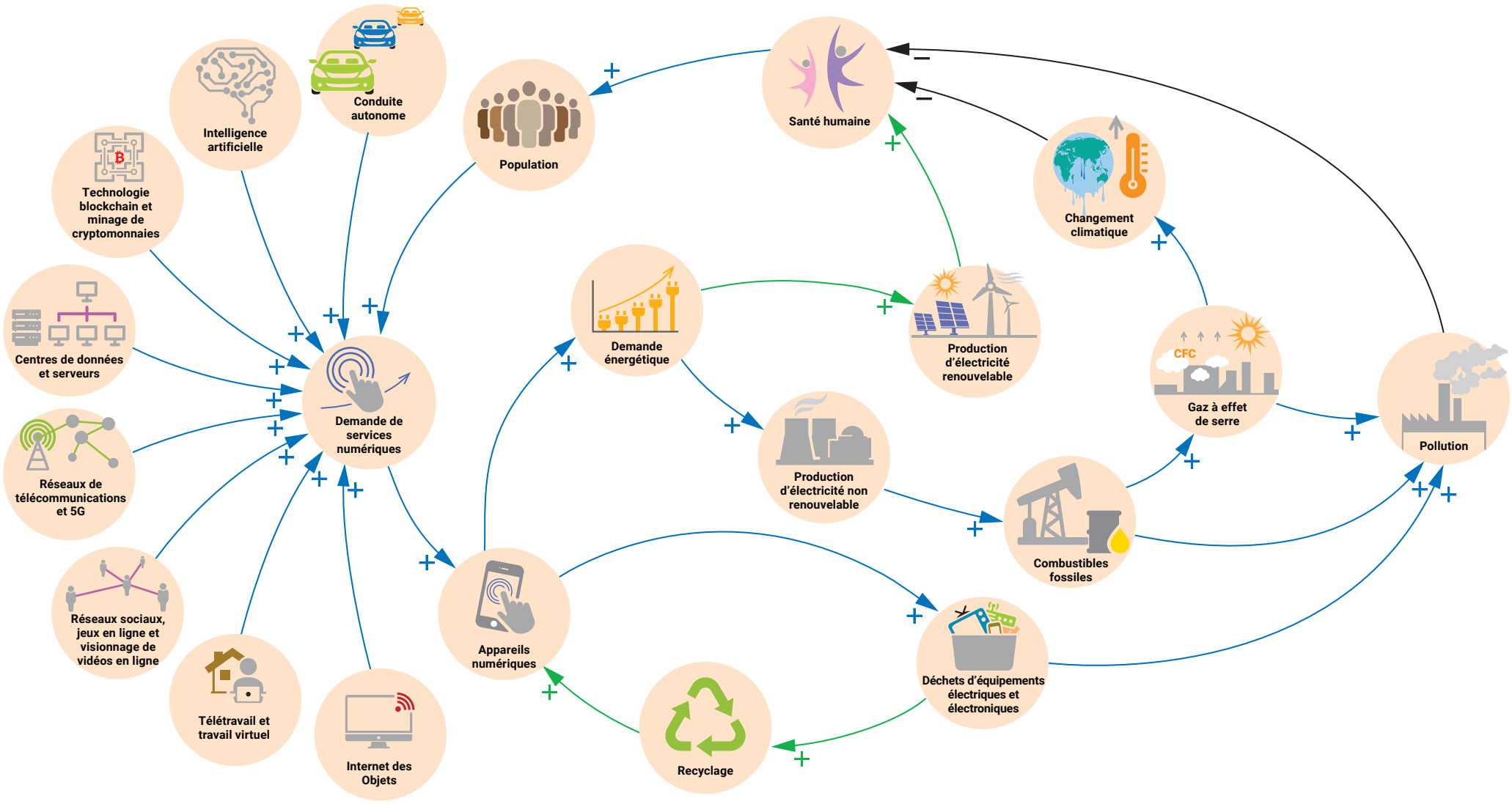
Si la moitié de la population n'a pas de présence en ligne (Secrétaire général des Nations Unies, 2020), on recense désormais 4,2 milliards d'utilisateurs des réseaux sociaux dans le monde. À ce jour, 5,2 milliards de personnes utilisent un téléphone portable, ce qui en fait l'appareil le plus utilisé pour accéder à Internet dans le monde (Kemp, 2021). Depuis 2010, le nombre d'utilisateurs d'Internet a doublé à l'échelle de la planète et le trafic Internet mondial a été multiplié par 12 (Agence internationale de l'énergie [AIE] 2020). Plus de la moitié de la population mondiale (soit 4,7 milliards de personnes) a utilisé Internet en 2020, dont un million de nouveaux utilisateurs chaque jour.

La pandémie de COVID-19 a donné un coup d'accélération à la transformation numérique. Notre résilience face à cette crise s'est principalement appuyée sur les technologies numériques, notamment l'élaboration des vaccins, la modélisation des risques et le traçage des contacts. De nombreux employeurs et établissements éducatifs ont également basculé vers une approche en ligne, les outils de visioconférence devenant la norme dans la plupart des pays développés à des fins professionnelles et scolaires, ainsi que pour rester en contact avec ses proches.

Crédit photo : Belen Desmaison

Les évolutions numériques qui ont vu le jour sont remarquables, si l'on tient compte de la courte durée qu'il a fallu pour les mettre en œuvre d'un point de vue technique. Toutefois, elles ne sont pas sans coût. En effet, la production d'équipements et l'électricité nécessaire pour alimenter cette explosion d'Internet laissent une empreinte environnementale de taille. L'économie numérique présente des opportunités de diminution de nos impacts environnementaux, comme en cessant de prendre l'avion et en rejoignant une conférence par le biais des outils de visioconférence (voir PNUE, 2019a ; PNUE, 2020). Comment pouvons-nous commencer à agir pour que le monde numérique de demain soit plus respectueux de l'environnement ? Telle est la question à laquelle nous répondons ici.

