



# LES NOTES DE LA FEP

N°23 - Juillet 2020

#NUMÉRIQUE

#ÉNERGIE

#IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

#ÉTHIQUE TECHNOLOGIQUE

## Fabrice FLIPO

Professeur de philosophie, épistémologie et histoire des sciences et techniques à l'Institut Mines-Télécom ; chercheur au Laboratoire du changement social et politique de l'Université Paris Diderot. Il est membre du comité de rédaction de la revue *Écologie & Politique*.

# LA FACE CACHÉE DU NUMÉRIQUE UNE EMPREINTE ÉNERGÉTIQUE INSOUTENABLE

par Fabrice FLIPO

Aujourd'hui le numérique consomme 10 % de l'électricité mondiale, contribue aux émissions globales de gaz à effet de serre (GES) à hauteur de 3 à 4 %, au rythme croissant de +9 % par an<sup>1</sup>. Un pays comme la France consacre 8 % de son électricité au numérique<sup>2</sup>. Une étude issue de l'industrie des semi-conducteurs (2015) estime qu'au rythme actuel de la croissance de la puissance de calcul, et compte-tenu du ralentissement progressif des gains en efficacité énergétique, le numérique pourrait consommer l'équivalent de la totalité de l'énergie mondiale appelée en 2010, avant 2070<sup>3</sup>.

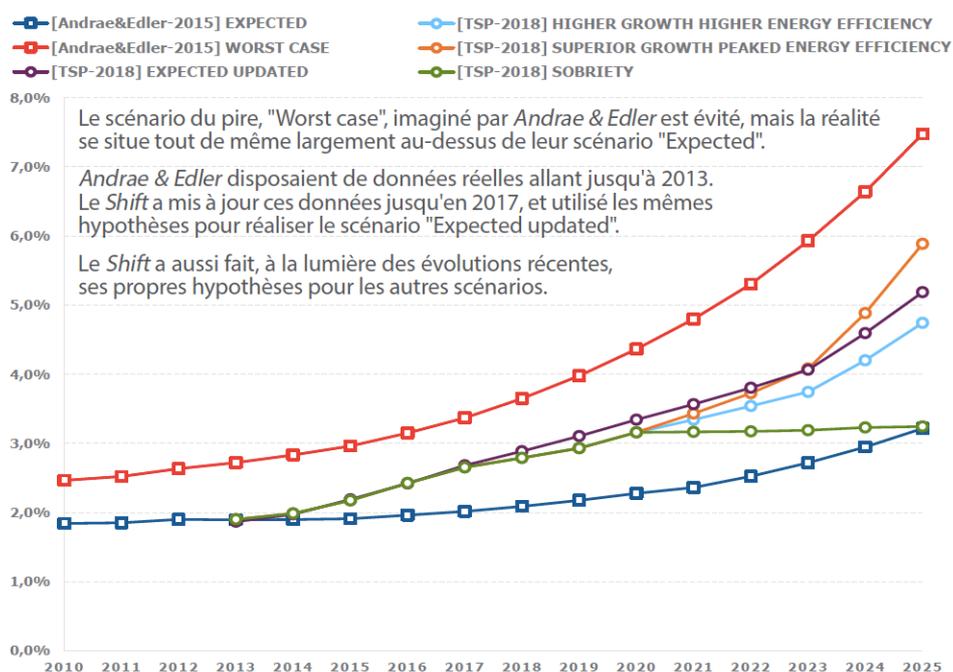
## I. LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE DU NUMÉRIQUE

