

# Les technologies du numérique font à la fois partie du problème et de la solution en matière environnementale

Par Patrice GEOFFRON

LEDa, Université Paris-Dauphine, Université PSL, IRD, CNRS

Le débat relatif à l'impact environnemental du numérique présente un degré de complexité qui ne peut être approché à la seule observation de la progression de son poids dans les émissions de CO<sub>2</sub> ou les consommations électriques. Des travaux récents permettent de mieux appréhender ses effets induits, en établissant notamment dans quel sens les usages du numérique influencent la trajectoire des émissions des États ou agissent sur des cobénéfices de l'action climatique (comme la qualité de l'air). En outre, ces analyses devront être resituées dans le prolongement de la crise sanitaire (et du développement des activités socio-économiques « à distance »), ainsi que dans celui de la crise énergétique (qui implique une optimisation de systèmes gagnant en complexité du fait d'un développement accéléré des renouvelables, des efforts d'efficacité...). Ces travaux débouchent sur un constat contrasté de l'impact environnemental du numérique (qui, toutefois, n'invalide pas l'impératif de l'effort de sobriété).

## La « versatilité » des technologies de l'information et de la communication

Le débat sur l'empreinte environnementale des technologies de l'information et de la communication (TIC) s'est intensifié ces dernières années : l'Accord de Paris ayant établi comme nouvelle cible la limitation de l'augmentation de la température à + 1,5°C, l'horizon de la neutralité carbone s'est rapproché à 2050, impliquant de surveiller les secteurs les plus émissifs. Dans ce contexte, dès lors que l'empreinte carbone des activités numériques croît (et est usuellement comparée à celle du transport aérien), il est logique et souhaitable qu'elle constitue un sujet à qui il faut accorder une très grande attention.

Mais le débat sur les effets environnementaux du numérique présente un ordre de complexité élevé et ne peut être circonscrit à la mesure de l'empreinte carbone (ou d'autres paramètres connexes relatifs à l'extraction de matières premières, à la consommation d'eau...), sans prendre également en compte la manière dont ces technologies peuvent concourir à la transformation des systèmes énergétiques et, au-delà, des organisations socio-économiques.

Cette nécessité s'impose d'autant plus qu'à l'abord de la décennie 2020, la crise sanitaire a accéléré le

recours aux activités « à distance » (télétravail, télé-enseignement, télé-médecine...) rendues possibles par le haut degré d'équipement des ménages et des entreprises et la progression des connexions à haut débit (tout au moins dans les économies les plus avancées). Et, elle se renforce plus encore, sans doute, du fait des tensions économiques durables induites par la guerre en Ukraine, qui bouleversent la carte mondiale des énergies fossiles, impliquant un déploiement accéléré des énergies renouvelables, dont l'intégration dépend également des capacités numériques (IEA 2022). Dans ce contexte, il convient certes de se garder de la tentation « technosolutionniste », en postulant que les TIC portent intrinsèquement des ruptures décisives dans la lutte contre le changement climatique<sup>1</sup>. Mais il importe tout autant d'éviter un simple « dénigrement » du numérique, en ne regardant que les tensions environnementales liées à son expansion.

Les données de Sandvine (2023) illustrent parfaitement la « versatilité » des technologies numériques : le trafic vidéo, en 2022, a augmenté de près de 25 %, dont une large part au travers de l'activité des plateformes (Netflix et Youtube trônant au premier rang). Mais les mêmes équipements permettent également les interac-

<sup>1</sup> Certaines études considèrent que les TIC pourraient réduire de 4 à 10 % les émissions d'ici à 2030 dans les trois secteurs les plus émetteurs (l'énergie, les matériaux et la mobilité) et de 20 % à l'horizon 2050 (WEF, 2022).

tions socio-économiques « à distance », partiellement en substitut à l'usage des transports, avec un effet qui est, lui, positif (voir Tao Y. *et al.*, 2021, pour les conférences internationales).

### La blockchain, au-delà du Bitcoin<sup>a</sup>

L'empreinte énergétique du Bitcoin ne conduit pas spontanément à imaginer que la *blockchain* puisse servir à développer des instruments au service de la transition environnementale.