Une perspective de pensée systémique



La demande de services numériques encourage la production et l'approvisionnement des appareils numériques, ce qui crée une augmentation de la demande énergétique. La production d'électricité par le biais d'énergies fossiles qui polluent et augmentent les émissions de gaz à effet de serre aggravera les effets des changements climatiques, qui auront à leur tour des répercussions négatives sur la santé des êtres humains. Si les appareils numériques sont fabriqués et alimentés par des sources d'énergie renouvelable et sont dotés de composants recyclables comme les batteries, ils contribueront à l'amélioration de la santé des êtres humains par la réduction de la pollution et des effets des changements climatiques. Cette approche renforce une demande durable des services numériques. (+) L'influence va dans la même direction, (-) l'influence va dans la direction inverse.

Pourquoi ce problème est-il crucial ?

Le trafic Internet suit une croissance exponentielle, 2020 étant une année exceptionnelle, car le trafic Internet mondial a augmenté de près de 40 % en raison de la première vague de l'épidémie de COVID-19. Cette tendance s'amplifiera à mesure que la fracture numérique se résorbera. Cette croissance s'explique par le passage au télétravail et le bond de la demande d'outils de visioconférence, de jeux en ligne, de vidéos et de réseaux sociaux. Bien qu'ils soient difficiles à quantifier, ces changements ont bel et bien réduit la demande de mobilité et les émissions associées, mais quelle est l'empreinte environnementale de la technologie en elle-même ?

Cette question n'appelle pas une réponse simple, car cela dépend de nombreux facteurs, y compris la manière dont l'électricité utilisée pour la production et l'utilisation d'équipements numériques est produite, c'est-à-dire à partir de sources d'énergie renouvelable ou de centrales thermiques. Voici quelques chiffres : une recherche en ligne émet en moyenne environ 1,45 gramme de CO_2 (Gröger, 2020). À raison de 50 recherches par jour, une personne émet à elle seule 26 kg éqCO_2 (**équivalent en dioxyde de carbone**) par an. Ce chiffre peut paraître relativement faible, mais il faut le multiplier par les milliards de personnes qui effectuent des recherches sur Internet chaque jour. Google a déclaré que son empreinte carbone en 2018 s'élevait à 4,9 millions de tonnes éqCO_2 et que sa consommation d'électricité atteignait 10 TWh[1] (Google, 2019), ce qui représente un quart de la consommation d'électricité d'un pays comme la Nouvelle-Zélande ou la Hongrie (AIE, 2021). Nous avons listé ci-dessous certains des effets d'une utilisation élevée d'Internet et de la numérisation.

Augmentation de la demande énergétique

Si Internet était un pays, ce serait le sixième plus grand consommateur d'électricité au monde, soit 7 % de la consommation mondiale d'électricité (Andrae, 2020 ; eon, 2021). Internet représente jusqu'à 3,8 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre (GES) (Bordage, 2019), soit plus que le trafic aérien international dont la part des GES s'élève à 2,5 % (Lee *et al.*, 2021).

En Allemagne, par exemple, des calculs ont déterminé qu'en 2018, les 400 plus grands centres de données et les plus de 50 000 centres de plus petite taille ont consommé à eux seuls 14 TWh, soit 2,7 % de la consommation allemande d'électricité et

> *« Si Internet était un pays, ce serait le sixième plus grand consommateur d'électricité au monde... »*
>
> Andrae, 2020 ; eon, 2021

l'équivalent de la consommation de la ville de Berlin (Hintemann, 2019). La totalité des centres de données, des réseaux et des appareils allemands consomment 55 TWh, soit l'équivalent de 10 centrales à charbon de taille moyenne (Klumpp, 2018 ; Statistica, 2021). Cela représente une augmentation de près de 40 % par rapport à 2010 (Hintemann, 2019).

Même si les économies d'énergie réalisées grâce à des gains d'efficacité ont aplati la courbe de la consommation d'énergie, les tendances mondiales telles que la production de cryptomonnaie, l'utilisation du cloud, l'intelligence artificielle, la réalité virtuelle, la réalité augmentée, la conduite autonome, l'Internet des Objets et la mise en œuvre prévue de la 5G amplifieront la demande énergétique.

Impacts des chaînes d'approvisionnement en minerais et métaux nécessaires aux produits numériques et aux technologies de l'énergie

Les bits et les octets sont invisibles à nos yeux. Pourtant, les moteurs qui font fonctionner ce réseau caché sont construits à

Crédit photo : Belen Desmaison

Crédit photo : Belen Desmaison

partir de matériaux issus de la terre. Ce processus d'extraction, ainsi que le processus de production qui permet de transformer les minerais en téléphones portables, en ordinateurs et en serveurs, laisse une empreinte environnementale tout au long du cycle de vie. De la même manière, les technologies énergétiques respectueuses de l'environnement, de plus en plus nombreuses, qui alimentent les technologies numériques ont également des chaînes d'approvisionnement qui s'appuient sur une large utilisation des métaux et des minerais rares de la terre.

Au sein des pays qui connaissent des instabilités politiques, où la gouvernance du secteur de l'extraction minière est faible, l'extraction des minerais peut être liée à de la violence, des conflits, des violations des droits fondamentaux et de graves dégâts environnementaux. Dans de nombreux cas, les réserves mondiales de ces importants minerais coïncident avec des zones marquées par des fragilités, des conflits et de la violence. Le cobalt, le graphite, le cuivre et les terres rares font l'objet d'inquiétudes vives, car ils se trouvent en grandes quantités dans des régions vulnérables. Des réserves importantes de 18 minerais clés sont situées dans des États avec de **mauvais classements** dans l'indice de perception de la corruption de 2017 (Institut international du développement durable [IISD], 2018).

[1] TWh = 1 000 000 000 000 Wh

Crédit photo : Shutterstock.com

Augmentation des déchets d'équipements électriques et électroniques

La durée de vie de nos équipements numériques est relativement faible, souvent de quelques années seulement. La collecte et, dans le meilleur des cas, le recyclage de ces équipements représentent encore des défis gigantesques.

