



HAL
open science

Le numérique est une industrie de plus en plus lourde

Marc Bidan, Hugues Ferreboeuf, Laurie Marraud, Florence Rodhain

► **To cite this version:**

Marc Bidan, Hugues Ferreboeuf, Laurie Marraud, Florence Rodhain. Le numérique est une industrie de plus en plus lourde. *Reflets de la Physique*, 2024, 77, pp.151-154. 10.1051/refdp/202477151 . hal-04712797

HAL Id: hal-04712797

<https://hal.science/hal-04712797v1>

Submitted on 27 Sep 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Le numérique est une industrie de plus en plus lourde

Marc Bidan⁽¹⁾ (Marc.Bidan@univ-nantes.fr), Hugues Ferreboeuf⁽²⁾, Laurie Marraud⁽³⁾ et Florence Rodhain⁽⁴⁾

(1) Laboratoire d'économie et de management de Nantes-Atlantique (LEMNA), BP 52231, 44322 Nantes Cedex 3

(2) The Shift Project, 16-18 rue de Budapest, 75009 Paris

(3) Arènes (UMR 8051 CNRS), École des hautes études en santé publique (EHESP), Université de Rennes, 15 avenue du professeur Léon Bernard, 35043 Rennes Cedex

(4) Montpellier Research in Management (MRM), 163 rue Auguste Broussonnet, 34090 Montpellier

L'informatique en nuage et les pratiques qui s'y rattachent sont l'une des activités les plus énergivores de tout l'écosystème numérique. Le 10 mars 2021, un incendie a détruit entièrement l'un des quatre centres de données strasbourgeois de OVH, le numéro un français du "cloud computing". Cet incendie malheureux (voir la photo, p. 153) et ses conséquences lourdes doivent nous inciter à repenser le rapport du numérique à l'environnement et à sa propre durabilité. Les dégâts et les impacts de cet incendie montrent que le "cloud", le « nuage », n'est pas si éthéré que cela. Bien au contraire. Lorsque le centre de données brûle, c'est bien de la matière qui brûle. Nos données sont hébergées et traitées dans des usines, même si leur réalité physique, virtualisée par les discours marketing et médiatiques, est devenue de moins en moins perceptible pour l'utilisateur final.

De l'illusion de la dématérialisation à la réalité de la rematérialisation

Il n'est pas justifié d'associer la numérisation à une « dématérialisation », mais bien plutôt à un autre type de « matérialisation » [1-3]. Il ne s'agit pas ici d'informatique dans les nuages mais plutôt d'une autre informatique, localisée sur le bitume de sols artificialisés dans des usines à données, grandes comme des dizaines de terrains de football, regroupant des millions de disques durs, de cartes-mères, de processeurs, de câbles, d'ordinateurs, etc. Ainsi, plutôt que de parler de dématérialisation des contenus, il convient de parler plutôt de « matérialisation des contenants ».

Nous aborderons dans cette courte contribution la question de l'impact environnemental, au niveau mondial, de ce qui est dénommé « numérique » mais qui est, en réalité, celui de dizaines de millions de machines, de systèmes d'information [4] et de matériels numériques.

L'Internet moderne a permis — selon Melville [5] en 2010, Bohas *et al.* [6] en 2014, Harpet *et al.* [3] en 2022 et beaucoup d'autres chercheurs — d'augmenter à la fois la volumétrie de ce qui pouvait être transporté (le poids des paquets de données), la rapidité des échanges (les requêtes entre le terminal de saisie et la réponse du calculateur) et la complexité des demandes (les calculs effectués et mis à disposition par les serveurs), et tout ceci à un rythme qui, malgré de très forts progrès

technologiques, s'est traduit par une prolifération d'équipements nouvellement construits et une augmentation de la consommation d'énergie.

