

Le numérique, un choix de société compatible avec la transition écologique ?

Le télétravail comme cas d'étude



Johann Recordon

Correspondance

Johann Recordon, chargé de projet (Pôle Recherche), Centre de compétences en durabilité (CCD), Université de Lausanne, Suisse. Contact : johann.recordon@unil.ch

Référence bibliographique

Recordon, J. (2023). Le numérique, un choix de société compatible avec la transition écologique ? Le télétravail comme cas d'étude [Commentaire]. Centre de compétences en durabilité (CCD), Université de Lausanne (UNIL).

Deux conférences ont été données autour de la même thématique :

- Cours public du 6 octobre 2022, dans le cadre du cycle « Les défis contemporains du numérique », organisé conjointement par le Master interfacultaire en humanités numériques et L'éprouvette, le Laboratoire Sciences et Société de l'UNIL. Replay vidéo : <https://youtu.be/t2znHNqQEa8>
- Séminaire CLIMACT, épisode #12, « La sobriété numérique » du 27 mars 2023. Replay vidéo : <https://youtu.be/voFjGGjFR0>

Informations

Le Centre de compétences en durabilité (CCD) est un service de la Direction de l'Université de Lausanne (UNIL), spécialisé dans les questions de durabilité écologique et sociale. Il s'inscrit dans un positionnement de durabilité forte, à la suite des propositions formulées par les domaines de l'économie écologique et de l'éthique environnementale.

Le format *Commentaire* regroupe des textes écrits par des membres du CCD, permettant de proposer une lecture de thèmes de société et des questions qu'ils posent, à partir d'un positionnement de durabilité forte. Les textes sont relus et validés pas deux membres du CCD au minimum, ainsi que par un·e expert·e externe au CCD. Les textes sont relus et validés pas deux membres du comité éditorial du CCD au minimum, ainsi que par une experte ou un expert externe.

Mise en page et travail graphique

Niccolò Panozzo, chargé de communication pour la transition écologique UNIL.

Table des matières

Résumé	4
Introduction	5
Partie 1 : Coûts environnementaux et sociaux du numérique	6
Types d'impact et disponibilité des données	6
Impact écologique du numérique au niveau mondial	9
Impact écologique du numérique au niveau d'un pays, cas de la France	10
Partie 2 : Le numérique, un allié de la transition écologique ?	13
Avantages supposés du numérique en matière de transition écologique	13
Cas d'étude simplifié : le télétravail	15
Partie 3 : Quatre types d'effet rebond à prendre en compte pour le numérique	18
Conclusion	21
Références	24
Notes	28

Points clés

- En 2021, le numérique représentait 2 à 4 % des émissions mondiales de GES. Au rythme de croissance actuel, son impact risque de doubler d'ici à 2030.
- Les transports publics demeurent les moins impactants pour les trajets pendulaires, même si le télétravail semble permettre une économie d'émissions de GES par rapport à la voiture.
- Au moins huit types d'effets indésirables doivent absolument être considérés lors d'une généralisation de l'utilisation d'outils numériques, tels que le télétravail.

Résumé

Ces cinq dernières années, les études et interpellations se sont multipliées sur l'impact environnemental et social du numérique. Face à l'urgence d'un retour au sein des limites planétaires, ce *Commentaire* propose des pistes afin d'appréhender les enjeux liés à la mobilisation des outils numériques dans les choix de société.

La première partie montre que le numérique représentait 2-4% des émissions de gaz à effet de serre (GES) mondiales en 2021, avec un taux de croissance de 6-9% par an, pouvant amener à un doublement de son impact avant 2030. Considérant le besoin de réduire les émissions mondiales de 50% d'ici 2030 et 95% d'ici 2050, afin d'atteindre la neutralité carbone et respecter l'Accord de Paris, l'état actuel et anticipé du numérique au niveau mondial apparaît donc comme n'étant pas soutenable. Au niveau européen, grâce au cas bien documenté de la France, on constate que ce sont les terminaux utilisateurs (ordinateurs, téléphones, TV) qui sont la source de 79% à 87% des émissions (directes et indirectes) de GES et de la production de déchets. Dans une approche de sobriété numérique, c'est donc une réduction drastique de la demande en terminaux neufs qui est requise, ainsi que la limitation de la sur-disponibilité et des incitations à l'achat de nouveaux produits, tels que les objets connectés.

La deuxième partie classe les avantages théoriquement offerts par le numérique en matière d'impact selon le modèle *Avoid-Shift-Improve (ASI)* et montre qu'un questionnement fondamental des besoins perçus et de la demande (*Avoid*) semble nécessaire au sein d'une société de consommation. Le cas d'étude qui suit montre que le télétravail permettrait une économie de 60-90% des émissions de GES si les trajets pendulaires sont effectués en voiture, mais que les transports publics et actifs demeurent moins impactants lorsque la distance bureau-domicile est inférieure à 30km (trolleybus) ou 100km (train), aller-retour.

La troisième partie élargit le périmètre d'analyse du cas d'étude et identifie au moins neuf mécanismes induisant un effet rebond, classés selon quatre types (microéconomique : effet direct et effet indirect, macroéconomique : effet de marché et effet-croissance). S'y ajoutent, sur la base du *modèle du Donut*, au moins quatre types d'effets indésirables engendrés par le numérique (sur la santé physique et mentale, les conditions de travail, l'équité sociale, la biodiversité).

À la lumière de ces éléments, ce *Commentaire* conclut qu'il apparaît essentiel de procéder à examen extensif et rigoureux des effets délétères qui pourraient être engendrés par l'utilisation actuelle du numérique et, plus encore, par de futurs choix de déploiement de technologies qui lui sont liées. Les propositions pour une sobriété numérique au niveau sociétal semblent ainsi être l'axe de réflexion le plus fécond pour le futur.

Mots clés

Numérique, durabilité forte, modèle du Donut, limites planétaires, bien-être social, transition écologique, télétravail, effet rebond, sobriété numérique, émissions de GES.

Introduction

Qu'il soit comparé à celui de l'aviation ou de la consommation de viande de bœuf, l'impact environnemental du numérique figure désormais régulièrement dans les gros titres des journaux. En effet, Flipo (2021b, §4) note que depuis 2018 environ, les études se multiplient afin d'estimer l'empreinte environnementale générée par la digitalisation des modes de vie, permettant ainsi de nourrir un débat scientifique et public critique sur cette thématique.

Si le numérique a longtemps été promu comme un outil de dématérialisation des activités, son pendant matériel est pourtant bien réel. En effet, l'ADEME (2022, p. 21), Agence de la transition écologique, référence française en termes d'expertise environnementale, le considère sous au moins trois angles principaux : 1) les terminaux utilisateur final (smartphones, ordinateurs, TV) et l'IoT (objets connectés) ; 2) les infrastructures de réseau (fixe, mobile et backbone) ; 3) les centres de données, ainsi que la blockchain¹. En considérant que 68% de la population mondiale utilise un téléphone portable en 2023 et que 64% utilise internet (Kemp, 2023), il apparaît clairement que le numérique fait désormais partie de la vie de la majorité d'entre-nous². Si l'on ajoute à cela que le modèle d'affaire actuel se base sur un renouvellement technologique constant et une croissance de la consommation – le déploiement de la 6G étant prévu à l'horizon 2030 (Jiang et al., 2021), par exemple – ses impacts peuvent alors être compris comme étant non-seulement globaux mais aussi constamment renouvelés, voire décuplés au fil du temps.

En parallèle, dans une approche de durabilité forte – qui semble aujourd'hui incontournable afin de faire face aux crises écologique et sociales – telle que résumée dans le modèle du Donut (Raworth, 2017), deux conditions doivent nécessairement être remplies afin de préserver les bases de la vie sur terre et en permettre l'épanouissement :

- 1) ramener les sociétés humaines à l'intérieur des limites planétaires ;
- 2) garantir la satisfaction des besoins fondamentaux à tous les êtres. Le respect de ces conditions implique des réductions drastiques et rapides de nos impacts négatifs et cela pour tous les secteurs.

À titre d'exemple, on peut citer que l'objectif d'atteindre la neutralité carbone au niveau mondial, au plus tard en 2050, ainsi qu'il découle de l'Accord de Paris, représente une réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) d'environ 95% par rapport à aujourd'hui. (IPCC, 2018, p. 14)³. De plus, le respect de ces conditions nécessite de prendre en compte les impacts des biens et services que nous consommons sur toute leur chaîne de valeur, et non uniquement sur nos territoires, sur le plan environnemental mais aussi social.

Ainsi, dans cette perspective de durabilité forte, comme appréhender ce numérique omniprésent, globalisé et dont l'existence repose sur une matérialité bien réelle ? Considérant l'urgence d'un retour à l'intérieur de l'espace sûr et juste du Donut, comment se positionner face aux projets impliquant des outils numériques ?