Des projets pilotes sont pourtant développés, notamment autour d'une production électrique décentralisée (à base de photovoltaïque, généralement) et échangée de pair-à-pair dans le voisinage (un écoquartier, une zone industrielle, etc.). La *blockchain* permet également de certifier l'origine verte de l'énergie échangée et à en encourager le développement.

D'autres expérimentations visent à insérer cette technologie dans la logique de l'Accord de Paris. C'est le cas, par exemple, des processus de MRV (measurement, reporting and verification<sup>b</sup>) : la mise à disposition *via* la *blockchain* de registres distribués, fiables et infalsifiables présente un grand intérêt pour les crédibiliser.

<sup>a</sup> Voir : *Blockchain for good* (2022), pour une analyse de la diversité des expérimentations.

<sup>b</sup> Le MRV s'articule autour de trois tâches : la mesure et la collecte des données sur les émissions, les actions et le soutien à la réduction des émissions ; le rapport des informations collectées dans des formats normalisés ; et la vérification régulière de la conformité aux normes par des examinateurs certifiés.

## Une évaluation qui implique d'aller au-delà de l'empreinte carbone du système numérique

À la fin de la décennie 2010, les émissions de CO<sub>2</sub> liées aux TIC représentaient, selon les estimations disponibles, environ 4 % des volumes mondiaux (Andrae, 2020 ; GeSI, 2019 ; GreenIT, 2019 ; The Shiftproject, 2019). À partir de ce constat, en termes prospectifs, deux visions s'opposent. D'un côté, Andrae (2020) estimait que, pour 2030, les émissions devraient suivre une pente modérée pour atteindre environ 5 %, mettant en avant les gains d'efficacité des TIC durant la décennie

2010 (schématisée par la « loi de Koomey »)<sup>2</sup>. Mais, d'un autre côté, certains travaux sont plus alarmistes, comme ceux de The ShiftProject (2019) qui envisagent une augmentation pouvant aller jusqu'à 6 % des émissions globales dès 2025, si les gains d'efficacité énergétique observés durant la décennie 2010 étaient épuisés<sup>3</sup>.

Mais, l'essentiel se trouve sans doute au-delà du périmètre des systèmes de télécommunication, avec la prise en compte des effets induits ; ce que s'efforcent d'analyser de nombreux travaux récents :

- Wang *et al.* (2021) analysent le couplage entre les investissements dans les TIC et les émissions de CO<sub>2</sub> dans 20 économies de l'OCDE. Leurs résultats indiquent que le nombre des économies considérées présentant un état de découplage « idéal » (c'est-à-dire, schématiquement, une contribution des TIC à une croissance décarbonée) était, dans l'OCDE, de 9 entre 2009 et 2018, contre aucune économie entre 2000 et 2009. Selon un angle s'approchant de l'étude précitée, Nguyen *et al.* (2020) tendent à démontrer que l'importation d'infrastructures TIC de pointe peut réduire la dégradation de l'environnement dans les pays du G20.
- D'autres recherches adoptent une approche s'inscrivant en termes de « productivité totale des facteurs verts », c'est-à-dire consistant en une mesure de l'efficacité globale qui prend en compte simultanément la croissance économique, la consommation d'énergie et la pollution environnementale. Les résultats montrent que l'économie numérique a un effet « dynamique » sur la productivité « verte », jouant d'abord un rôle d'inhibiteur, puis de promoteur, selon une courbe en U, ce que confirment des recherches centrées sur l'intelligence artificielle (Liu *et al.*, 2023).
- Certains travaux, portant notamment sur les économies émergentes, analysent plus spécifiquement les effets du numérique sur la qualité de l'air (en particulier, la concentration de PM 2,5), en montrant l'impact positif, mais seulement à partir d'un certain niveau d'urbanisation et de densité de la population (Li *et al.*, 2021).
- Une autre voie de recherche considère les effets du numérique au sein des entreprises. Bendig *et al.* (2023) ont analysé, sous cet angle, la situation des entreprises américaines du Standard and Poor's 500, tout au long de la décennie 2010, en déduisant, premièrement, que l'orientation numérique d'une entreprise a un effet significatif et positif sur sa performance environnementale et, deuxièmement, que cet effet est encore plus prononcé dans les environnements commerciaux technologiquement « turbulents » (en permettant, en quelque sorte, d'accroître

<sup>2</sup> La « loi de Koomey » décrit une tendance à long terme dans l'histoire du matériel informatique. Le nombre de calculs par joule d'énergie dissipée a doublé tous les 18 mois ; une tendance remarquablement stable depuis les années 1950.