La volumétrie des données échangées a explosé : à partir des années 2000 (Web 1.0), puis des années 2010 (Web 2.0) et aujourd'hui (Web 4.0), avec l'avènement de l'intelligence artificielle, de l'Internet des objets, des hyper algorithmes et de la 5G pour propulser toutes ces données en simultané. Ces données sont de moins en moins stockées « à la maison » ou « au fond du couloir », et de plus en plus externalisées aux quatre coins du monde, du moment qu'il y fait froid, qu'il y a de l'eau et de l'électricité, et un peu de sécurité et de compétences. Les données du monde sont stockées

>>>

>>>

et traitées en Californie ou en Alaska, mais aussi à Dublin, à Oslo, à Francfort et un peu en France (Paris, Bordeaux, Nantes, Strasbourg, Nice...). Mais assez peu en Afrique et en Amérique du Sud, là où les données ne sont protégées ni de la folie des hommes ni de celles des volcans et des tremblements de terre. Là où le numérique n'est pas encore un acquis !

L'Internet 4.0 — et son corollaire qui renvoie à l'ensemble des objets connectés en circulation dans le monde — repose sur l'utilisateur et son poste de travail, sur les centres de données et sur les réseaux de transport de données. Ces réseaux — satellites, câbles sous-marins, réseau sans fil (wifi), téléphone fixe, etc. — sont d'ailleurs devenus des enjeux militaires-stratégiques, car leur fonction est de connecter tous ces objets et agents en simultanément. Il s'agit également de pouvoir le faire — ou le proposer — quel que soit l'endroit du monde à partir duquel l'utilisateur veut émettre une requête et est en capacité d'attendre une réponse — sous réserve qu'il dispose d'une connexion suffisamment stable !

De l'utilité de quelques chiffres et ordres de grandeur

Pour évoquer quelques chiffres marquants, nous pouvons nous baser sur des rapports, articles et études assez récents, portant sur l'ensemble des équipements électroniques qui mobilisent et manipulent des données. Nous nous baserons sur deux structures qui fédèrent les acteurs du numérique responsable : le think tank *The Shift Project* (avec son projet *Lean ICT*) et *Green IT*. Ces deux sources sont accessibles en ligne : l'une, depuis 2010, via le lien <https://cutt.ly/shiftproject> (pilote par Jean-Marc Jancovici) ; l'autre, depuis 2004, via la plateforme www.greenit.fr (pilote par Frédéric Bordage, auteur en 2019 de l'ouvrage *Sobriété numérique, les clés pour agir* [7]). Ces deux équipes mettent en évidence trois sources majeures d'impact environnemental — les utilisateurs, les réseaux et les centres de données ("data centers") — ainsi que quatre indicateurs majeurs permettant de mesurer cet impact et son ampleur

croissante depuis le début des années 2000 : l'épuisement des ressources abiotiques, le réchauffement global, le bilan énergétique et la tension sur l'eau douce. La consommation électrique est également citée dans les indicateurs. Toutes les données montrent une croissance significative de l'empreinte environnementale du numérique depuis 2010, avec des tendances et des prévisions alarmantes pour l'horizon 2025 (*Green IT*) ou 2030 (*Shift Project*).

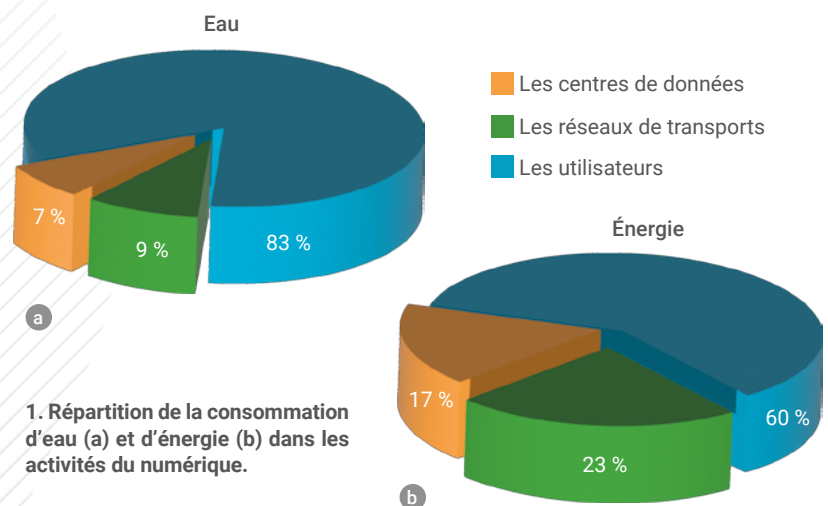
Examinons d'abord quelques données de base associées aux 34 milliards d'équipements manipulés par environ 4,5 milliards d'utilisateurs (soit une dizaine par individu) : cela représente une masse totale d'environ 220 millions de tonnes de matériaux de toutes sortes, réparties sur le globe de façon évidemment très disparate — l'Afrique subsaharienne étant la grande oubliée de cette distribution.