*plan des parties
du Commentaire*

Dans la première partie de ce commentaire, je m'intéresserai aux impacts négatifs du numérique en termes quantitatifs, au niveau environnemental et social. Plus particulièrement, je croiserai plusieurs études estimant la part des émissions de GES qu'il représente au niveau mondial, puis je m'attarderai sur le cas relativement bien documenté de la France. Dans la seconde partie, je proposerai un résumé des types d'arguments qui sont formulés en faveur du recours au numérique, lorsqu'il est question d'atteindre des objectifs de durabilité, puis proposerai un cas d'étude sur le télétravail afin de les explorer. Enfin, dans la troisième partie, j'approfondirai ce cas d'étude en termes qualitatifs, afin de mettre en évidence les multiples mécanismes d'effet rebond qu'il implique, permettant de prendre du recul et de formuler des recommandations afin de se positionner sur une potentielle utilisation du numérique au sein de projets visant à l'atteinte d'objectifs de durabilité.

Partie 1 : Coûts environnementaux et sociaux du numérique

*les impacts
du numérique
en trois phases*

Types d'impact et disponibilité des données

Dans une approche étendue, c'est-à-dire sur toute la chaîne de valeur, on peut identifier trois phases principales au cours desquelles des impacts sont générés par le numérique : la production, l'utilisation, la fin de vie. La première prend en considération les impacts engendrés par l'extraction des matières premières, leur transformation, tous les procédés de fabrication ainsi que tous les transports requis jusqu'à la remise du produit ou service à la personne qui en fera usage. La seconde comprend les impacts liés à l'utilisation des équipements, étant majoritairement engendrés par la production et l'acheminement de l'électricité qu'ils consomment. La troisième prend en compte les impacts générés à l'issue de la phase d'utilisation, dès le moment où l'équipement est déposé dans un point de collecte ou jeté.

*définition
du numérique*

Il est utile de préciser que le *numérique* dont il est question ici est compris comme englobant tout ce qui découle du langage binaire (fait de 0 et de 1), ainsi que toutes les pratiques de l'espace constitué par l'internet. Ainsi, pour simplifier, on peut considérer que si une activité, qu'elle soit d'ordre professionnel ou privé, implique l'utilisation d'un terminal (smartphone, ordinateur, tablette, écran de télévision, console de jeux vidéo, objet connecté par Bluetooth ou Wi-Fi, écran de publicité, compteur intelligent, etc.), d'un réseau (câblé comme la fibre optique, mobile comme la 4G/5G, backbone, satellite, réseau d'entreprise, Wi-Fi, etc.) ou d'un centre de données

("datacenter" interne, opéré par un tiers, en colocation, Edge ou dédié au calcul haute performance HPC, etc.), alors elle doit être comprise comme étant liée au numérique.

types d'impacts
environnementaux
et sociaux

On peut identifier des impacts liés au numérique qui sont majoritairement environnementaux, soit ceux renforçant le dépassement des limites planétaires⁴, et des impacts majoritairement sociaux, soit ceux péjorant la satisfaction des besoins humains fondamentaux. Pour les premiers, ce sont les émissions de GES qui sont les mieux documentées et les plus comparables entre elles, suivies par la production de déchets et la consommation d'énergie finale. Les autres limites planétaires, telles que celles liées à la qualité de l'air, de l'eau et des sols, sont parfois évaluées dans les rapports. Enfin, des indicateurs comme l'épuisement des ressources abiotiques ou la consommation de matières premières sont parfois disponibles, qu'ils soient liés au cadre du *Product Environmental Footprint* (PEF), mis en place par l'Union Européenne (Manfredi et al., 2012), ou issus de démarches volontaires (ADEME, 2022a). Pour les seconds, c'est surtout la question de la santé physique et mentale qui est explorée, qu'elle concerne les populations – majoritairement dans les pays du Sud – touchées par les phases de production et de fin de vie (pollutions locales, exploitation humaine, exacerbation de conflits armés, etc.)⁵, ou les populations utilisant les équipements numériques (addiction, troubles du comportement alimentaire, retrait social, trouble du déficit de l'attention, dépression, etc.)⁶.

Les impacts du numérique sur la démocratie et l'égalité semblent également majeurs selon certaines études, en particulier à la lumière de la puissance détenue par les géants du numérique GAFAM (Google, Apple, Facebook, Amazon, Microsoft) et BATX (Baidu, Alibaba, Tencent, Xiaomi).

À titre d'exemple, ces derniers sont responsables, à eux seuls, de 80% du trafic de données écoulé par les réseaux (Ferreboeuf, 2019), soit l'écrasante majorité des parts de marché.

le manque de données
fiables sur les impacts
du numérique

En ce qui concerne les données quantifiables, il est important de mentionner que leur précision et leur disponibilité demeurent encore limitées en 2023, que ce soit au niveau mondial ou à l'échelle d'un pays, même si elles s'améliorent grâce aux études conduites ces dernières années. Cela est dû à au moins cinq raisons. Premièrement, la majorité des acteurs du numérique ne communiquent pas publiquement leurs données, notamment au niveau de la consommation électrique, et les équipements numériques requièrent des dizaines de ressources différentes pour produire leurs composants, venant de plusieurs pays, ce qui augmente la difficulté de récolte des informations.

Secondement, considérant que les réseaux et les centres de données sont aujourd'hui répartis presque partout dans le monde, qu'un paquet de données peut traverser plusieurs continents avant d'arriver

à destination, qu'il existe des différences considérables dans la manière de gérer les infrastructures numériques entre régions et pays, et qu'il demeure des différences fondamentales dans la manière de calculer leurs impacts (Masanet et al., 2020), les estimations à leur propos se basent donc sur des moyennes et se doivent d'effectuer des choix de périmètre, qui sont toujours discutables.

Troisièmement, l'impact de certaines activités spécifiques, telle que les applications blockchain ou l'entraînement et l'utilisation des intelligences artificielles, est encore peu connu ou difficilement mesurable. Il est donc encore rare de le voir mentionné dans les rapports sur l'empreinte du numérique.

Quatrièmement, les méthodes d'analyse de cycle de vie employées pour produire les estimations d'impact excluent volontairement certains aspects de la chaîne de valeur, telles que les émissions engendrées par le fonctionnement des bureaux et des véhicules utilisés par les personnes employées des centres de données ou des réseaux. Cette « *erreur de troncature* » est relevée par Freitag et al. (2021) en particulier. Leurs recherches estiment que la part du numérique dans les émissions mondiales de GES pourrait être prêt d'une fois et demie plus élevée que les estimations trouvées dans la littérature scientifique, une fois cette erreur corrigée⁷.

Enfin, il est important de noter que le numérique demeure un sujet clivant. Parmi les acteurs commanditant et fournissant des rapports à son sujet, se trouvent de nombreuses entreprises actives dans les télécoms et l'informatique, dont le propos tend à le présenter comme étant soit une solution au dérèglement climatique (p. ex. Deutsche Telekom/Microsoft/Samsung/Swisscom dans GeSI, 2015), soit un moindre mal (p. ex. Ericsson dans Malmödin & Lundén, 2018). Il faut néanmoins relever qu'au moins une de ces études fait exception (Huawei dans Andrae & Edler, 2015).

Photo. L'augmentation de la demande de matières premières, liées à la production des terminaux numériques, demeure un enjeu environnemental et géopolitique encore peu documenté.



En conséquence, les chiffres avancés dans les rapports disponibles sont donc des estimations, qui comprennent toujours un certain niveau d'incertitude et sont basés sur des hypothèses structurantes, souvent tacites, et qui ne sont jamais neutres. Néanmoins, les chiffres mentionnés dans ce présent *Commentaire* ont été choisis car ils semblaient provenir des études les plus objectives possibles.

Enfin, il paraît important de souligner que cette absence de chiffres parfaits ou de consensus absolu n'est pas isolée dans le domaine de la durabilité, et qu'elle ne doit en aucun cas empêcher d'effectuer des analyses ou de prendre des décisions collectives.

Afin de bénéficier des données les plus comparables et solides possibles, je me suis concentré sur les impacts environnementaux les mieux documentés. Cela implique que certaines des limites planétaires, ainsi que les impacts sociaux, ne sont pas abordées, ou du moins pas en termes quantitatifs.

Impact écologique du numérique au niveau mondial

Bien que la part représentée par le numérique dans les émissions de GES mondiales soit encore débattue, il semble raisonnable de l'estimer entre 2% et 4% pour l'année 2021, à la suite des conclusions de Freitag et al. (2021, p. 2) ainsi que des derniers chiffres proposés par The Shift Project (2021, p. 14-15). En comparaison, les véhicules légers (voitures et motos) représentaient 8% des émissions de GES mondiales en 2018 (The Shift Project, 2021, p. 14).

Plus que son état actuel, c'est sa croissance qui est soulignée comme étant inquiétante. En effet, The Shift Project (2021, p. 14) constate un taux de croissance des émissions du secteur de 6% par an entre 2013 et 2019 (ce qui représente un doublement tous les 12 ans), avec un risque important de passer à 9% à court terme, amenant à un doublement potentiel de l'impact du numérique avant 2030. Cela est confirmé par l'analyse conduite par Belkhir & Elmeligi (2018, p. 458), certes plus ancienne mais faisant référence sur la question.