En 2019, les déchets d'équipements électriques et électroniques (ci-après : e-déchets) ont atteint un niveau record : 53,6 millions de tonnes (Mt), ce qui équivaut au poids de 125 000 avions Boeing 747, soit plus que le nombre total d'avions commerciaux ayant été créés à ce jour. Cela fait des e-déchets le flux de déchets domestiques à la croissance la plus rapide, en raison notamment du taux élevé de consommation des équipements électriques et électroniques, des courts cycles de vie et des faibles possibilités de réparation. Seulement 17,4 % des e-déchets ont été officiellement déclarés collectés et recyclés de façon formelle. Seuls 78 pays ont adopté des lois portant sur les e-déchets (Forti *et al.*, 2020).

Étant donné que moins de 20 % des e-déchets sont recyclés, la part restante (80 %) est déversée dans des décharges publiques ou recyclée de manière informelle, en majorité à la main dans des pays en développement, exposant les travailleurs à des substances dangereuses et cancérigènes telles que le mercure, le plomb et le cadmium. Les e-déchets qui sont déversés dans des décharges publiques polluent le sol et les eaux souterraines, ce qui pose des risques pour les systèmes d'approvisionnement alimentaire et en eau (Nations Unies, 2017 ; PNUE, 2019b ; Forti *et al.*, 2020). Ces substances dangereuses menacent la santé des êtres humains par contact direct, ainsi que par la pollution des sols et des eaux. Ce phénomène a principalement des effets sur les populations les plus pauvres dans les pays les moins avancés et a donc des impacts majeurs sur la société et l'environnement.

Quelles sont les conclusions principales ?

Compte tenu de l'accélération de la transformation numérique et de la consommation de services numériques ainsi que de la réduction de la fracture numérique à l'avenir, il est important de réfléchir aux répercussions que ces phénomènes auront sur l'environnement.

- **Consommation énergétique et émissions de CO_2 :** d'un point de vue positif, les améliorations rapides de l'efficacité énergétique au cours des dernières années ont contribué à limiter la croissance de la demande énergétique des centres de données (**figure 1**) (AIE, 2017 ; Shehabi *et al.*, 2018 ; Masanet *et al.*, 2020).

  En revanche, la consommation énergétique totale et les émissions de GES associées des technologies de l'information et des communications (TIC) sont en constante augmentation.

- **Consommation énergétique :** elle a augmenté entre 2010 et 2020, passant de 700 TWh à 1 500-3 000 TWh, avec 8 000 TWh d'énergie grise nécessaire à la fabrication des équipements (Bordage, 2019 ; Andrae, 2020).

Tendances mondiales du trafic Internet, des capacités des centres de données et de la consommation énergétique des centres de données, 2010-2019

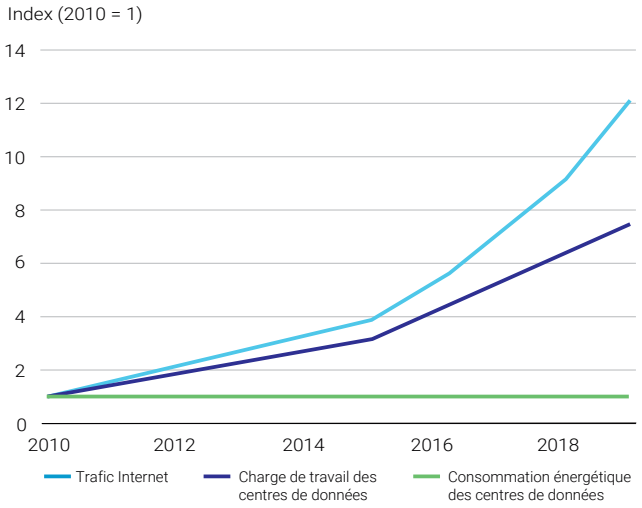


Figure 1 : *Tendances mondiales du trafic Internet, des capacités des centres de données et de la consommation énergétique des centres de données, 2010-2019 (AIE, 2020)*

Consommation d'électricité des TIC, 2018-2030 (TWh)

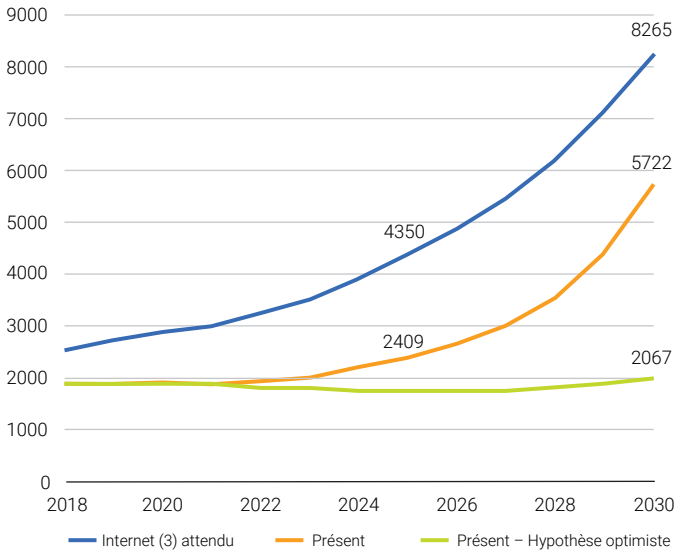


Figure 2 : *Scénario de consommation d'électricité des TIC (Andrae, 2020)*

- **Émissions de GES :** ces émissions sont passées de 0,8 à 1,5-2 Gt d'éqCO_2, une augmentation qui ne prend pas en compte le processus de fabrication susceptible d'ajouter entre 10 et 40 % à ces valeurs (Malmodin et Lundén, 2018 ; Bordage, 2019 ; Bieser *et al.*, 2020).

  Les scénarios de la consommation énergétique future des TIC montrent des augmentations significatives (**figure 2**) : les estimations basées à la fois sur les études les plus optimistes et les plus pessimistes suggèrent que d'ici 2030, la demande énergétique liée à l'utilisation pourrait augmenter légèrement et atteindre 2 000 TWh ou dépasser 8 000 TWh (Andrae et Edler, 2015 ; Belkhir et Elmeligi, 2018 ; Hintemann, 2018 ; Bordage, 2019 ; Efoui-Hess, 2019 ; Andrae, 2020 ; Bieser *et al.*, 2020 ; Obringer *et al.*, 2021).