Le numérique est une industrie qui a toujours consommé beaucoup de ressources. L'ENIAC, construit en 1945, qui passe pour être le premier ordinateur<sup>4</sup>, utilisait 17 000 tubes à vide, 70 000 résistances, 10 000 condensateurs, couvrait 167 m<sup>2</sup>, pesait 30 tonnes et consommait 150 kW. Il tombait souvent en panne à cause des insectes (« *bug* ») qui grillaient dans la chaleur<sup>5</sup>. C'était certes un modèle produit à très peu d'exemplaires. Le système SAGE, réseau précurseur d'internet, utilisé par la Défense des États-Unis pour suivre simultanément les trajectoires de 48 avions, mobilisait 50 machines consommant chacune 750 kW<sup>6</sup>. Les « mini-ordinateurs » commercialisés dans les années 1960 par DEC, IBM, HP ou encore Texas Instruments sont des machines de la taille d'une armoire à vêtements, pesant une centaine de kilos et consommant autour de 500 W l'unité<sup>7</sup> ; un bon PC fixe actuel consomme 200 à 300 W ; un portable, 50 à 100 W. Quand Pierre Nora et Alain Minc encouragent l'informatisation de la société, en 1978, les enjeux énergétiques d'une généralisation des machines numériques sont donc largement perceptibles<sup>8</sup>, même si les conséquences immédiates sont limitées, du fait d'un coût élevé et d'une diffusion encore peu importante – quelques centaines de milliers d'appareils<sup>9</sup>.

L'étude récemment proposée par le Shift Project<sup>10</sup> reconstitue la consommation actuelle et tente de chiffrer la consom-

mation à venir, suivant des scénarios. Elle comprend quatre éléments : les réseaux de communication, les centres de données, les terminaux (téléphones, smartphones, PC portables, PC fixes, « boxes », tablettes, équipements audiovisuels dont les télévisions) et les capteurs IoT (« *Internet of Things* » ou internet des objets). La consommation mondiale des équipements est évaluée sur la base de l'étude d'Andrae et Edler<sup>11</sup>, mise à jour avec des données plus récentes, issues de l'équipementier Cisco, ainsi que de deux consultants importants dans le secteur, IDC et Gartner. Sur la décennie passée, le Shift Project aboutit au chiffre de 14 % de la consommation électrique mondiale<sup>12</sup>, avec une augmentation d'environ 9 % par an, soit un doublement tous les 9 ans : c'est davantage que la croissance mondiale de la demande d'électricité et d'énergie, déjà catastrophique pour le climat. Du fait du mix énergétique mondial, les émissions de GES du numérique sont évaluées entre 3 et 4 %. C'est davantage que l'aviation, et cela, avec une croissance plus rapide (+7 % par an). Et le Shift Project souligne que Cisco a été prudent, jusqu'ici, en dépit de chiffres de croissance affolants : il montre que chaque année, l'équipementier a sous-estimé la croissance du trafic<sup>13</sup>.

Sur la base des scénarios proposés par Anders Andrae et Tomas Adler, l'étude du Shift Project (2018) actualise les chiffres et propose trois trajectoires principales, plus une variante que nous laisserons de côté, dans la mesure où elle ne semble pas apporter d'enseignement supplémentaire. La trajectoire « attendue » (« *expected* ») s'avère un peu plus élevée qu'anticipé par Andrae & Adler en 2015. À ce rythme, la part des émissions serait de 4 % en 2020, pour augmenter de 60 % encore en valeur absolue d'ici à 2025. En consommation reconstituée, le numérique émettrait en 2020 autant de CO<sub>2</sub> que l'Inde en 2015. La part de la fabrication tourne autour de 45 %, mesurée en énergie finale (Shift Project<sup>14</sup>), ou de 15 à 20 %, en énergie primaire (negawatt<sup>15</sup>, Ademe<sup>16</sup>)<sup>17</sup>. Un second scénario envisage un rythme d'efficacité énergétique supérieur à ce qui a été observé dans les décennies passées : une telle trajectoire ne réduit que de 10 % la demande électrique finale en 2030. Enfin un dernier scénario, « sobriété », limite les usages vidéo les plus dispendieux et intègre un ralentissement de l'efficacité énergétique, ce qui semble cohérent avec l'observation. Dans ce cas la consommation est en faible croissance et les 4 % des émissions globales de GES ne sont atteints qu'en 2025. Mais même dans ce scénario rien ne garantit contre une forte croissance de la consommation après 2030, puisque l'étude ne s'étend pas au-delà et que la pente à cette date n'est pas décroissante, mais légèrement croissante (scénario « sobriété ») à fortement croissante (scénario « attendu »).