Selon *Green IT*, l'empreinte environnementale mondiale du numérique en 2018 ^(a) est d'environ 6800 TWh d'énergie primaire, 1400 millions de tonnes de gaz à effet de serre, 7,8 millions de mètres cubes d'eau douce, 22 millions de tonnes d'antimoine et 1300 TWh d'électricité consommée, soit environ trois fois l'empreinte totale de la France ou 5 % de l'empreinte globale de l'humanité. Au niveau mondial, l'empreinte du numérique est d'environ 4,2 % de la consommation d'énergie primaire, 3,8 % des émissions de gaz à effet de serre, 0,2 % de la consommation d'eau et 5,5 % de la consommation d'électricité : c'est déjà significatif et c'est en forte croissance (de l'ordre de 6 % par an !).

Pour expliquer la nature de ces données, il nous faut aborder le cycle de vie de ces équipements. Ce qui coûte le plus « cher » en termes d'impact est toujours la fabrication des équipements, avec 30 % du bilan énergétique global et 74 % de la consommation d'eau douce. Puis viennent leur consommation électrique, la consommation électrique du réseau et celle des centres de données, et ensuite la fabrication des équipements pour le réseau (câbles, satellites...), ainsi que celle des serveurs hébergés au sein des centres de données mondiaux. De plus, la hiérarchie des impacts est également évolutive : par exemple, l'impact global de la fabrication et de l'usage des ordinateurs s'est éclipsé et a laissé la place en 2019 à celui des *smartphones*, des objets connectés et des télévisions. *A contrario*, la hiérarchie des facteurs impactants n'a guère évolué : en premier viennent les utilisateurs — avec la fabrication de leurs 34 milliards d'équipements — qui consomment 60 % de l'énergie et 83 % de l'eau ; puis le réseau, qui en consomme respectivement 23 % et 9 % ; et enfin les centres informatiques qui en consomment environ 17 % et 7 %.

Les deux schémas de la figure 1 récapitulent la hiérarchie de la consommation d'énergie et d'eau des trois composantes principales du numérique mondial (les utilisateurs et leurs postes de travail, le réseau de transport des données et les centres de données).

Pour réduire ces impacts, il faut tout simplement s'attaquer à leurs sources principales :



1. Répartition de la consommation d'eau (a) et d'énergie (b) dans les activités du numérique.



(i) limiter la production et l'usage des objets connectés au sens large, avec par exemple plus de mutualisation et de partage ;
 (ii) augmenter leur durée de vie, en luttant mieux contre l'obsolescence et en incitant au réemploi (plutôt qu'au recyclage) ;
 (iii) enfin, mieux éduquer les utilisateurs et les informer sur ces impacts et sur le biais inflationniste de certains usages et abonnements qui incitent à produire et consommer des données bien souvent inutilement (géolocalisation, "streaming", mises à jour automatiques, exportations vers le "cloud", etc.).

Il s'agirait aussi de mieux « éco-concevoir » les produits et services numériques, en privilégiant les pratiques — et les composants — les moins énergivores, c'est-à-dire sollicitant moins de puissance informatique et moins de production et de transmission de données. Cette tâche est d'autant plus ardue que les modèles d'affaire actuels des grands opérateurs sont antinomiques avec ces recommandations. On pourrait même citer l'exemple des acteurs de la santé digitale, qui incitent à partager de plus en plus de données *via* l'Internet des objets dans un but de bien-être, voire dans un but thérapeutique [8]. L'illusion de la gratuité des usages qu'ils promeuvent se révèle en outre tout à fait perturbante pour l'éducation et l'information des utilisateurs. En effet, comment faire passer le message que « quand c'est gratuit, c'est que le prix est payé par vos données ! » ?

De l'impératif de nouvelles pratiques

Les technologies évoluent et de nouveaux marchés sont désormais accessibles au numérique de manière massive. C'est le cas notamment avec l'avènement de la chaîne de blocs ("blockchain"), qui se propose de remplacer le tiers de confiance



© DNA/Jean-Christophe Donn (licence Creative Commons CC-BY-SA 4.0 Deed).