<sup>3</sup> Se fondant sur la crainte que les gains de performance énergétique soient plafonnés une fois que toutes les « bonnes pratiques » auront été appliquées.

la résilience des entreprises présentant les meilleures performances environnementales).

Sans que l'évocation de ces différents travaux récents puisse tenir lieu d'une large recension, elle fait toutefois écho à des recherches qui ont toutes pour positionnement d'analyser certains des effets environnementaux induits par l'usage des technologies du numérique, au-delà de leur périmètre direct d'application.

### « Neutralité du Net » versus « neutralité carbone » ?

La « neutralité du Net » est le principe qui conduit à exclure une discrimination entre les flux circulant sur Internet, dans le but de préserver ainsi un espace de liberté d'expression, de communication, d'accès au savoir<sup>a</sup>... Mais la pression des offres de contenus orientées vers une consommation « illimitée » (abonnement ou financement par la publicité) conduit à s'interroger sur les effets de la neutralité du Net sur l'environnement. Les objectifs climatiques sont de plus en plus contraignants et la neutralité du Net n'incite pas à la mise en œuvre d'incitations à la sobriété dans les usages. La neutralité du Net renforce ainsi le risque de « tragédie des communs », chaque acteur utilisant le réseau sans prendre en compte l'impact de sa consommation sur la congestion dudit réseau et sur l'environnement.

<sup>a</sup> Voir la définition proposée par l'Arcep : <https://www.arcep.fr/nos-sujets/la-neutralite-du-net.html>

## Ce que les crises sanitaire et énergétique changent aux termes du débat

Il n'est pas possible d'instruire le débat sur les effets environnementaux du numérique sans l'inscrire dans le contexte des chocs successifs que représentent la crise sanitaire du Covid-19 et la crise énergétique résultant de la guerre en Ukraine.

Tout d'abord, la pandémie du Covid-19 a contribué à accélérer les usages des TIC<sup>4</sup> : s'il reste à ce stade difficile de mesurer avec certitude l'ampleur et la durée des transformations induites, celles-ci pourraient néanmoins avoir des conséquences structurelles, avec, par exemple, le développement du travail à distance ou le déploiement de services en ligne concernant l'éduca-

tion ou la médecine<sup>5</sup>. Ces transformations produisent à leur tour des effets complexes qui nécessiteront des analyses circonstanciées, et ce dans la durée.

Dans certains domaines, les résultats sont clairs : c'est le cas des téléconférences (qui se substituent à des événements en « présentiel »), qui se traduisent par une réduction considérable de l'empreinte carbone (supérieure à 90 %) (Tao Y. *et al.*, 2021). Ce type d'observation n'est, à l'évidence, pas surprenant, dès lors que les connexions à distance viennent, notamment, rendre moindres l'utilisation des transports aériens. Mais, concernant le télétravail, les analyses présentent un ordre de complexité nettement plus élevé (en raison d'une diversité d'effets rebond), dès lors que la faculté de télétravailler peut encourager les gens à s'éloigner de leur lieu de travail (créant le risque d'un allongement des trajets) ou à effectuer d'autres déplacements non professionnels, voire à influencer le comportement des autres membres du ménage en matière de déplacement (Caldarola et Sorrell S., 2022). En outre, l'effet de substitution dépendra des configurations locales : en moyenne, les trajets domicile-travail aux États-Unis sont plus longs qu'en Europe et sont plus largement effectués en voiture individuelle.