- **Réduction des émissions :** les gains d'efficacité énergétique dans la phase d'utilisation ont joué un rôle majeur au cours des dernières années. Cependant, ils ne parviennent plus à compenser l'augmentation constante de la taille des écrans ou des besoins en électricité des biens de consommation, pour ne citer que ces exemples. C'est exactement ce que l'on décrit comme étant l'effet rebond.

Si l'on se penche sur l'empreinte environnementale globale, la récente tendance, encouragée par la pandémie de COVID-19, peut être considérée comme partiellement positive du point de vue des émissions. La pandémie de COVID-19 étant encore trop récente pour fournir des données détaillées à ce sujet, il est probable qu'elle ait réduit sensiblement les émissions de gaz à effet de serre liées aux transports. La consommation énergétique croissante due à l'accélération de la numérisation représente probablement un plus faible pourcentage de la réduction de cette consommation énergétique (et de ces émissions).

- **Vidéos :** elles sont disponibles sur différentes plateformes et visionnées sans téléchargement nécessaire (services de streaming). Elles représentent 80 % du transfert mondial de données (Efoui-Hess, 2019). La plupart de ces vidéos ne sont pas utilisées à des fins professionnelles, mais pour le divertissement. Chaque minute, près de 400 000 heures de films sont visionnées sur Netflix et 4,5 millions de vidéos sont diffusées sur YouTube (**figure 3**) (Lewis, 2019 ; Statista, 2020).

Figure 3 : *Estimation des quantités de données créées en une minute sur Internet (Statista, 2020)*

> *« Aujourd'hui, nous n'utilisons que 6 % des données que nous générons. Les 94 % restants vont dans ce que j'appelle des décharges de données. »*
>
> Antonio Neri, PDG de Hewlett Packard Enterprise, déclaration prononcée au cours du Forum économique mondial de Davos en 2020 et citée par Lucy Ingham (2020).

- **Centres de données :** les quelques milliers de centres de données à grande échelle qui existent dans le monde forment les piliers d'Internet, avec au maximum 67 millions de serveurs hébergés (Bordage, 2019 ;Statistica, 2021). Ils consomment entre 400 et 500 TWh d'électricité et émettent entre 200 et 250 Mt éqCO_2 (ce qui comprend les émissions liées à la fabrication) (Bieser *et al.*, 2020). Environ 60 % des émissions de GES des centres de données proviennent des composants informatiques, tels que les serveurs, les systèmes de stockage et les réseaux. Pas moins de 40 % des émissions de GES sont liées à l'infrastructure, notamment au refroidissement et à la climatisation, ainsi qu'à une alimentation fiable en électricité. Une gigantesque quantité d'énergie est nécessaire au refroidissement de ces systèmes. Bien que la chaleur produite dans les parcs de serveurs pourrait être utilisée, par exemple, pour le chauffage des foyers à proximité, seulement 19 % des centres de données dans le monde réutilisent la chaleur produite. La phase d'utilisation représente 90 % des émissions de GES (Bieser *et al.*, 2020).

  En outre, les grandes quantités de données stockées sur le cloud sont des informations anciennes et obsolètes. Antonio Neri, le PDG de Hewlett Packard Enterprise, estime que seules 6 % des données générées sont utilisées et que les 94 % restants vont dans ce qu'il appelle des « cimetières de données » (Ingham, 2020).

Crédit photo : Shutterstock.com

- **Réseaux de télécommunication :** les réseaux, qui connectent les terminaux des utilisateurs entre eux et aux centres de données, comprennent 1,1 milliard de routeurs pour fibre, 10 millions de relais pour la communication mobile et 200 millions de connecteurs à Internet (Bordage, 2019). En 2020, la consommation énergétique des réseaux de télécommunication s'élevait entre 200 et 550 TWh et les émissions de GES ont atteint 200 à 250 Mt éqCO_2 (en incluant la fabrication des appareils). La phase d'utilisation des réseaux de télécommunication représente 90 % des émissions totales de GES (Bieser *et al.*, 2020).

- **Terminaux :** les émissions cumulées de l'utilisation d'ordinateurs, de notebooks, de tablettes et de smartphones atteignent 900 à 1 100 Mt éqCO_2. La production et le transport des terminaux sont responsables de plus 50 % de leurs émissions de GES, un chiffre susceptible d'augmenter (Bieser *et al.*, 2020).

- **5G :** les fréquences utilisées en 5G ne pouvant parcourir que des petites distances, des petites antennes relais de la taille d'une valise moyenne devront être implantées à 250 mètres les unes des autres. Une antenne de ce type pourra demander entre 200 et 1 000 watts d'électricité. Bien que la 5G nécessite moins d'énergie que la 4G pour chaque Go transmis (GSMA, 2019 ; t3n, 2019), l'augmentation du nombre d'antennes est nécessaire pour sa mise en œuvre, ce qui augmente la demande d'électricité. Avec la 4G, les appareils numériques se connectent à une partie de l'infrastructure (une antenne relai) à la fois, laquelle assure une transmission à une autre antenne, etc. Avec la 5G, les appareils et les équipements communiqueront simultanément avec plusieurs antennes relais et d'autres infrastructures. Les centres de données traditionnels ne suffiront pas pour atteindre la connectivité et le délai de transit attendus. Pour réduire le délai de transit, d'avantage de centres de données seront nécessaires. De nombreux petits centres de données se situent à la périphérie des réseaux, au pied d'une antenne relai, ce qui pourrait engendrer une augmentation de la consommation totale d'énergie de 150 à 170 % d'ici 2026 (EMFSA, 2019).

  Un rapport a déterminé que les réseaux 5G en France pourraient être responsables d'une augmentation de 3 à 7 milliards de tonnes de CO_2 libérées dans l'atmosphère, ce qui représenterait 1 à 2 % des émissions actuelles (France, Haut Conseil pour le Climat 2020). En plus des nouvelles exigences des réseaux, une nouvelle génération d'appareils mobiles, compatibles avec la 5G, doit être mise sur le marché, rendant de ce fait obsolètes les téléphones portables utilisés à l'heure actuelle ainsi que d'autres équipements techniques. La 5G aura un impact considérable sur la capacité des batteries, en raison de l'augmentation de la demande de la puissance informatique.