Dans la perspective, mentionnée en introduction, de réduction des émissions mondiales de GES de 95% afin d'atteindre la neutralité carbone, cela implique nécessairement une réduction drastique des émissions actuelles engendrées par le numérique et un renversement de la tendance de croissance exponentielle de celles-ci. Si le passage de toute la chaîne de valeur du numérique aux énergies renouvelables permettrait théoriquement une réduction d'environ 86% de ses émissions de GES (Freitag et al., 2021, p. 7), ce gain potentiel demeure inférieur aux ambitions requises par la neutralité carbone. De plus, les auteurs notent qu'une croissance non-plafonnée de la demande énergétique du numérique annulerait probablement la majorité de ces gains, les énergies renouvelables n'étant pas dénuées d'impact, notamment carbone. On peut enfin ajouter que ce potentiel de réduction ne concerne que les émissions de GES, le pas-

*un secteur aux émissions
en forte croissance*

*l'insuffisance du seul
passage aux énergies
renouvelables*

sage aux énergies renouvelables ne résolvant pas nécessairement, voire accentuant, les conséquences néfastes sur les autres limites planétaires et le plancher social, notamment en termes d'approvisionnement en métaux stratégiques⁸.

Impact écologique du numérique au niveau d'un pays, cas de la France

un impact non-négligeable en termes d'empreinte carbone, de déchets et de consommation électrique

Bien que les données d'impact du numérique en Suisse soient encore lacunaires, nous pouvons nous appuyer sur l'étude détaillée du numérique en France, publiée par l'ADEME en 2022-23, sur la base des chiffres nationaux de 2020, afin de fournir des ordres de grandeur⁹. Celle-ci trouve en effet que le numérique représente 2,5% de l'empreinte carbone totale de la France, 6% de la production de déchets¹⁰ et 10% de la consommation électrique finale française (ADEME, 2022a, p. 99). En comparaison, les véhicules légers comptent pour 21% de l'empreinte carbone française (Carbone 4, 2022).

Dans une approche prospective, l'ADEME (2023, p. 65) estime, pour un scénario tendanciel, que l'impact carbone du numérique va augmenter de près de moitié d'ici à 2030, et quasiment tripler d'ici à 2050, ce qui représente un taux de croissance annuel d'environ 3.6%.

une majorité des impacts générée pendant la phase de production

La phase de production représente l'écrasante majorité de ces impacts pour un pays comme la France, soient 79% des émissions de GES et 98% de la production de déchets du numérique (ADEME, 2022a, p. 109). Cela est principalement dû, expliquent les autrices et auteurs, à la forte demande en énergie et en matières rares, générée par la fabrication des équipements, et au mix encore fortement carboné des pays où elle a lieu.

l'impact démesuré des terminaux numériques

Lorsqu'on regarde ces impacts du point de vue des équipements et infrastructures (ADEME, 2022a, p. 106), ce sont les terminaux utilisateurs qui en sont très majoritairement responsables, représentant 79% des émissions de GES, 87% de la production de déchets et 64% de la consommation d'énergie finale. En comparaison, les réseaux et les centres de données ne représentent que 6% à 22% chacun de ces mêmes types d'impact. Cette répartition devrait demeurer sensiblement la même d'ici à 2050, dans un scénario tendanciel, à deux exceptions près. Tout d'abord, la consommation électrique des terminaux, dont la croissance sera plus faible que pour le reste du numérique, verra sa part de la consommation électrique passer de 64% à 48%. Les centres de données, quant à eux, devraient voir leur consommation électrique presque quadrupler, leur part passant de 22% à 42% de la consommation totale du numérique en 2050 (ADEME, 2023, p. 65-66).

Si l'on regarde plus en détails les émissions de GES générées par les terminaux pendant les phases de production et de fin de vie (ADEME, 2022a, p. 117-118), il ressort que ce sont les ordinateurs et tablettes qui y contribuent pour plus d'un tiers (portables 18%, fixes

13%, tablettes 7%), suivis à égalité par les téléphones (smartphones 22%, autres 1%) et les écrans (téléviseurs 14%, écrans d'ordinateurs 4%, vidéoprojecteurs et box TV 3%, autres 2%). On peut noter que l'IoT représentait déjà, dans les chiffres de 2020, 4% des émissions de GES des terminaux. D'ici à 2050, l'ADEME (2023, p. 78) estime que ce sont les téléviseurs qui représenteront le poste principal d'émissions de GES (37%), suivies par l'IoT (25%), dont la croissance aura été fulgurante.

la fin du cycle de vie des terminaux numériques

Quant à la production de déchets générée par les terminaux pendant les phases de production et fin de vie (ADEME, 2022a, p. 117-118), ce sont les écrans qui en sont responsables à près de moitié (téléviseurs 33%, écrans d'ordinateurs 4%, vidéoprojecteurs et box TV 5%, autres 6%), suivi par les ordinateurs et tablettes (portables 9%, fixes 16%, tablettes 8%). Les téléphones, enfin, ne sont responsables que de 4% des déchets générés par les terminaux, résultat proche de la part de l'IoT, représentant 3% en 2020.

Ces chiffres, repris dans le Tableau 1 ci-dessous, permettent de dégager deux conclusions principales pour un pays comme la France.

Premièrement, la phase de production est largement la plus impactante aujourd'hui, et le sera encore en 2050. En ce qui concerne les autres impacts environnementaux et sociaux, cette phase étant très gourmande en énergie et de plus en plus complexe, il semble peu probable qu'une réduction significative puisse être envisagée à moyen terme, à moins d'une réforme globalisée du secteur.

Secondement, les terminaux utilisateurs sont les plus impactants aujourd'hui, ce qui s'explique par deux facteurs : leur grand nombre et leur faible intensité d'usage, en comparaison aux réseaux et centres de données (ADEME, 2022a, p. 106). Les téléviseurs, en particulier, de par l'augmentation de leur connectivité, leur taille et leur résolution, sont les terminaux générant le plus de déchets du numérique et seront les plus émetteurs de GES en 2050, surpassant les smartphones et les ordinateurs portables.

comment réduire l'impact du numérique

Dans une approche de sobriété pour un pays consommateur de produits et services numériques, il convient donc de focaliser les efforts sur la réduction drastique de la demande en terminaux neufs. Cela passe en priorité par l'allongement de la durée de vie des équipements existants (entretien, réparation, seconde main, etc.) et le choix d'équipements neufs correctement dimensionnés par rapport aux besoins (taille des écrans, puissance de calcul, fonctionnalités, etc.). Considérant le nombre croissant d'objets connectés, représentant déjà 3-4% de toutes les catégories d'impact du numérique en 2020 ainsi que les estimations qui prédisent une explosion de la demande de ceux-ci d'ici à 2050, il convient d'être particulièrement prudent·e·s quant à leur sur-disponibilité sur le marché, ainsi qu'aux incitations à leur achat.

	Émissions de GES	Production de déchets	Consommation d'énergie finale (usage)
Part du numérique dans les impacts (territoriaux + extraterritoriaux) de la France	2,5%	6%	10%
Décomposition de l'impact du numérique en France par phase du cycle de vie			
Phase de production	79%	98%	-
Phase d'utilisation	21%	0%	100%
Phase de fin de vie	0%	2%	-
Décomposition de l'impact du numérique en France par types d'équipements et infrastructures			
Terminaux utilisateurs	79%	87%	64%
Réseaux	6%	6%	14%
Centres de données	16%	8%	22%
Contributions par catégories de terminaux utilisateurs, pour les phases de production et fin de vie (utilisation exclue)			
Ordinateurs et tablettes	37%	33%	-
Portables	18%	9%	-
Fixes	13%	16%	-
Tablettes	7%	8%	-
Téléphones	23%	4%	-
Smartphones	22%	2%	-
Feature phones	1%	2%	-
Lignes fixes	1%	1%	-
Écrans et matériel audiovisuel	23%	47%	-
Téléviseurs	14%	33%	-
Écrans d'ordinateurs	4%	4%	-
Vidéoprojecteurs	1%	1%	-
Box TV	2%	4%	-
Autres écrans	2%	6%	-
IoT	4%	3%	-
Consoles, stockage, autres	13%	13%	-

Tableau 1 - Résumé choisi des impacts du numérique en France en 2020. Source : ADEME, 2022a, chiffres pour l'année 2020.

Partie 2 : Le numérique, un allié de la transition écologique ?

Depuis plusieurs décennies, le numérique est présenté comme un potentiel contributeur à l'atteinte d'objectifs environnementaux et sociaux. Pourtant, les gains avancés par ses promoteurs en termes de réduction de la pression sur les limites planétaires ne semblent pas se vérifier dans la pratique¹¹. Afin de comprendre les raisons pouvant expliquer cette divergence, je commencerai par résumer les divers avantages théoriquement offerts par le numérique, tels qu'ils sont généralement mobilisés lors de la promotion de son utilisation par les industriels mais aussi dans des textes citoyens comme le *Human Smart City Manifesto* (de Oliveira, 2016). Je proposerai ensuite une première analyse des limites des bienfaits supposés du numérique, puis prendrai le cas du télétravail afin d'en estimer, quantitativement, le potentiel de réduction des émissions de GES.