Enfin, soulignons le fait que les préoccupations en matière de sécurité énergétique suscitées par l'invasion de l'Ukraine par la Russie ont incité les pays à se tourner de plus en plus vers les énergies renouvelables, dont la capacité mondiale de production est susceptible de doubler au cours des cinq prochaines années (IEA, 2022). L'Europe s'inscrit dans cette dynamique, et ce d'autant plus qu'elle est la zone la plus directement affectée par la détérioration de la sécurité d'approvisionnement. Le plan « REpowerEU » de la Commission européenne, destiné à réduire la dépendance de l'UE au gaz russe, prévoit ainsi de porter de 40 à 45 % la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique en 2030, renforçant les contraintes de pilotage, et donc d'optimisation de ces énergies, notamment *via* des moyens numériques. Dans ce contexte, la Commission considère la transformation numérique du système énergétique comme une priorité politique, fixant à cette fin différents objectifs, notamment ceux de développer une infrastructure européenne de partage des données pour favoriser le déploiement de nouveaux services énergétiques et de promouvoir des actions de neutralité climatique dans le secteur des TIC (CE, 2022).

## Bibliographie

ANDRAE A. S. G. (2020), "Hypotheses for primary energy use, electricity use and CO<sub>2</sub> emissions of global computing and its shares of the total between 2020 and 2030", WSEAS Transaction on Power Systems.

ANDRAE A. S. G. (2021), "Internet's handprint", *Engineering and Applied Science Letter*, March.

<sup>4</sup> Arcep, « Rapport d'activité : L'état d'Internet en France », édition 2021, juillet.

<sup>5</sup> L'Organisation internationale du travail considère qu'environ un cinquième des emplois dans le monde pourraient potentiellement être organisés à domicile, ce taux montant à près de la moitié dans les pays européens (OIT, 2020).

- BENDIG D., SCHULZ C., THEIS L. & RAFF S. (2023), "Digital orientation and environmental performance in times of technological change", *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 188.
- BLOCKCHAIN FOR GOOD (2022), « Rapport *Blockchains & développement durable* », Association Blockchain for Good, France, septembre.
- CALDAROLA B. & SORRELL S. (2022), "Do teleworkers travel less? Evidence from the English National Travel Survey", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Volume 159.
- GESI (2019), "Digital with a Purpose – Delivering a smarter 2030".
- GREENIT (2019), "The environmental footprint for the digital world".
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2022), "Renewables".
- LI Z., LI N. & WEN H. (2021), "Digital economy and environmental quality: evidence from 217 cities in China", *Sustainability* 13 (14), 8058.
- LYU Y., WANG W., WU Y. & ZHANG J. (2023), "How does digital economy affect green total factor productivity? Evidence from China", *Science of The Total Environment*, Volume 857, Part 2.
- NGUYEN T. T., PHAM T. A. T. & TRAM H. T. X. (2020), "Role of information and communication technologies and innovation in driving carbon emissions and economic growth in selected G-20 countries", *Journal of Environmental Management*, 261.
- PÉREZ-MARTÍNEZ J., HERNANDEZ-GIL F., SAN MIGUEL G., RUIZ D. & ARREDONDO M.-T. (2023), "Analysing associations between digitalization and the accomplishment of the Sustainable Development Goals", *Science of The Total Environment*, Volume 857, Part 3.
- SANDVINE (2023), "How have the past two years changed us?", *The Global Internet Phenomena Report*, January.
- TAO Y., STECKEL D., KLEMEŠ J. J. & YOU. F. (2021), "Trend towards virtual and hybrid conferences may be an effective climate change mitigation strategy", *Nat. Commun* 12, 7324.
- THE SHIFT PROJECT (2019), "Climate crisis: The unsustainable use of online video".
- THE SHIFT PROJECT (2019), "Lean ICT: Towards digital sobriety".
- WANG J., MA X., ZHANG J. & ZHAO X. (2022), "Impacts of digital technology on energy sustainability: China case study", *Applied Energy*, Volume 323.
- WEI C., LI C.-Z., LÖSCHEL A., MANAGI S. & LUNDRÉN T. (2023), "Digital technology and energy sustainability: Recent advances, challenges, and opportunities", *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 190.
- WORLD ECONOMIC FORUM (2022), "Digital solutions can reduce global emissions by up to 20%. Here's how", May.
- ZHENG J. & WANG X. (2021), "Can mobile information communication technologies (ICTs) promote the development of renewables? Evidence from seven countries", *Energy Policy* 149.