L'incendie du centre de données OVH à Strasbourg, le 10 mars 2021. Une partie des locaux a été entièrement détruite. Les données, sauvegardées quotidiennement, ont pu être restaurées (à l'exception de celles du 9 mars) sur un nouveau serveur dans la même journée.

humain (un notaire, un banquier, un avocat, etc.) par un tiers de confiance numérique (un registre ouvert et distribué de par le monde). Ces chaînes de blocs nécessitent beaucoup d'énergie pour valider les transactions, en tout cas avec la méthode de validation la plus répandue de la « preuve de travail » ("Proof of Work"). Cette technologie est donc de plus en plus énergivore — même si les mineurs^(b) cherchent une électricité bon marché et donc souvent d'origine hydraulique comme dans les pays d'Asie centrale — et sa consommation annuelle correspondrait environ à celle d'un pays comme la Norvège. Les crypto-monnaies (comme le Bitcoin, Ethereum, Ripple, Dogecoin, Cardana, etc.) reposent elles aussi sur la chaîne de blocs (qui fut inventée et déployée à l'origine pour appuyer et garantir l'inviolabilité du Bitcoin), et donc le paiement par crypto-monnaie est lui aussi largement énergivore^(c).

Quant aux télécommunications, le recours croissant aux technologies mobiles, avec notamment la mise en œuvre de la norme 5G, se révèle fortement consommateur d'énergie du fait du déploiement des équipements

d'infrastructure et de leur fonctionnement — mais aussi par effet rebond, en rendant possibles partout et à tout moment de nouveaux usages fortement consommateurs de données (réalité virtuelle, jeux en ligne en mobilité, etc...). Dans son rapport de mars 2021, le *Shift Project* recommande que l'utilisation de la 5G soit raisonnée et non massive, c'est-à-dire limitée à des usages vraiment utiles à la collectivité (santé, sécurité, éducation, etc.).

Enfin, l'Internet des objets (IoT), qui consiste à rendre communicants des objets dont la fonction première n'est pas de communiquer, peut également avoir des conséquences inquiétantes s'il se développe selon une logique consumériste et non en raison de la pertinence sociétale des usages qu'il permet de créer. En l'absence de cadrage, les multitudes de connections supplémentaires s'accompagnant d'une progression exponentielle de la masse de données à traiter et à stocker nécessiteront des centres de données non seulement toujours plus puissants au centre du "cloud", mais aussi toujours plus nombreux en périphérie ("edge" ou "fog" computing) !

>>>

| Chine | États-Unis | France | Centres de données | Bitcoin | Norvège | Belgique | Suisse | Google | Facebook |
|-------|------------|--------|--------------------|---------|---------|----------|--------|--------|----------|
| 6543 | 3989 | 449 | 205 | 143 | 124 | 82 | 56 | 12 | 3 |

Tableau 1. Consommation annuelle d'électricité (en TWh) pour quelques pays, entreprises et activités. (Source : Visual Capitalist, 2019).

>>>

À titre d'illustration, nous reproduisons dans le tableau 1 (p. 153) les données issues des travaux menés à l'université de Cambridge en 2019 qui montrent, par ordre décroissant, la consommation d'électricité (en TWh) pour l'activité annuelle du Bitcoin, des centres de données, de Facebook ou de Google, par comparaison à celle de quelques pays.

Même si elle semble paradoxale, l'idée serait d'aller encore plus loin vers une technologie numérique douce ("Low-Tech") et une écoconception encore plus exigeante des produits et des services liés au numérique [10]. Il faudrait en effet passer d'une responsabilité numérique à une forme de sobriété numérique, qui serait un peu plus coercitive. L'idée est de moins consommer de données, plutôt que de mieux les consommer !