Avantages supposés du numérique en matière de transition écologique

trois stratégies de réduction des impacts

Afin de classer et analyser les avantages liés à l'utilisation du numérique, je fais recours au modèle *Avoid-Shift-Improve (ASI)*, développé en Allemagne au début des années 1990 (Creutzig et al., 2018, Box 1). Celui-ci propose trois stratégies de réduction des impacts négatifs (voir Tableau 2), que je définis ici de la manière suivante :

1. Le **questionnement** de nos modes de faire, visant *in fine* à une réduction de la demande de produits, services et actions générant des impacts négatifs (*Avoid*) ;
2. La **substitution** d'outils fortement impactant par des outils dont l'impact négatif est moindre (*Shift*) ;
3. L'**optimisation** d'outils existants et futurs, afin de réduire leurs impacts négatifs sur l'environnement et la société (*Improve*).

Questionnement (Avoid) de nos modes de faire	Substitution (Shift) d'outils fortement impactant	Optimisation (Improve) des outils existants et futurs
Gouvernance bottom-up, partagée, décentralisée p. ex. afin de prendre des décisions privilégiant les intérêts des citoyennes et citoyens / de la nature	Flux de données plutôt que flux physiques p. ex. télétravail, vidéoconférence, livestream	Augmentation d'efficacité p. ex. gestion intelligente (bâtiments, trafic, industrie, réseau électrique, etc.)
Accès libre aux services et aux données p. ex. logiciels open source, open government, open data	Dématérialisation "absolue" p. ex. documents numériques, économie de services (secteur tertiaire), impression 3D locale	Dématérialisation relative p. ex. compression des données

Tableau 2 – Avantages théoriquement offerts par le numérique, en termes de transition écologique, mentionnés dans la littérature scientifique et grise.

Le potentiel de réduction des impacts négatifs offert par le numérique est dépendant de nombreux paramètres, notamment la situation spécifique dans laquelle les outils numériques sont déployés (échelle, taux d'adoption, choix des équipements, etc.). Bien que cela rende difficile une estimation rigoureuse du potentiel de réduction, à un niveau général comme il est présenté ici, il est possible d'offrir quelques commentaires sur les possibilités offertes pour chaque stratégie.

Pour commencer par la stratégie la plus communément employée, le potentiel engendré par l'optimisation est dépendant du degré d'inefficience des outils au moment du calcul. En effet, plus un outil est perfectionné, moins il offrira de gains d'efficience potentiels.

la chimère de l'optimisation

On peut alors supposer que plus le temps passe, plus les outils s'améliorent et deviennent performants, et plus le potentiel de réduction de leurs impacts négatifs diminue¹². Si cette stratégie est nécessaire afin de ne pas dépenser inutilement des ressources, elle ne peut en aucun cas permettre d'atteindre les objectifs de réduction requis par la neutralité carbone, tels que mentionnés en introduction, ni être une stratégie viable sur le long-terme. En effet, même les estimations très ambitieuses du potentiel de réduction des émissions de GES mondiales, grâce aux optimisations offertes par le numérique, formulée dans les rapports SMARTer (GeSI, 2012, 2015), à 16.5% d'ici à 2020, puis à 20% d'ici 2030, restent bien éloignées de l'objectif de réduction de 95%, mentionné en introduction.

une substitution nécessaire mais insuffisante

Ensuite, lorsqu'un outil demeure trop impactant, malgré une optimisation interne maximisée, il est en principe remplacé par un outil dont l'impact est moindre. Cette stratégie de *substitution* permet, théoriquement et toutes choses demeurant égales par ailleurs, des réductions significatives des impacts négatifs, comme estimé ci-dessous pour le télétravail. Il semble donc indispensable de mettre en pratique cette stratégie, même si les réductions qu'elle rend possibles restent probablement encore en-deçà des objectifs de réduction requis.

remettre en question les besoins et la demande

Enfin, la stratégie de *questionnement* est souvent la moins considérée par les gouvernements et les industries, en partie car ses effets sont encore plus difficiles à quantifier que pour les deux précédentes, mais également car elle suppose un changement des modes de faire et de vivre. Pourtant, que ce soit à un niveau général, comme dans le rapport du troisième groupe de travail du GIEC (IPCC, 2022), ou plus spécifiquement sur les questions de numérique, comme dans le cas de la Smart City¹³, les expertes et experts de la durabilité s'accordent sur le besoin de transformation profonde de nos sociétés. De plus, cette stratégie permet la remise en question des besoins perçus et de la demande supposée en biens et services, ce qui provoque un renversement de la logique habituelle, en particulier lorsqu'elle est faite en première intention et non en dernier recours. En effet, au sein d'une société de consommation, les besoins perçus se rapprochent probablement plus

des désirs de confort et de plaisir, qui peuvent être stimulés à l'infini par les techniques de marketing, que des besoins humains fondamentaux. D'autre part, la demande future est principalement estimée par *forecasting*, c'est-à-dire en extrapolant la demande historique, ce qui tend à reproduire le passé, plutôt que par *backcasting*, c'est-à-dire en se basant sur l'état souhaitable de la société future. Ainsi, l'équation à résoudre semble faussée dès le départ si les variables des besoins et de la demande ne sont pas fondamentalement remises en question.

Cas d'étude simplifié : le télétravail

Afin d'illustrer l'une de ces stratégies, et d'explorer ses conséquences directes et indirectes, je me suis penché sur les opportunités de réduction des émissions de GES offertes par le télétravail. En effet, celui-ci s'est largement démocratisé en Suisse et à l'étranger en 2020-21, pendant les confinements liés à la crise de COVID-19, et a généré des recherches scientifiques sur ses impacts, ce qui le rend non-seulement plausible mais également de plus en plus mesurable. Il est considéré ici sous l'angle de la mobilité, comme une stratégie de substitution (*Shift*).



comparaison de deux situations

Pour ce cas d'étude simplifié, j'ai donc comparé deux situations :

1. Une journée de travail au bureau, impliquant un trajet pendulaire de 20km aller-retour¹⁴ ;
2. Une journée de télétravail depuis le domicile, impliquant 6h de vidéoconférence avec une personne et avec le partage d'écran activé, mais aucun trajet.

Pour la première situation, j'ai estimé les émissions de gaz à effet de serre engendrées par le trajet pendulaire, calculées pour cinq options de transport¹⁵ :

- 1a. Véhicule individuel, voiture de taille moyenne à motorisation thermique ;
- 1b. Covoiturage à 2 personnes, voiture de taille moyenne à motorisation thermique ;
- 1c. Covoiturage à 4 personnes, voiture de taille moyenne à motorisation thermique ;
- 1d. Trolleybus électrique, taux d'occupation moyen de 14 personne / véhicule ;
- 1e. Train et métro, avec un allongement du trajet pendulaire à 30km aller-retour, dû aux lignes moins directes entre le domicile et le bureau.

Les émissions moyennes de gaz à effet de serre par km.passager, pour chaque option de transport, ont été calculées sur la base des chiffres publiés par Carbone 4 (2021, 2020), puis adaptées pour le contexte suisse. Celles-ci comprennent les émissions directes et indirectes¹⁶.

Pour la seconde situation, j'ai estimé les émissions de gaz à effet de serre (directes et indirectes) engendrées par la vidéoconférence, sur la base des chiffres publiés par Quantis (2020).

Ces différentes valeurs sont résumées au Tableau 3, ci-dessous :

Modes	Émissions de GES totales	Unités
1a. véhicule individuel	248	g CO2éq / km.passager (i.e. pour 1 passager·e pendant 1 km)
1b. covoiturage à 2 personne	124	
1c. covoiturage à 4 personnes	62	
1d. trolleybus électrique	17	
1e. train et métro	5	
2. vidéoconférence	82	g CO2éq / heure

Tableau 3 - Émissions de GES totales (directes + indirectes) par mode de transport et pour la vidéoconférence.
Sources : Carbone 4 (2021, 2020), Quantis (2020)

aspects non considérés

Ce cas d'étude est volontairement limité aux aspects mentionnés ci-dessus, afin de le rendre facilement calculable et compréhensible. J'ai ainsi considéré l'impact des autres variables, en termes d'émissions de GES, comme constant entre les deux situations, et n'exerçant donc aucune influence sur le résultat de la comparaison. Voici une liste non-exhaustive de celles-ci :

- Consommation électrique (appareils électroniques et éclairage requis similaires entre le bureau et le domicile) ;
- Repas (le même plat, réchauffé de la même manière au bureau ou au domicile) ;
- Chauffage du logement (stable, que le logement soit occupé ou non pendant la journée) ;
- Chauffage du bureau (stable, que le bureau soit occupé ou non pendant la journée) ;
- Achat de matériel informatique (stable, un ordinateur portable uniquement).

Le Tableau 4, ci-dessous, exprime les émissions de GES totales (directes + indirectes) engendrées par un jour de travail, selon le mode de transport choisi, ainsi que les différences d'émissions de GES engendrées par le choix du télétravail :

Modes	Émissions de GES Kg CO ₂ éq / jour de travail	Différences d'émissions de GES si télétravail
1a. véhicule individuel	5,0	-90%
1b. covoiturage à 2 personne	2,5	-80%
1c. covoiturage à 4 personnes	1,2	-60%
1d. trolleybus électrique	0,3	+45%
1e. train et métro	0,2	+228% ²¹
2. vidéoconférence	0,5	-

Tableau 4 - Émissions de GES totales (directes + indirectes) par mode de transport et pour la vidéoconférence. Sources : Carbone 4 (2021, 2020), Quantis (2020)

*le télétravail moins
impactant que la
voiture...*

On peut constater que toutes les options de transport en voiture sont beaucoup plus émettrices de GES que la vidéoconférence, ce qui engendre un potentiel de réduction très important (60-90%) grâce au télétravail, et cela même lorsque le véhicule est à son taux d'occupation maximal (4 personnes). Selon les taux d'émission utilisés ici, le télétravail est préférable dès que les trajets domicile-bureau dépassent 2 km (si véhicule individuel), 4 km (si covoiturage à 2 personnes) et 8 km (si covoiturage à 4 personnes) aller-retour.