**Évolution de la consommation énergétique mondiale du numérique entre 2010 et 2025, rapportée à la consommation énergétique mondiale totale**

[Source : scénarios et calculs *The Shift Project* 2018, à partir de Andrae & Edler 2015]



Les quatre sources principales de croissance de la consommation sont le smartphone et notamment le rythme de renouvellement, les périphériques, l'internet des objets industriels (IIoT) et l'explosion du trafic de données (+25 % par an d'après Cisco). La volumétrie est géographiquement et politiquement différenciée : la part des milliards de Terriens « sous-équipés » permet d'entrevoir un énorme potentiel de croissance, à tous points de vue, même si l'enjeu premier est la croissance de la consommation des pays développés. D'autres études existent qui ne paraissent pas changer significativement la donne<sup>18</sup>.

La conclusion est qu'en l'absence d'un changement de cap important, le numérique pourrait annihiler à lui seul au moins 20 % des réductions d'émissions nécessaires à la trajectoire de l'Accord de Paris.

Prévoir l'évolution détaillée de la consommation est difficile, notamment dans le cas du réseau. Différents facteurs jouent en sens contraire : croissance du trafic et du calcul, certes, mais amélioration de l'efficacité énergétique (des serveurs, du centre de données, du refroidissement etc.), amélioration du taux d'usage des serveurs (via la virtualisation). Au niveau d'un centre de données, par exemple, les améliorations peuvent être l'efficacité des matériels (SSD, fibre optique), l'optimisation des systèmes de gestion de l'énergie, des veilles etc. le fait de les situer dans des régions froides (climatisation naturelle) ou au contraire de réutiliser la chaleur à des fins de chauffage (maisons ou piscines)<sup>19</sup>. Les avantages comparés de « l'edge » (calcul proche des besoins de calcul) et de « l'hyperscale » pointent toutefois l'existence de dilemmes insolubles : le premier réduit les pertes de transmission finale, mais augmente la circulation entre les différentes parties du réseau ; le second mutualise mieux que le premier, mais augmente les coûts de transmission finale. L'économie de réseau est à l'œuvre ici aussi. Ces multiples possibilités débouchent sur un débat complexe qui explique en partie les incertitudes existant entre les scénarios<sup>20</sup>.

Le rapport du Shift Project se base sur le scénario anticipé par le *Global System for Mobile Communications* (GSMA), un consortium d'entreprises dans le domaine du mobile<sup>21</sup>. Sans surprise, smartphone, jeu, voiture autonome et internet des objets sont décrits comme étant « l'avenir ». Prenons un peu la mesure de cette trajectoire que le GSMA pense emprunter sans se soucier d'écologie. Pour mémoire un foyer français consomme 5000 kWh par année, en tout.

Le smartphone consomme 55 kWh / produit / année d'utilisation<sup>22</sup>. Le parc est actuellement de 5,5 milliards de smartphones (2020), et les ventes annuelles de 1,5 milliard (Statista). Près de 90 % de l'énergie est consommée à la production. Si le contenu CO2 des iPads tend à se stabiliser après avoir fortement augmenté, ce n'est pas le cas des iPhones dont le contenu en GES augmente de manière régulière : l'iPhone X est à 93 g contre 80 pour l'iPhone 6 (Shift Project d'après chiffres Apple). Apple est certes passé en 100 % renouvelables mais cela ne concerne que le siège de l'entreprise aux États-Unis, et non la fabrication (Chine), ni les usagers, sachant que le contenu du kWh en carbone aux États-Unis tourne autour de 500 grammes (en Chine : 700 grammes).

Pour la télévision, l'Ademe annonce 333 kWh / produit / année d'utilisation : 6 fois plus qu'un smartphone. Le poids de la fabrication n'est que de 15 %. Ce chiffre tient à ce que l'appareil consomme beaucoup plus en fonctionnement, comparativement, mais aussi à ce qu'il dure 8 à 10 ans, voire davantage. La télévision se transforme (elle a grandi etc.) mais elle ne tend pas à consommer plus, unitairement, dans la mesure où l'efficacité énergétique (LEDs etc.) a été compensée par la croissance de la taille des écrans<sup>23</sup>. Le parc mondial diminue, à l'échelle mondiale (environ 1,5 milliards d'appareils), ce qui n'est pas forcément une bonne nouvelle, si la vidéo se déplace sur le mobile, plus énergivore.