- **Intelligence artificielle (IA) :** l'IA occupe une place de plus en plus importante dans la société humaine et elle commence à être utilisée dans tous les aspects de la vie, qu'il s'agisse de la reconnaissance vocale à domicile ou des solutions de cloud pour les applications d'apprentissage profond utilisées dans des infrastructures vitales. L'IA peut engendrer une augmentation de la consommation énergétique dans les centres de données. Des chercheurs du MIT ont calculé que les activités consistant à nourrir une seule application de l'IA pour la reconnaissance vocale généraient cinq fois plus de CO_2 qu'une voiture au cours de son cycle de vie (Hao, 2019 ; Strubell, Ganesh et McCallum, 2019).

- **La technologie « chaîne de blocs » (blockchain) :** une seule transaction en Bitcoin consomme environ 660 kWh (Digiconomist, 2020), ce qui équivaut à faire fonctionner un réfrigérateur d'une puissance de 150 watts pendant environ huit mois. Si le Bitcoin était un pays, avec ses 60 à 80 TWh, ce serait

Crédit photo : Shutterstock.com

le 38e plus grand consommateur d'électricité dans le monde, après la Belgique et avant l'Autriche. Le Bitcoin émet 37 millions de tonnes de dioxyde de carbone, ce qui le place entre la Nouvelle-Zélande et l'Irlande (Kamiya, 2019 ; Digiconomist, 2020). L'Iran a décidé d'arrêter la production de bitcoins, car elle y provoquait des coupures d'électricité (Turak, 2021). Cet impact de grande ampleur est dû au choix de la méthodologie utilisée pour générer des bitcoins. Toutes les technologies de la chaîne de blocs ne nécessitent pas autant d'énergie. D'autres monnaies numériques ont choisi d'autres méthodes pour générer leurs unités et sont moins énergivores.

- **Conduite autonome :** si les véhicules autonomes n'en sont encore qu'aux prémices de leur développement, une mise en œuvre à plus grande échelle augmenterait sensiblement les besoins de bande passante des communications mobiles et d'Internet. On estime qu'un véhicule autonome génère quatre à huit téraoctets de données par jour et téléverse 25 à 250 gigaoctets de données par heure vers le cloud (Kallenbach, 2017 ; it-daily, 2021).

Crédit photo : Shutterstock.com

Crédit photo : Belen Desmaison

Quelles solutions ont été mises en place ?

Les entreprises et les individus accordent de plus en plus d'importance à leur empreinte environnementale et il existe un intérêt grandissant pour la recherche de solutions durables du point environnemental pour la numérisation à l'échelle mondiale.

- **Engagements en faveur du zéro émission nette :** de grandes entreprises dans les domaines du cloud et des centres de données telles qu'Amazon, Google et Microsoft, ainsi que de plus petits fournisseurs à l'échelle nationale, se sont fixé des objectifs de neutralité carbone d'ici 2030 ou avant (Stramski, 2020). De nombreuses entreprises ont déjà pris des mesures en ce sens, comme des investissements massifs dans les énergies éolienne et photovoltaïque. De nombreuses entreprises compensent leurs émissions de CO_2, par exemple en investissant dans des technologies de réduction des émissions de méthane ou de CO_2 ou dans des projets d'agriculture régénératrice ou de reforestation (Apple, 2020 ; RegenNetwork, 2021).

- **Déplacement de grands parcs de serveurs :** certaines entreprises ont déplacé tous leurs parcs de serveurs dans des zones dotées d'abondantes sources d'énergie renouvelable, comme en Norvège.

- **Réutilisation de la chaleur :** certains centres de données ont lancé des projets ayant pour objectif de réutiliser la chaleur produite par le processus de refroidissement pour chauffer les bâtiments voisins (Börje, 2019).

- **Gains d'efficacité énergétique :** l'efficacité s'est nettement améliorée à tous les niveaux de la technologie. Par exemple, les centres de données « *hyperscale*[2] » ont notablement amélioré leur niveau d'efficacité.

- **Initiatives internationales :** *déclaration européenne sur le numérique vert* : 26 PDG d'entreprises ont signé une déclaration visant à soutenir une transformation écologique et numérique de l'Union européenne. Pas moins de 27 États membres de l'UE ainsi que deux autres États ont signé une déclaration européenne qui les engage à mener la transformation numérique verte. « *Digitalization for Sustainability – Science in Dialogue* » (Numérisation pour la durabilité – la science en dialogue, D4S) est un nouveau groupe de recherche européen qui œuvre à développer une vision progressive d'une numérisation qui encourage la durabilité environnementale et sociale. Le projet vise à améliorer le discours scientifique et politique en proposant une analyse complète des opportunités, des risques et des options de gouvernance en matière de numérisation et de durabilité.

[2] Les centres de données « *hyperscale* » sont des réseaux informatiques permettant de réaliser des mises à l'échelle massives dans le domaine du cloud et du big data. L'infrastructure de ces centres est conçue de sorte à rendre possible l'évolutivité horizontale. Par conséquent, ils offrent un très haut niveau de performance, de débit et de redondance.

Comment cela se traduit-il de manière politique ?

De toute évidence, la numérisation offre de nombreuses opportunités pour connecter les personnes, les projets et les idées. La tendance est nette et l'économie se structure autour de ces nouvelles technologies. Afin d'éviter que la numérisation ne se transforme en un problème environnemental, les responsables politiques, les entreprises, les fournisseurs de service et les utilisateurs peuvent prendre différentes mesures.