*... mais les transports
publics demeurent
la solution la plus sobre*

En revanche, le trolleybus électrique, et a fortiori le train et le métro, sont des modes de transport très peu carbonés dans un pays comme la Suisse, ce qui les rend préférables au télétravail, selon les résultats ci-dessus. Sur la base des taux d'émissions utilisés ici, il faudrait que le trajet domicile-bureau en trolleybus soit supérieur à 30km aller-retour (distance équivalente à Lausanne-Morges), et à 100km en train/métro (distance équivalente à Morges-Genève), pour que le télétravail devienne plus économe en émissions de GES.

Ainsi, ce cas d'étude simplifié tendrait à favoriser fortement le télétravail pour une personne effectuant habituellement ses trajets pendulaires en voiture, mais tendrait à privilégier la présence au bureau pour une personne se déplaçant en transports publics électriques¹⁷.

Cela étant dit, peut-on généraliser de telles conclusions afin d'orienter des politiques publiques à l'échelle d'une ville, ou encore pour établir une *rule-of-thumb* du travail numérique durable ? Dans une approche systémique de durabilité forte, il convient d'élargir le périmètre d'analyse afin d'inclure les effets que l'on peut raisonnablement anticiper lors d'une adoption sociétale, et non simplement individuelle, du télétravail.

Partie 3 : Quatre types d'effet rebond à prendre en compte pour le numérique

effets rebond vs. mécanismes

D'une manière simplifiée, l'effet rebond peut être décrit comme l'augmentation de l'utilisation d'un bien ou service, conséquemment à une baisse de son coût. Sur la base du cas d'étude du télétravail, décrit précédemment, il est possible d'explorer des mécanismes induisant au moins quatre types d'effet rebond, permettant de considérer le télétravail au-delà de l'échelle individuelle et de l'économie pure d'émissions de GES. Pour ce faire, je me suis principalement appuyé sur trois références de la littérature scientifique en économie écologique et urbanisme.

Premièrement, il convient de spécifier, à la suite de Lange et al. (2021, p. 6), qu'il est utile de différencier l'*effet rebond*, soit la quantification de l'impact, des *mécanismes* qui l'engendrent. Je me réfère donc ici aux *mécanismes* afin d'identifier les liens de causalité entre l'adoption du télétravail et l'augmentation des impacts écologiques et sociaux, et à l'*effet rebond* afin d'établir une typologie adéquate à l'analyse du cas d'étude.

Secondement, je propose d'adapter la typologie proposée par Daumas (2020, p. 190-91), basée sur la littérature économique, composée de deux ordres, chacun subdivisés en deux types, explicités ci-dessous. Celle-ci me semble être suffisamment précise pour explorer en détails les divers effets engendrés par le télétravail, tout en évitant de se perdre dans la complexité des impacts possibles. On notera néanmoins, à titre d'information, que Lange et al. (2021, p. 6, Fig. 3) différencie 4 niveaux (micro-méso-macro-global) et 2 temporalités (court-terme, long-terme), permettant d'identifier 17 mécanismes généraux au total. Ces aspects pourraient être mobilisés afin d'approfondir l'analyse présentée ci-dessous.

Troisièmement, je m'appuie sur les premiers résultats du projet de recherche FNS intitulé *Le télétravail mène-t-il à des pratiques de mobilité durables ? Connaître et dépasser les effets rebond dans l'espace-temps*¹⁸, publié dans l'article par Hostettler Macias et al. (2022), afin de proposer une esquisse des mécanismes liés à notre cas d'étude, engendrant un effet rebond¹⁹.

les quatre types d'effet rebond du numérique

La typologie proposée par Daumas (2020, p. 190-91), adaptée pour ce cas d'étude au Tableau 5 ci-dessous, se subdivise en deux ordres et quatre types d'effet rebond. L'ordre microéconomique, tout d'abord, contient les mécanismes observables à l'échelle d'une personne et qui sont entraînés par des ajustements de choix de consommation. Les mécanismes engendrant un *effet direct* sont relatifs à l'augmentation de la consommation d'un bien ou service lorsque celui-ci voit son efficacité énergétique augmenter. Ceux engendrant un *effet indirect* sont induits par le réinvestissement de l'argent économisé dans la consommation d'autres biens et services. Autrement dit, au niveau microéconomique d'une personne, d'un foyer ou d'une entreprise, lorsqu'un produit ou service coûte moins cher car il est devenu plus efficient énergétiquement, soit on en consomme d'avantage, soit on utilise les économies ainsi réalisées pour consommer d'autres produits et services. Dans notre cas d'étude, cela se traduit par une

augmentation potentielle du nombre total de kilomètres parcourus pour une personne, lorsque celle-ci n'a plus l'obligation de se rendre au bureau tous les jours grâce au télétravail.

L'ordre macroéconomique, quant à lui, contient les mécanismes qui s'observent au niveau de l'économie et peuvent modifier la compétitivité et la productivité de secteurs entiers. Ceux induisant un *effet de marché* sont corollaires à ceux de l'effet microéconomique direct, en cela qu'un bien ou service, devenant plus efficient énergétiquement et donc moins cher, aura tendance à être consommé d'avantage à large échelle, supplantant ses concurrents. Dans notre cas d'étude, cela pourrait, par exemple, prendre la forme d'un regain d'attractivité pour les lieux de vie en régions rurales, si le télétravail venait à se généraliser. Les mécanismes engendrant un *effet-croissance*, quant à eux, font référence à l'augmentation potentielle des investissements dans des secteurs existants ou émergents, lorsque ceux-ci bénéficient d'une augmentation de leur efficacité énergétique. Un exemple lié à notre cas d'étude serait le financement d'espaces de coworking en montagne, afin d'offrir un lieu de travail à distance dépayssant.

Ordre	Type	Mécanismes liés au télétravail
Micro-économique	Effet direct	<ul style="list-style-type: none"> Partir habiter plus loin de son travail Acheter/louer une résidence secondaire pour y télétravailler Choisir un emploi plus éloigné du domicile mais permettant plus de télétravail
	Effet indirect	<ul style="list-style-type: none"> Réinvestir le temps et l'argent économisés dans de la mobilité de loisir Augmenter son temps de travail effectif (et donc son revenu et/ou les impacts négatifs liés au travail)
Macro-économique	Effet de marché	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation de l'attractivité des lieux de vie en régions rurales Digitalisation et délocalisation des emplois
	Effet-croissance	<ul style="list-style-type: none"> Apparition d'espaces de coworking en montagne Croissance du nomadisme digital

Tableau 5 - Émissions de GES totales (directes et indirectes) par mode de transport et pour la vidéoconférence. Sources : Carbone 4 (2021, 2020), Quantis (2020)

En plus de ces quatre types d'effet rebond potentiels, et selon le cadre conceptuel du Donut (Raworth, 2017), il est possible d'esquisser encore de nombreux effets indésirables, en particulier au niveau du socle social, qui pourraient tous être engendrés par une adoption plus généralisée du télétravail, tels que des impacts sur :

*les impacts
du télétravail sur les
êtres humains
et la biodiversité*

- La santé physique et mentale (augmentation du temps passé derrière un écran, difficultés accrues à séparer le temps et l'espace de travail du temps et des espaces de repos, augmentation de la sédentarité, *dysmorphie Zoom*²⁰, ainsi que tous les effets déjà recensés par Chirico et al., 2021) ;
- Les conditions de travail (dumping salarial, augmentation de l'efficacité au travail sans modification du salaire, disparition des échanges informels) ;
- L'équité sociale (nouveaux prérequis à l'emploi : maîtrise autonome des outils informatiques, disponibilité d'une pièce dédiée au travail et équipée à son domicile, gentrification de quartiers populaires par les *digital nomads*) ;
- La biodiversité (extension du patrimoine bâti et de l'imperméabilité des sols si les régions rurales et de montagne deviennent plus attractives).

*des effets multiples
de la généralisation
du numérique qui
demandent
un examen rigoureux*

À la lumière de ces premières pistes, ainsi que des modifications sociales profondes liées à l'utilisation du numérique ces trente dernières années, il me semble que la présence de celui-ci et, plus encore, les futurs choix de déploiement de technologies qui lui sont liées, méritent un examen extensif et rigoureux des effets délétères qui pourraient être engendrés. Si l'analyse simplifiée et étroite que j'ai conduite sur le télétravail dans la Partie 2 met en exergue des gains potentiellement intéressants, en termes d'émissions de GES, ceux-ci ne représentent que la pointe émergée de l'iceberg formé par les effets multiples et multidimensionnels qui doivent être considérés. En conséquence, arguer en faveur d'une généralisation du télétravail ne doit, en aucun cas, se contenter de résultats si étroits et spécifiques. Pourtant, c'est bien souvent ce qui se passe dans la pratique, comme le relève Flipo (2021a, p. 76-77).