Du côté de l'ordinateur, l'Ademe donne un chiffre à peu près égal pour les fixes et les portables : autour de 280 kWh / produit / année d'utilisation. Le poids de la fabrication est un

peu plus important pour le portable. Le PC fixe doit cependant s'adjoindre un écran, qui vaut 3 smartphones : autour de 140 kWh / produit / année d'utilisation. La part de la fabrication est de 30 %. Le parc mondial est de 3 milliards de PC, un chiffre stable. Le portable est plus économe, en réduisant l'achat d'écrans, à condition que tout le monde ne s'équipe pas en écrans d'appoint, et à condition que le multiéquipement ne s'impose pas (smartphone + PC + multiécrans + télévision...), or ce n'est pas le cas ni dans les entreprises ni chez les CSP+.

Les tablettes sont évaluées à un peu plus 110 kWh / produit / année d'utilisation, soit 2 smartphones : ce n'est pas négligeable. Mais leur usage reste plus limité : Statista annonce 1,3 milliard d'utilisateurs, en nombre stabilisé. Leur rôle dans l'équation générale paraît assez faible, et devoir le rester. C'est également le cas de l'imprimante domestique : 220 kWh / produit / année, dont plus de 50 % à la fabrication. En France les ventes sont en baisse, un peu plus d'un million chaque année ; mais la planète est largement « sous-équipée ».

Le modem (ou « box ») consomme plus de 260 kWh / an / unité, dont près de 20 % à la fabrication. La planète compte « seulement » 1,1 milliards de connections fixes (contre 6,6 en mobile) : la marge de progression est énorme. La croissance est actuellement de près de 10 % par an. Le smartphone va-t-il stopper cette croissance ? Le souci est que les installations fixes sont plus efficaces que le mobile, sur le plan énergétique, bien qu'elles soient plus chères à déployer, en raison de l'infrastructure câblée.