- **Production d'électricité :** accélérer l'adoption et la diffusion des énergies renouvelables dans le secteur des TIC, y compris pour les fabricants et les parcs de serveurs. Cela doit passer par l'émission de certificats verts commercialisables.
- **Une chaîne d'approvisionnement des TIC plus respectueuse de l'environnement :** améliorer la gouvernance de la chaîne d'approvisionnement du secteur des TIC en rapport avec l'extraction de minerais et de métaux rares, le recyclage des e-déchets et l'élimination des matériaux toxiques en toute sûreté.
- **Durée de vie :** prolonger la durée de vie des serveurs et des autres appareils grâce à un design évolutif et des modèles d'économie circulaire pour simplifier la mise à niveau et le remplacement de composants essentiels. Garantir la réutilisation ou le recyclage complet lors de la mise hors service.
- **Refroidissement :** réduire la climatisation nécessaire pour les parcs de serveurs et réutiliser la chaleur produite à d'autres fins.
- **Déchets numériques :** encourager les utilisateurs et les institutions à supprimer les contenus stockés sur le cloud qui ne sont plus utilisés ou à archiver les informations sur des disques durs externes éteints lorsqu'ils sont stockés pour une longue durée.
- **5G :** examiner les effets positifs et négatifs de cette nouvelle technologie, ainsi que les solutions alternatives, comme des câbles à fibre à grande vitesse. Envisager l'installation d'un seul réseau d'antennes qui puissent être partagées entre les différents opérateurs pour en réduire le nombre, diminuant ainsi le nombre d'équipements nécessaires, ainsi que l'exposition aux ondes.
- **Comportements en ligne :** l'adoption à grande échelle de comportements responsables du point de vue environnemental par les individus est essentielle pour lutter contre les changements climatiques et promouvoir la durabilité. De petites actions, comme le fait de désactiver sa caméra pendant une réunion virtuelle, de réduire la qualité des services de streaming, de diminuer le nombre d'heures de jeu en ligne, de limiter son utilisation des réseaux sociaux, d'envoyer moins d'e-mails (et de n'ajouter que les destinataires nécessaires), de supprimer ses e-mails et les contenus non essentiels sur les services de stockage sur le cloud ou de se désabonner des listes de diffusion, réduit sensiblement son empreinte environnementale liée à l'utilisation d'Internet.
- **Cryptomonnaies :** le cadre pour les technologies des cryptomonnaies doit être évalué. Des réglementations et des politiques sont nécessaires pour guider le type de technologies utilisées et les besoins énergétiques qui y sont associés.
- **Passeports numériques de produits :** le concept de « passeport numérique » pour des produits est actuellement à l'étude dans l'UE. Il fournira des informations numériques sur l'origine, la durabilité, la composition, l'empreinte environnementale et carbone, les possibilités de réutilisation, de réparation et de démontage et le traitement en fin de vie d'un produit. Différents aspects du passeport numérique de produit seraient mis à la disposition des entreprises, des gouvernements et des consommateurs.
- **Marchés publics de TIC vertes :** lorsque les gouvernements et les organisations internationales s'approvisionnent en infrastructures de TIC pour améliorer leurs services ou pour combler la fracture numérique, ils doivent suivre les bonnes pratiques en matière de TIC vertes.

Conclusion

Le potentiel croissant d'Internet et des outils numériques comporte son lot d'avantages et d'inconvénients. Du côté positif, ils peuvent réduire le besoin de voyager et les coûts du suivi et du partage de données et d'informations. Ils garantissent l'interopérabilité et donc la communication entre les serveurs. Ils nous fournissent des données quasiment en temps réel afin d'améliorer nos décisions ou de changer les villes dans lesquelles nous vivons pour mieux utiliser les énergies renouvelables lorsqu'elles sont produites. Enfin, ils facilitent les communications avec les proches, où que l'on se trouve sur la planète. Ils offriront des approches et des solutions novatrices dans un futur proche afin de répondre à de nombreuses questions urgentes sur les plans social et écologique.

Du côté négatif, l'empreinte environnementale de l'infrastructure numérique pose de graves menaces pour notre planète et les générations futures. La demande de métaux précieux/rares nécessaires à la production de l'infrastructure et à la gigantesque consommation d'énergie pour la faire fonctionner constituent des défis majeurs si nous voulons que la numérisation contribue à lutter contre les changements climatiques et à diminuer notre empreinte environnementale.

Il existe des opportunités à saisir et de nombreuses entreprises investissent pour rendre leurs activités plus respectueuses de l'environnement. Des efforts supplémentaires sont nécessaires, en particulier pour basculer vers 100 % d'énergies renouvelables, optimiser les systèmes de refroidissement des centres de données et réutiliser la chaleur produite et les matériaux utilisés. Les consommateurs doivent modifier leur comportement en ligne afin de réduire leur empreinte environnementale liée à leurs activités en ligne, ce qui se traduit par visionner des vidéos avec une résolution plus faible, passer moins de temps sur Internet, nettoyer plus souvent ses e-mails et stocker moins de photos et d'e-mails sur le cloud.

Crédit photo : Belen Desmaison

Remerciements

Auteurs

Stefan Schwarzer, Pascal Peduzzi, PNUE/GRID-Genève et l'université de Genève

Réviseurs

Externes

Anna Dyson, Centre des écosystèmes d'architecture de Yale
Lambert Hogenhout, Bureau de l'informatique et des communications des Nations Unies

Réviseurs du PNUE

Angeline Djampou, Virginia Gitari, Samuel Opiyo, David Jensen, Saiful Ridwan, Ray Goh, Pooja Munshi

Équipe *Foresight Briefs* du PNUE

Alexandre Caldas, Sandor Frigyik, Audrey Ringler, Esther Katu, Erick Litswa, Pascil Muchesia

Mentions légales

Les dénominations employées dans cette publication et la présentation des documents qui y figurent n'impliquent en aucun cas l'expression d'une quelconque opinion de la part du PNUE ou des organismes de coopération sur le statut légal de tel ou tel pays, territoire, région ou agglomération, sur les autorités qui les régissent ou sur le tracé de leurs frontières.

© Cartes, photos et illustrations telles que mentionnées.

Contact

unep-foresight@un.org

Bibliographie

Agence internationale de l'énergie (2017), *Digitalization and Energy*. IEA. Disponible à l'adresse suivante : https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy (Date de consultation : 15 mars 2021).

Agence internationale de l'énergie (2020), *Data Centres and Data Transmission Networks – Analysis, IEA*. Disponible à l'adresse suivante : https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks (Date de consultation : 10 août 2021).