Il convient également de rappeler que, même dans ce cas simplifié, la solution des transports publics demeurerait la moins impactante pour une distance domicile-bureau raisonnable (soit inférieure à 100km), et que les transports actifs (marche, vélo) sont toujours la solution la mieux décarbonée, lorsqu'il est logistiquement possible de les utiliser.

Si le télétravail est sans conteste une piste intéressante à creuser pour repenser la mobilité pendulaire dans une société écologiquement et socialement durable, il ne devrait pas supplanter des options low-tech ou existantes, qui sont déjà plus performantes et, parfois, plus désirables.

Conclusion

Afin de proposer une perspective de durabilité forte sur les enjeux actuels liés à l'utilisation du numérique, je me suis penché, dans la première partie de ce *Commentaire*, sur la part du numérique en termes d'émissions mondiales de GES. Celle-ci peut être estimée à 2-4% pour l'année 2021 – contre 8% pour les véhicules légers (voitures et motos), à titre de comparaison – avec un taux de croissance de 6-9%, pouvant amener à un doublement de cette part avant 2030. Considérant le besoin de réduire les émissions mondiales de 95% d'ici 2050 afin d'atteindre la neutralité carbone et respecter l'Accord de Paris, l'état actuel et anticipé du numérique au niveau mondial apparaît donc comme n'étant pas soutenable. Afin de localiser la problématique au niveau européen, je me suis appuyé sur le cas bien documenté de la France, permettant de mettre en exergue que ce sont les terminaux utilisateurs (ordinateurs, téléphones, TV) qui sont la source de 79% à 87% des émissions (directes et indirectes) de GES et de la production de déchets. Dans une approche de sobriété pour un pays majoritairement consommateur (et non producteur) de produits et services numériques, il convient donc de focaliser les efforts sur la réduction drastique de la demande en terminaux neufs, et de limiter la sur-disponibilité et les incitations à l'achat de nouveaux produits, tels que les objets connectés.

Dans la seconde partie, j'ai recensé les avantages théoriquement offerts par le numérique en matière d'impact environnemental et social, tels qu'ils sont mobilisés lors de la promotion de son utilisation. Je les ai classés selon le modèle *Avoid-Shift-Improve (ASI)* et j'ai énoncé une première série de limites, permettant de conclure que ni l'optimisation (*Improve*), ni la substitution (*Shift*) ne seront suffisantes. En effet, un questionnement fondamental des besoins perçus et de la demande (*Avoid*) semble nécessaire au sein d'une société de consommation. Afin d'illustrer la stratégie de la substitution, j'ai présenté un cas d'étude simplifié sur le télétravail. Les conclusions principales qui peuvent en être tirées sont que, pour une personne effectuant ses trajets pendulaires en voiture thermique, qu'elle soit seule ou en covoiturage, 60-90% de ses émissions de GES peuvent être économisées grâce au télétravail. En revanche, si les trajets sont effectués en transport public ou actifs et que la distance bureau-domicile est inférieure à 30km (trolleybus) ou 100km (train), aller-retour, il est préférable de travailler en présentiel.

Enfin, dans la troisième partie, j'ai élargi le périmètre d'analyse de ce cas d'étude simplifié, afin d'explorer les mécanismes induisant un effet rebond, engendrés par une adoption du télétravail, en particulier lorsque celle-ci est collective. Sur la base de la littérature scientifique, j'en ai identifiés au moins neuf, répartis en quatre types. Au niveau microéconomique d'une personne, d'un foyer ou d'une entreprise, se trouvent les mécanismes induisant que, lorsqu'un produit ou service coûte moins cher car il est devenu plus efficient énergétiquement, soit on tend à en consommer d'avantage (*effet direct*), soit on tend à utiliser les économies ainsi réalisées pour consommer d'autres produits et services (*effet indirect*). Au niveau macroéconomique d'une société ou d'un pays, se trouvent les mécanismes induisant que, lorsqu'un bien ou service devient plus efficient énergétiquement et donc moins

cher, il aura tendance à être consommé d'avantage à large échelle, supplantant ses concurrents (*effet de marché*), ainsi que les mécanismes générant une augmentation des investissements dans des secteurs existants ou émergents lorsque ceux-ci bénéficient d'une augmentation de leur efficacité énergétique (*effet-croissance*). Enfin, sur la base du modèle du Donut, j'ai ajouté à ces quatre types d'effet rebond une liste non-exhaustive d'effets indésirables engendrés par le numérique, soient ceux sur la santé physique et mentale, sur les conditions de travail, sur l'équité sociale, ou encore sur la biodiversité. À la lumière de ces éléments, il apparaît essentiel de procéder à un examen extensif et rigoureux des effets délétères qui pourraient être engendrés par l'utilisation actuelle du numérique mais, plus encore, de futurs choix de déploiement de technologies qui lui sont liées.

Photo. Les émissions de GES dues au trafic routier pendulaire pourraient théoriquement être fortement réduites grâce au télétravail. Néanmoins, les effets rebond dus à sa généralisation sont encore méconnus et les transports publics demeurent une alternative existante et particulièrement sobre.

Plusieurs limites aux éléments et résultats énoncés ont été mentionnées au cours de ce *Commentaire*. Notamment, on peut relever le peu de disponibilité des chiffres liés au numérique, ainsi que la complexité de leur construction, résultant de l'implication de centaines d'acteurs, privés et publics, dans la chaîne de valeur de chaque objet ou service numérique. De manière similaire, le cas d'étude proposé dans la deuxième partie a été fortement simplifié et les mécanismes d'effet rebond, esquissés dans la troisième partie, ne permettent que d'entrevoir la masse d'interconnexions et d'interdépendances qui se cache sous cette pointe émergée de l'iceberg. En particulier, au-delà des émissions de GES qui sont abordées ici, se trouve la totalité des autres limites planétaires, pour lesquelles je n'ai pas trouvé de chiffres qui me paraissent suffisamment probants et comparables afin d'être utilisés aujourd'hui. Face à ces limites, on peut bien sûr espérer que d'autres bureaux d'études et groupes de recherche, à



l'instar de Quantis ou de l'ADEME au niveau national, mais aussi leurs homologues au niveau international, continuent de fournir de nouvelles analyses de cycle de vie et d'impact, incluant toujours plus de paramètres environnementaux et sociaux. De manière similaire, le travail de recherche en sciences sociales, comme celui effectué par Flipo ou Hostettler Macias et al., paraît essentiel afin de tisser, et à la fois démêler, les liens entre numérique et société, nous permettant d'aborder ces enjeux de manière holistique et d'embrasser leur caractère multidimensionnel.

Il me semble néanmoins que les problèmes d'analyse générés par les limites mentionnées ci-dessus ne seront pas résolus dans ces prochaines années. Pourtant, la fenêtre d'opportunité dont nous disposons, en particulier en Occident, pour agir face à la crise écologique est très courte. Si nos émissions totales doivent diminuer de moitié d'ici 2030 (IPCC, 2018, p. 12), alors celles engendrées par le numérique ne peuvent être ignorées, en particulier considérant leur taux de croissance. Quelles que soient les incertitudes liées au manque de données, il me semble rationnel de considérer le numérique comme un secteur important de nos sociétés modernes, autant en termes de ses impacts environnementaux et sociaux, que de notre dépendance à celui-ci, en partie au moins pour les services essentiels qu'il nous fournit (connectivité, accès à la connaissance, émancipation, etc.). La question n'est dès lors plus tant de savoir s'il représente un choix de société compatible en soi avec le Donut, car il est presque garanti que ce ne soit déjà plus le cas aujourd'hui. Il convient plutôt de définir, à titre individuel mais aussi, et surtout, collectif, le type de numérique que nous désirons, ainsi que les arbitrages que nous nous disposons à faire en sa faveur. Parmi les 50% d'émissions restantes en 2030, et plus encore des 5% restantes en 2050, quelle part voulons-nous consacrer au numérique ? À quels aspects de notre alimentation, de nos transports, de notre manière d'habiter voulons-nous renoncer pour le rendre possible ?

Dans cette perspective, les propositions pour une sobriété numérique au niveau sociétal, qui émergent de manière croissante²², semblent être l'axe de réflexion le plus fécond, permettant de repenser notre rapport à la technologie mais aussi à la démocratie, à la ville et, peut-être même, au monde et à la nature.