L'incendie du centre de données SBG2 de Strasbourg (voir la photo p. 153) doit aussi nous inciter à mieux représenter le "cloud", non pas comme une infrastructure magique « aux frontières du réel », mais plutôt comme une vaste infrastructure matérielle délocalisée et partagée. L'idée de déployer plus de pico-centres (et non pas seulement des mégacentres) de données pour augmenter la résilience pourrait faire son chemin, mais devrait être confrontée aux conséquences environnementales de ce choix. En effet, les économies

d'échelle plaident plutôt en faveur d'infrastructures lourdes et massives pour limiter la consommation d'énergie, de matière et de surfaces. De même, l'idée d'une informatique quantique pourrait venir brouiller les cartes en proposant des solutions et serveurs *a priori* largement moins énergivores ; mais nous en sommes encore loin ! Toujours à titre d'illustration, les coupures électriques et numériques, que subit par exemple le continent africain, montrent aussi que des stratégies de contournement existent.

Conclusion et mise en perspective

Cet incendie spectaculaire — et dramatique pour les salariés et clients de l'opérateur — d'une des pépites françaises du "cloud", qui clame haut et fort « On Vous Héberge » (= OVH), doit nous inciter à revenir sur terre ! Il nous faut appréhender le numérique en général, et le "cloud" en particulier, comme un vaste enchevêtrement de béton, de ciment, de bois, de fer, de métaux, de câbles, de verre, de cuivre, d'or et de plastique, afin de bien garder à l'esprit sa réalité et donc ses vulnérabilités. Gageons que nous pourrions en effet revenir rapidement sur terre et continuer à utiliser sobrement cette formidable invention qu'est l'Internet !

Dans tous les cas, si nous voulons en effet que le numérique puisse s'aligner avec les logiques de responsabilité et de sobriété qui émergent, il nous faudra alors réellement appréhender, comme nous y incitent le projet *Lean ICT* et le *Shift Project*, les trois défis que sont :

- penser une nouvelle approche de la gouvernance française et européenne du numérique et de ses activités principales (matériel, logiciel et usages) ;
- revisiter les modèles d'affaires qui reposent sur l'illusion de la gratuité et donc incitent à l'hyperproduction de données largement inutiles, souvent inexploitées et trop rapidement obsolètes ;
- proposer de sérieux et lisibles indicateurs de pilotage de l'impact en matière d'énergie et de carbone. ■

(a) L'empreinte 2018 correspond aux impacts environnementaux créés par la production des équipements numériques livrés en 2018, l'utilisation en 2018 de la base installée d'équipements et de services numériques et la fin de vie des équipements numériques sortant en 2018 de la base installée.

(b) Les mineurs exploitent des serveurs informatiques permettant de valider des transactions et d'ajouter des blocs à la chaîne existante de façon infalsifiable ; ils reçoivent une compensation financière — en Bitcoin — en cas de succès.

(c) Les mécanismes de la chaîne de blocs et ses conséquences énergétiques sont bien décrits dans une étude récente de V. Coroama [9].



1• F. Rodhain, *La nouvelle religion du numérique. Le numérique est-il écologique ?* (2019), Éditions EMS et Libre&Solidaires.

2• M. Lena et M. Bidan, « De la dématérialisation des données à la matérialisation des contenants ». *Management et Datascience*, 5(3) (2021). <https://doi.org/10.36863/mds.a.16254>.

3• C. Harpet et al., *Santé Publique en Transition*, Les liens qui libèrent (2022). ISBN : 979-10-209-1070-7.

4• M. Bidan, « Systèmes d'information et développement durable : modèles théoriques et pratiques organisationnelles », *Management & Avenir*, 39 (2010) 304-306. <https://doi.org/10.3917/mav.039.0304>

5• N. Melville, "Information Systems Innovation for Environmental Sustainability", *MIS Quarterly*, 34:1 (2010) 1-21.

6• A. Bohas et al., *Systèmes d'Information et Management*, 19(2) (2014) 9-43. <https://doi.org/10.3917/sim.142.0009>

7• F. Bordage, *Sobriété numérique, les clés pour agir*, Buchet-Chastel (2019).

8• G. Chevance et al., "Digital health at the age of the Anthropocene", *The Lancet Digital Health*, 2(6) (2020) e290-e291, doi: 10.1016/S2589-7500(20)30130-8.

9• V. Coroama, "Blockchain energy consumption, an exploratory study", Swiss Federal Office of Energy SFOE, (2021).

10• M. Bidan, « L'économie numérique est une industrie lourde », *The Conversation* (24 novembre 2015). www.theconversation.com