Agence internationale de l'énergie (2020), Data Centres and Data Transmission Networks – Analysis, IEA. Disponible à l'adresse suivante : https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks (Date de consultation : 27 janvier 2021).

Andrae, A. et Edler, T. (2015), On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030., *Challenges* 6(1), p. 117-157. Disponible à l'adresse suivante : https://doi.org/10.3390/challe6010117.

Andrae, A.S.G. (2020), New perspectives on internet electricity use in 2030, p. 14. Disponible à l'adresse suivante : https://pisrt.org/psrpress/j/easl/2020/2/3/new-perspectives-on-internet-electricity-use-in-2030.pdf.

Apple (2020), Apple commits to be 100 percent carbonneutral for itssupplychain and products by 2030. *Apple Newsroom, 21 juillet 2020*. Disponible à l'adresse suivante : https://www.apple.com/newsroom/2020/07/apple-commits-to-be-100-percent-carbon-neutral-for-its-supply-chain-and-products-by-2030/ (Date de consultation : 15 mars 2021).

Belkhir, L. et Elmeligi, A. (2018), Assessing ICT global emissionsfootprint: Trends to 2040 &recommendations. *Journal of Cleaner Production*, 177, p. 448-463. Disponible à l'adresse suivante : https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.239.

Bieser, J., Salieri, B., Hischier, R. et Hilty, R. (2020), NextGeneration Mobile Networks: Problem or Opportunity for Climate Protection? Zurich: université de Zurich.

Bieser, J. ***et al.*** (2020), Climate protection through digital technologies. Bitkome.V.

Bordage, F. (2019), *The EnvironmentalFootprint of the Digital World*. GreenIT.fr, p. 39. Disponible à l'adresse suivante : https://www.greenit.fr/wp-content/uploads/2019/11/GREENIT_EENM_etude_EN_accessible.pdf.

Börje, J. (2019), Three new data centerswithheatrecovery in Stockholm Data Parks. *Stockholm Data Parks, 12 novembre 2019*. Disponible à l'adresse suivante : https://stockholmdataparks.com/2019/11/12/three-new-data-centers-with-heat-recovery-in-stockholm-data-parks/ (Date de consultation : 10 mars 2021).

Digiconomist (2020), *Bitcoin EnergyConsumption Index*. Disponible à l'adresse suivante : https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption/ (Date de consultation : 15 mars 2021).

Efoui-Hess, M. (2019), Climatecrisis: the unsustainable use of online video: the practical case for digital sobriety. *The Shift Project*.Disponible à l'adresse suivante : https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2019/07/2019-02.pdf.

EMFSA (2019), 5G – EnergyConsumption, CarbonFootprint, Climate Change: Environmental Impact. *EMFSA*. Disponible à l'adresse suivante : https://www.emfsa.co.za/news/5g-energy-consumption-carbon-footprint-climate-change-environmental-impact/ (Date de consultation : 27 janvier 2021).

eon (2021), *Green Internet: Solutions for the future of data centres | E.ON*. Disponible à l'adresse suivante : https://www.eon.com/en/about-us/green-internet.html (Date de consultation : 15 mars 2021).

Forti, V., Balde, C., Kuehr, R. et Bel, G. (2020).

France, Haut Conseil pour le Climat (2020), Maitriser l'impact carbone de la 5G. Disponible à l'adresse suivante : https://www.hautconseilclimat.fr/wp-content/uploads/2020/12/haut-conseil-pour-le-climat_rapport-5g.pdf.

Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circulareconomypotential. UNU, UNITAR, ITU, ISWA.

Google (2019), Google Environmental Report 2019. Google. Disponible à l'adresse suivante : https://www.gstatic.com/gumdrop/sustainability/google-2019-environmental-report.pdf.

Gröger, J. (2020), *The carbonfootprint of our digital lifestyles*, *Oeko-Institut*. Disponible à l'adresse suivante : https://blog.oeko.de/digitaler-co2-fussabdruck/ (Date de consultation : 15 mars 2021).

GSMA (2019), *EnergyEfficiency: An Overview*. Future Networks. Disponible à l'adresse suivante : https://www.gsma.com/futurenetworks/wiki/energy-efficiency-2/ (Date de consultation : 19 avril 2021).

Hao, K. (2019), Training a single AI model canemit as muchcarbon as five cars in theirlifetimes: Deeplearning has a terrible carbonfootprint. *MIT TechnologyReview, 6 juin 2019*. Disponible à l'adresse suivante : https://www.technologyreview.com/2019/06/06/239031/training-a-single-ai-model-can-emit-as-much-carbon-as-five-cars-in-their-lifetimes/ (Date de consultation : 15 mars 2021).

Hintemann, R. (2018) (2020).?. *Efficiency Gains are Not Enough: Data Center EnergyConsumption Continues to Rise Significantly*. BorderstepInst. für Innovation undNachhaltigkeitgGmbH. Disponible à l'adresse suivante : https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2020/04/Borderstep-Datacenter-2018_en.pdf.

Hintemann, R. (2019), *Energiebedarf der Rechenzentrensteigtdeutlich an*, *Borderstep Institut*. Disponible à l'adresse suivante : https://www.borderstep.de/energiebedarf-der-rechenzentren-steigt-deutlich-an/ (Date de consultation : 15 mars 2021).

Ingham, L. (2020), HPE CEO: Mining the "data landfill" is key to solving the digital divide. *Verdict*, 24 janvier 2020. Disponible à l'adresse suivante : https://www.verdict.co.uk/hpe-ceo-data-landfill/ (Date de consultation : 15 mars 2021).

International Institute for SustainableDevelopment (2018), *State of Sustainability Initiatives Review: Standards and the Extractive Economy*. Disponible à l'adresse suivante : https://www.deslibris.ca/ID/10097867 (Date de consultation : 9 août 2021).

it-daily (2021), *Fachartikelüber Digitale Transformation*, *it-daily.net*. Disponible à l'adresse suivante : https://www.it-daily.net/it-management/digitalisierung/27200-ki-baendigt-datenmengen-fuer-automatisiertes-fahren (Date de consultation : 3 mars 2021).