Références

- ADEME. (2022a). *Évaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective. Évaluation environnementale des équipements et infrastructures numériques en France* (No 2/3; Expertises). <https://librairie.ademe.fr/consommer-autrement/5226-evaluation-de-l-impact-environnemental-du-numerique-en-france-et-analyse-prospective.html>
- ADEME. (2022b, avril 27). *Chiffres clés, Économie circulaire. Agence de la transition écologique*. <https://expertises.ademe.fr/economie-circulaire/dechets/chiffres-cles-observation/chiffres-cles>
- ADEME. (2023). *Évaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective. Analyse prospective à 2030 et 2050* (No 3/3; Expertises). https://www.arcep.fr/uploads/tx_gspublication/etude-prospective-2030-2050_mars2023.pdf
- Andrae, A. S. G., & Edler, T. (2015). On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030. *Challenges*, 6(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/challe6010117>
- Belkhir, L., & Elmeligi, A. (2018). Assessing ICT global emissions footprint : Trends to 2040 & recommendations. *Journal of Cleaner Production*, 177, 448463. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.239>
- Bureau de Recherches Géologiques et Minières. (s. d.). *Substances critiques et stratégiques*. Minéra-Info. Consulté 20 février 2023, à l'adresse <https://www.mineralinfo.fr/fr/securite-des-approvisionnement-pour-leconomie/substances-critiques-strategiques>
- Carbone 4. (2020). *Comparaison des émissions en cycle de vie, France et Europe* (Pôle Mobilité). <https://www.carbone4.com/files/wp-content/uploads/2020/12/Transport-Routier-Motorisations-Alternatives-Publication-Carbone-4.pdf>
- Carbone 4. (2021). *L'État français se donne-t-il les moyens de son ambition climat ?* (p. 247). <https://www.carbone4.com/wp-content/uploads/2021/03/LEtat-fran%C3%A7ais-se-donne-t-il-les-moyens-de-son-ambition-climat.pdf>
- Carbone 4. (2022, novembre 1). [MyCO2] *Empreinte carbone française moyenne, comment est-elle calculée ?* MyCO2. <https://carbone4.com/fr/myco2-empreinte-moyenne-evolution-methodo>
- Chirico, F., ZAFFINA, S., DI PRINZIO, R. R., GIORGI, G., FERRARI, G., CAPITANELLI, I., SACCO, A., SZARPAK, L., NUCERA, G., TAINO, G., AFOLABI, A., & ILESANMI, O. (2021). Working from home in the context of COVID-19: A systematic review of physical and mental health effects on teleworkers. *JOURNAL OF HEALTH AND SOCIAL SCIENCES*, 319332. <https://doi.org/10.19204/2021/wrkn8>
- Creutzig, F., Roy, J., Lamb, W. F., Azevedo, I. M. L., Bruine de Bruin, W., Dalkmann, H., Edelenbosch, O. Y., Geels, F. W., Grubler, A., Hepburn, C., Hertwich, E. G., Khosla, R., Mattauch, L., Minx, J. C., Ramakrishnan, A., Rao, N. D., Steinberger, J. K., Tavoni, M., Ürge-Vorsatz, D., & Weber, E. U. (2018). Towards demand-side solutions for mitigating climate change. *Nature Climate Change*, 8(4), Art. 4. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0121-1>
- Daumas, L. (s. d.). *L'effet-rebond condamne-t-il la transition à l'échec ?* | Cairn.info. Consulté 3 octobre 2022, à l'adresse https://www.cairn.info/revue-regards-croises-sur-l-economie-2020-1-page-189.htm?try_download=1
- Deloitte. (2018). *Smartphones are becoming the control centre of people's lives – only 8% of Swiss*

- do not have one. Deloitte Switzerland. <https://www2.deloitte.com/ch/fr/pages/press-releases/articles/deloitte-in-switzerland-smartphones-become-control-centre.html>
- de Oliveira, À. D. (2016). The Human Smart Cities Manifesto : A Global Perspective. In G. Concilio & F. Rizzo (Éds.), *Human Smart Cities: Rethinking the Interplay between Design and Planning* (p. 197202). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-33024-2_11
- European Commission. (2020). *Critical Raw Materials Resilience : Charting a Path towards greater Security and Sustainability*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0474>
- Ferreboeuf, H. (2019). Pour une sobriété numérique. *Futuribles*, N° 429(2), 15. <https://doi.org/10.3917/futur.429.0015>
- Flipo, F. (2021a). *La numérisation du monde : Un désastre écologique*. l'Échappée.
- Flipo, F. (2021b). L'impératif de la sobriété numérique. *Cahiers Droit, Sciences & Technologies*, 13, Art. 13. <https://doi.org/10.4000/cdst.4182>
- Freitag, C., Berners-Lee, M., Widdicks, K., Knowles, B., Blair, G. S., & Friday, A. (2021). The real climate and transformative impact of ICT : A critique of estimates, trends, and regulations. *Patterns*, 2(9), 100340. <https://doi.org/10.1016/j.patter.2021.100340>
- GeSI, G. e-S. I. aisbl. (2012). *GeSI SMARTer 2020: The Role of ICT in Driving a Sustainable Future* (No V6). https://www.telenor.com/wp-content/uploads/2014/04/SMARTer-2020-The-Role-of-ICT-in-Driving-a-Sustainable-Future-December-2012_2.pdf
- GeSI, G. e-S. I. aisbl. (2015). *#SMARTer2030, ICT Solutions for 21st Century Challenges*. https://smarter2030.gesi.org/downloads/Full_report.pdf
- Gössling, S., & Humpe, A. (2020). The global scale, distribution and growth of aviation: Implications for climate change. *Global Environmental Change*, 65, 102194. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102194>
- Hostettler Macias, L., Ravalet, E., & Rérat, P. (2022). Potential rebound effects of teleworking on residential and daily mobility. *Geography Compass*, 16(9), e12657. <https://doi.org/10.1111/gec3.12657>
- Insee. (2022). *94 % des 15-29 ans ont un smartphone en 2021*. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/6036909>
- IPCC. (2018). Summary for Policymakers. In *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_SPM_version_report_LR.pdf
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022, Mitigation of Climate Change. Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR6)*. https://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC_AR6_WGIII_FinalDraft_FullReport.pdf
- Jiang, W., Han, B., Habibi, M. A., & Schotten, H. D. (2021). The Road Towards 6G : A Comprehensive Survey. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 2, 334366. <https://doi.org/10.1109/OJCOMS.2021.3057679>

- Kassem, M. G. A., Cardona, E., Bertoli, L., Yu, Y., Sandikcilar, Y., Natarajan, S., Bertuzzi, P., & Carrasco-Gallego, R. (2015). Metals in Our IT Equipment : Social and Economic Impacts, Geopolitical Conflicts. Other Social Impacts of ICT Manufacturing. *International Journal of Engineering Innovation & Research*, 4(6). https://ijeir.org/administrator/components/com_jresearch/files/publications/IJEIR_1846_Final.pdf
- Kemp, S. (2023). *Digital 2023 : Global Overview Report*. DataReportal. <https://datareportal.com/reports/digital-2023-global-overview-report>
- Lange, S., Kern, F., Peuckert, J., & Santarius, T. (2021). The Jevons paradox unravelled : A multi-level typology of rebound effects and mechanisms. *Energy Research & Social Science*, 74, 101982. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.101982>
- Lange, S., Pohl, J., & Santarius, T. (2020). Digitalization and energy consumption. Does ICT reduce energy demand? *Ecological Economics*, 176, 106760. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106760>
- Malmodin, J., & Lundén, D. (2018). The Energy and Carbon Footprint of the Global ICT and E&M Sectors 2010–2015. *Sustainability*, 10(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/su10093027>
- Manfredi, S., Allacker, K., Pelletier, N., & de Souza, D. M. (2012). *Product Environmental Footprint (PEF) Guide*. European Commission Joint Research Center. <https://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/footprint/PEF%20methodology%20final%20draft.pdf>
- March, H. (2018). The Smart City and other ICT-led techno-imaginaries : Any room for dialogue with Degrowth? *Journal of Cleaner Production*, 197, 16941703. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.154>
- Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S., & Koomey, J. (2020). Recalibrating global data center energy-use estimates. *Science*, 367(6481), 984986. <https://doi.org/10.1126/science.aba3758>
- Nick, S., & Thalmann, P. (2021). *Retrait du carbone, net zéro et implications pour la Suisse* (No 5). Enterprise for Society (E4S) Center. https://e4s.center/wp-content/uploads/2022/09/CCUS_WhitePaper_FR.pdf
- Office fédéral de la statistique. (2022). *Équipement et dépenses TIC*. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiken/kultur-medien-informationsgesellschaft-sport/informationsgesellschaft/gesamtindikatoren/haushalte-bevoelkerung/ikt-ausstattung-ausgaben.html>
- Persson, L., Carney Almroth, B. M., Collins, C. D., Cornell, S., de Wit, C. A., Diamond, M. L., Fantke, P., Hassellöv, M., MacLeod, M., Ryberg, M. W., Sogaard Jørgensen, P., Villarrubia-Gómez, P., Wang, Z., & Hauschild, M. Z. (2022). Outside the Safe Operating Space of the Planetary Boundary for Novel Entities. *Environmental Science & Technology*, 56(3), 15101521. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04158>
- Pikoos, T. D., Buzwell, S., Sharp, G., & Rossell, S. L. (2021). The Zoom Effect : Exploring the Impact of Video Calling on Appearance Dissatisfaction and Interest in Aesthetic Treatment During the COVID-19 Pandemic. *Aesthetic Surgery Journal*, 41(12), NP2066NP2075. <https://doi.org/10.1093/asj/sjab257>
- Quantis. (2020). *Impact environnemental de nos principaux gestes du quotidien* [Data set]. RTS. <https://www.rts.ch/la-1ere/programmes/on-en-parle/11561882.html/BINARY/Ecobilans.xlsx>
- Raworth, K. (2017). *Doughnut Economics : Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist*. Chelsea Green Publishing.