Kallenbach, C. (2017), *DatentreiberConnected Car : Das Auto - Dein Freund undHelfer*. Disponible à l'adresse suivante : https://www.computerwoche.de/a/das-auto-dein-freund-und-helfer,3329638 (Date de consultation : 3 mars 2021).

Kamiya, G. (2019), *Bitcoin Energy Use - Mined the Gap*. International EnergyAgency.Disponible à l'adresse suivante : https://www.iea.org/commentaries/bitcoin-energy-use-mined-the-gap (Date de consultation : 15 mars 2021).

Kemp, S. (2021), *Digital 2021: the latest insights into the 'state of digital'*, *We Are Social USA*. Disponible à l'adresse suivante : https://wearesocial.com/us/blog/2021/01/digital-2021-the-latest-insights-into-the-state-of-digital (Date de consultation : 15 mars 2021).

Klumpp, D. (2018), *Energiefresser Internet - Die ÖkobilanzeinesMausklicks*, *swr.online*. Disponible à l'adresse suivante : https://www.swr.de/odysso/oekobilanz-des-internets/-/id=13831216/did=21791748/nid=13831216/a6ozwj/index.html (Date de consultation : 9 mars 2021).

Lee, D.S., Fahey, D.W., Skowron, A., Allen, M.R., Burkhardt, U., Chen, Q. ***et al.*** (2021), The contribution of global aviation to anthropogenicclimate forcing for 2000 to 2018, *AtmosphericEnvironment*, 244, p. 117834. Disponible à l'adresse suivante : https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117834.

Lewis, L. (2019), WhatHappens in an Internet Minute in 2019?, *Visual Capitalist*, 13 mars 2019. Disponible à l'adresse suivante : https://www.visualcapitalist.com/what-happens-in-an-internet-minute-in-2019/ (Date de consultation : 11 août 2021).

Malmodin, J. et Lundén, D. (2018), The Energy and CarbonFootprint of the Global ICT and E&M Sectors 2010-2015, *Sustainability*, 10(9), p. 3027. Disponible à l'adresse suivante : https://doi.org/10.3390/su10093027.

Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N. et Koomey, J.. (2020), Recalibrating global data center energy-use estimates. Science 367(6481), p. 4. Disponible à l'adresse suivante : https://www.science.org/doi/10.1126/science.aba3758.

Nations Unies (2017), United Nations System-wideResponse to Tackling E-waste. PNUE.

Obringer, R., Rachunok, B., Maia-Silva, D., Arbabzadeh, M., Nateghi, R. et Madani, K. (2021), The overlookedenvironmentalfootprint of increasing Internet use. *Resources, Conservation and Recycling* 167, 105389. Disponible à l'adresse suivante : https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105389.

Programme des Nations unies pour l'environnement (2019a), Building a digital ecosystem for the planet. *ForesightBrief 014*, septembre 2019. Disponible à l'adresse suivante : https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30612/Foresight014.pdf.

Programme des Nations unies pour l'environnement (2019b), *UN report: Time to seize opportunity, tackle challenge of e-waste*, *PNUE*. Disponible à l'adresse suivante : http://www.unenvironment.org/news-and-stories/press-release/un-report-time-seize-opportunity-tackle-challenge-e-waste (Date de consultation : 27 janvier 2021).

Programme des Nations unies pour l'environnement (2020), Blockchaintechnology and environmentalsustainability. *ForesightBrief 019, octobre 2020*. Disponible à l'adresse suivante : https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34226/FB019.pdf.

RegenNetwork (2021), *Regen Network Announces Historic CarbonCredit Sale in Australia*, *Medium*. Disponible à l'adresse suivante : https://medium.com/regen-network/regen-network-announces-historic-carbon-credit-sale-in-australia-b76dfadcc095 (Date de consultation : 15 mars 2021).

Shehabi, A.,Smith, S.J., Masanet, E. et Koomey, J.(2018), Data center growth in the United States: decoupling the demand for services fromelectricity use. *EnvironmentalResearchLetters*, 13(12), p. 124030. Disponible à l'adresse suivante : https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaec9c.

Statista (2020), *Infographic: A Minute on the Internet in 2020*, *StatistaInfographics*. Disponible à l'adresse suivante : https://www.statista.com/chart/17518/data-created-in-an-internet-minute/ (Date de consultation : 9 août 2021).

Statistica (2021), *Data centersworldwide by country 2021*, *Statista*. Disponible à l'adresse suivante : https://www.statista.com/statistics/1228433/data-centers-worldwide-by-country/ (Date de consultation : 19 mai 2021).

Stramski, W. (2020), *ClimateNeutral Data Centre Pact: The Green Deal Needs Green Infrastrcucture*. Disponible à l'adresse suivante : https://www.climateneutraldatacentre.net/ (Date de consultation : 15 mars 2021).

Strubell, E., Ganesh, A. et McCallum, A. (2019), Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP. *arXiv:1906.02243 [cs]* [préimpression]. Disponible à l'adresse suivante : http://arxiv.org/abs/1906.02243 (Date de consultation : 15 mars 2021).

t3n (2019), *Studie: 5G-Rechenzentren verbrauchendeutlichmehrStrom*, *t3n Magazin*. Disponible à l'adresse suivante : https://t3n.de/news/studie-5g-rechenzentren-deutlich-1232548/ (Date de consultation : 27 janvier 2021).

Turak, N. (2021), Iran bans bitcoin mining as itscitiessuffer blackouts and power shortages. *CNBC*. Disponible à l'adresse suivante : https://www.cnbc.com/2021/05/26/iran-bans-bitcoin-mining-as-its-cities-suffer-blackouts.html (Date de consultation : 2 novembre 2021).

United States Energy Information Administration (2021), *International - U.S. Energy Information Administration (EIA)*. Disponible à l'adresse suivante : https://www.eia.gov/international/data/world/electricity/electricity-consumption (Date de consultation : 19 avril 2021).

ONU programme pour l'environnement 50 1972-2022

Tableau de bord pour le suivi de l'état de l'environnement mondial
Données, informations et connaissances sur l'environnement

Pour voir toutes les éditions en ligne et télécharger les notes prospectives du PNUE, rendez-vous sur
https://data.unep.org/foresight