- Recordon, J., Fragnière, A., & Niwa, N. (2022). *Une Smart City au service de la durabilité ? Fondation Jean Monnet pour l'Europe, Collection débats et documents*(26), 3136. https://www.researchgate.net/publication/364223935_Une_Smart_City_au_service_de_la_durabilite
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., ... Foley, J. (2009). Planetary Boundaries : Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Ecology and Society*, 14(2). <https://www.jstor.org/stable/26268316>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., de Vries, W., de Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B., & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries : Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- The Shift Project. (2018). *Lean ICT, Pour une sobriété numérique*. <https://theshiftproject.org/article/pour-une-sobriete-numerique-rapport-shift/>
- The Shift Project. (2019). *Climat : L'insoutenable usage de la vidéo en ligne. Un cas pratique pour la sobriété numérique*. <https://theshiftproject.org/article/climat-insoutenable-usage-video/>
- The Shift Project. (2020). *Déployer la sobriété numérique*. https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2020/10/Deployer-la-sobriete-numerique_Rapport-complet_ShiftProject.pdf
- The Shift Project. (2021). *Impact environnemental du numérique : Tendances à 5 ans et gouvernance. Mise à jour des scénarios prospectifs des impacts du numérique mondial et propositions pour le déploiement d'une 5g raisonnée* [Note d'analyse]. <https://theshiftproject.org/article/impact-environnemental-du-numerique-5g-nouvelle-etude-du-shift/>
- Wang-Erlandsson, L., Tobian, A., van der Ent, R. J., Fetzer, I., te Wierik, S., Porkka, M., Staal, A., Jaramillo, F., Dahlmann, H., Singh, C., Greve, P., Gerten, D., Keys, P. W., Gleeson, T., Cornell, S. E., Steffen, W., Bai, X., & Rockström, J. (2022). A planetary boundary for green water. *Nature Reviews Earth & Environment*, 3(6), Art. 6. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00287-8>

Notes

1 On peut noter que les activités liées à la blockchain ne sont pas toujours incluses dans les estimations d'impact, comme le relèvent Freitag et al. (2021, p. 8). [\[retour au texte\]](#)

2 Ce qui n'est pas le cas de l'aviation, même si leurs impacts environnementaux sont souvent comparés. En effet, en 2018, 11% de la population mondiale seulement a pris l'avion et 4% a effectué un vol international (Gössling & Humpe, 2020). [\[retour au texte\]](#)

3 Cette estimation est par ailleurs confirmée par les dernières études sur les capacités réelles des technologies à émissions négatives, dont le potentiel se limite à une réabsorption de 5-10% des émissions actuelles (Nick & Thalmann, 2021, p. 1). [\[retour au texte\]](#)

4 Pour rappel, sur les neuf limites planétaires identifiées par Rockström et al. (2009), six sont déjà dépassées en 2022 (Steffen et al., 2015 ; Persson et al., 2022 ; Wang-Erlandsson et al., 2022). [\[retour au texte\]](#)

5 Voir par exemple : Kassem et al., 2015. [\[retour au texte\]](#)

6 Voir par exemple, pour les impacts du télétravail pendant la pandémie : Chirico et al., 2021. [\[retour au texte\]](#)

7 Plus précisément, Freitag et al. (2021, p. 2-3) constatent une part du numérique dans les émissions mondiales de GES de 1.8% à 2.8% en 2020, selon la littérature scientifique considérée. Après correction de l'erreur de troncature, leurs résultats suggèrent une part de 2.1% à 3.9%, soit entre 1.2x et 1.4x plus. [\[retour au texte\]](#)

8 Les termes de métaux « stratégiques » ou « critiques » font référence à des métaux indispensables à la politique économique d'un État ou pouvant entraîner des impacts négatifs importants en cas de difficulté d'approvisionnement (Bureau de Recherches Géologiques et Minières, s. d.). Parmi ceux se trouvant sur la liste Critical Raw Materials (European Commission, 2020), des métaux tels que l'indium sont mentionnés par Ferreboeuf (2019, p. 23) comme étant fortement consommés pour la production de terminaux numériques mais également de panneaux solaires. [\[retour au texte\]](#)

9 Même si la France n'est pas représentative de tous les pays d'Europe (notamment par son électricité peu carbonée) et que son empreinte carbone par habitant·e est d'env. 40% inférieure à celle de la Suisse, elle demeure un point de départ intéressant, considérant la qualité des données fournies par l'ADEME à son propos. Pour adapter les chiffres à la Suisse, il semble possible d'estimer qu'ils seront globalement plus élevés, la pénétration des smartphones et des ordinateurs personnels, par exemple, y étant plus importante (92% en Suisse contre 77% en France. Sources : Deloitte, 2018 ; Insee, 2022 ; Office fédéral de la statistique, 2022). [\[retour au texte\]](#)

10 Calculé sur la base de la production totale de déchets par habitant·e et par an (ADEME, 2022b) [\[retour au texte\]](#)

11 Voir par exemple Lange et al. (2020) pour l'augmentation de la consommation électrique générée par le numérique, ainsi que Flipo (2021a, p. 72-73) pour une analyse plus globale. [\[retour au texte\]](#)

12 À ce propos, voir la publication effectuée par le CCD en 2022 sur les relations entre Smart City et durabilité (Recordon, Fragnière, Niwa, 2022). [\[retour au texte\]](#)

13 Freitag et al. (2021, p. 5), par exemple, relèvent que cela est particulièrement vrai en ce qui concerne les processeurs ainsi que les centres de données, dont les capacités d'optimisation se réduisent très rapidement et pourrait bientôt être quasiment nulles. [\[retour au texte\]](#)

14 Dans la version finale présentée ici, je n'ai volontairement pas inclus d'heures de vidéoconférence pour la journée de travail au bureau. En effet, son impact étant tellement faible en comparaison de l'impact du transport, cela n'apportait presque aucune différence sur les chiffres finaux. [\[retour au texte\]](#)

15 Le vélo, comme la marche, n'ont pas été inclus. En effet, leur impact en termes d'émissions de GES est quasiment nul, ce qui en fait des options idéales dans tous les cas où cela est prati-

quement possible. [\[retour au texte\]](#)

16 Les émissions directes incluent toutes les émissions de GES effectuées sur le territoire considéré, ici par la combustion de carburant par exemple. Les émissions indirectes, aussi appelées émissions importées, incluent toutes les émissions engendrées en-dehors du territoire considéré, principalement par la production et l'acheminement des produits de consommation et des énergies, ici les véhicules et l'électricité par exemple. Lorsque toutes ces émissions sont combinées, elles forment ce qui est appelé l'empreinte carbone ou les émissions totales.

[\[retour au texte\]](#)

17 Pour information, l'utilisation d'un autobus thermique, dans les situations de ce cas d'étude simplifié, donne des résultats très proches de ceux du covoiturage à 2 personnes. [\[retour au texte\]](#)

18 Voir les détails du projet ici : <https://www.unil.ch/ouvema/fr/home/menuinst/recherche/teletravail-et-mobilite-durable.html>. [\[retour au texte\]](#)

19 Il paraît important de mentionner ici que, pour l'instant, l'ampleur de ces effets rebonds n'a pas encore donné lieu à une estimation quantifiée. Ce projet de recherche fournira probablement des chiffres dans les années à venir, permettant d'effectuer des arbitrages mieux informés quant au choix d'une généralisation du télétravail sur un territoire. Pour l'heure, et considérant les multiples mécanismes qui seront mentionnés ci-après, il paraît judicieux de ne pas se lancer dans des estimations simplificatrices, car c'est justement une approche englobant toute leur complexité qui est requise. [\[retour au texte\]](#)

20 Voir Pikoos et al. (2021) pour plus de détails sur ce phénomène. [\[retour au texte\]](#)

21 Pour mettre ce chiffre en perspective, un gain de 0.3kg de CO₂éq / jour, ce qui représente la différence entre se rendre au bureau en train/métro (0.2) et télétravailler (0.5), équivaut à ~70kg de CO₂éq économisés en un an de travail à temps plein, soit env. 0.5% de l'empreinte carbone moyenne par personne en Suisse (14t de CO₂éq). [\[retour au texte\]](#)

22 Pour ne donner que quelques exemples, The Shift Project en a proposé une en trois volets (2018, 2019, 2020), Flipo en esquisse un programme spécifique dans son ouvrage de 2021 (p. 141-143), mais on peut également citer les travaux de March (2018) qui ouvrent le débat au-delà des technologies et tisse les liens avec la décroissance et le capitalisme. [\[retour au texte\]](#)

The logo for Unil, featuring the word 'Unil' in a white, elegant, cursive script font.

UNIL | Université de Lausanne

Centre de compétences
en durabilité

Retrouvez toutes nos publications sur :
unil.ch/centre-durabilite/publications

Centre de compétences en durabilité

Bâtiment Vortex

Entrée B, 8ème étage

CH-1015 Lausanne