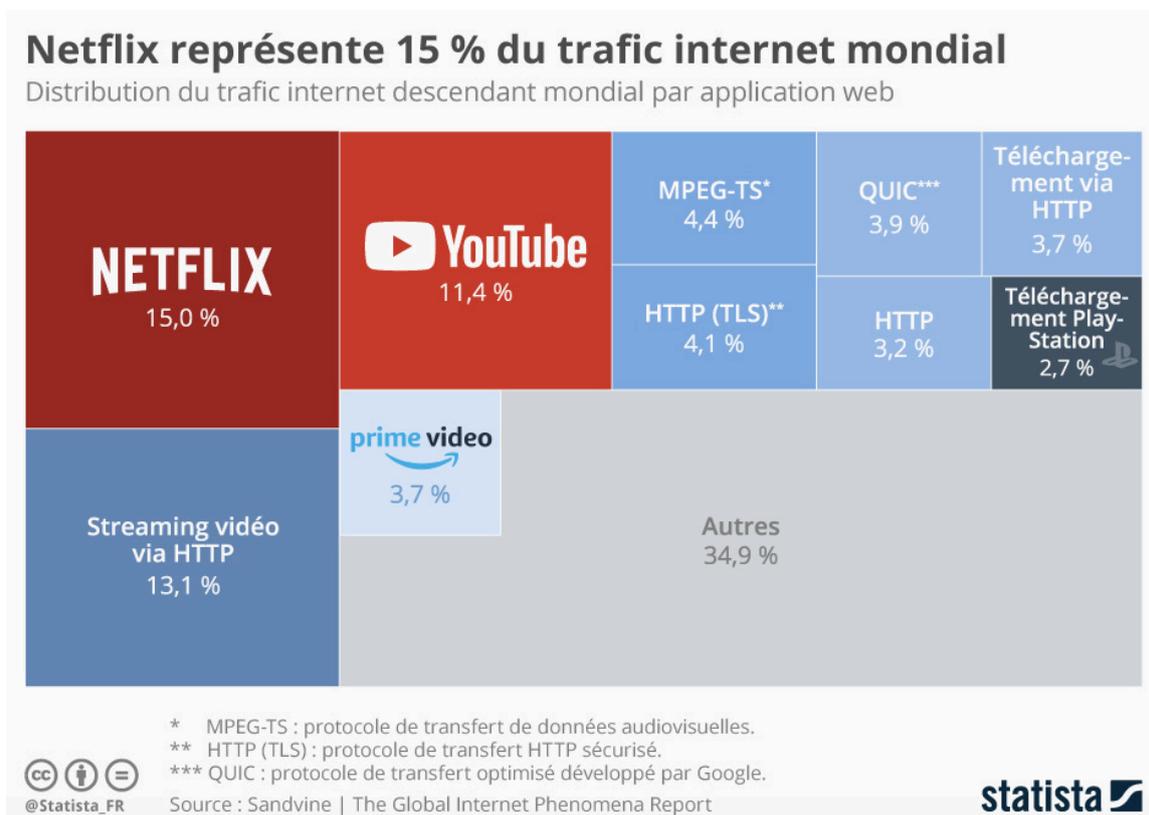
Attardons-nous sur les jeux vidéo, qui sont en forte croissance : de 1 à 4 % du trafic mondial, entre 2017 et 2022, d'après Cisco. Et le responsable de la console de jeux de Microsoft affirme ceci : « *je ne veux pas perdre mon temps dans la bataille des formats alors que des entreprises comme Amazon et Google s'efforcent de voir comment amener 7 milliards de personnes vers le jeu autour du monde. C'est le but* »<sup>24</sup>. C'est donc là qu'iront les investissements. Apple se lance aussi dans le *gaming* avec « Apple Arcade ». Avec quelles conséquences ? Là encore, elles sont calculables, bien que complexes, dans la mesure où les combinaisons sont nombreuses (écran / jeu / cloud, console ou PC etc.). L'écosystème n'est pas stabilisé : l'étude *Green Gaming* de Mills & al. analyse 26 systèmes, classés en 4 familles (PC, consoles, laptops, média en streaming type box), 3 niveaux de gamme (entrée de gamme, milieu, haut de gamme), 4 niveaux de jeu (léger, modéré, intensif, extrême -7h/jour-) et 37 jeux, soit 206 combinaisons possibles. Si une Switch consomme 10-15 W en fonctionnement<sup>25</sup>, un joueur « extrême » sur PC peut consommer jusqu'à 2500 kWh par an, tout compris (la consommation d'un foyer, à lui seul) : 3 écrans en 4K, 2 PC « gonflés »... Le jeu sur Cloud s'avère être de loin le plus consommateur de ressources. En streaming un terminal de 10 W peut provoquer jusqu'à 520 W de consommation en amont (« upstream ») dans les centres de données, d'après Mills. En Californie, la consommation du jeu n'est précédée, dans l'ordre de grandeur, que par la réfrigération et l'éclairage : il consomme à peu près autant que la climatisation et la télévision<sup>26</sup>. Cisco interroge : « si le « *cloud gaming* » devient populaire, il peut rapidement devenir l'une des catégories principales de trafic sur internet »<sup>27</sup>.

Le jeu attire l'attention sur un angle mort de la comparaison insistante du numérique avec l'imprimerie : l'image. La quantité d'information requise par une image est bien plus importante que dans le cas d'un texte. Une caméra 64 Mp (mégapixels, millions de pixels), que l'on trouve dans le commerce, produit des images de 1Go<sup>28</sup> ; une vidéo réalisée avec cet appareil enchaîne les images de 1Go les unes à la suite des autres, au rythme de 10 à 60 par seconde. Sachant qu'un Français consomme en moyenne 6 Go par mois sur son smartphone, et 140 sur sa box<sup>29</sup>. Prenons un exemple plus accessible : les caméras de surveillance, qui représentent un marché en croissance de 10 % par an. Un modèle 0,3 Mp<sup>30</sup> coûte 100 euros, voire 200 pour une caméra HD (1 à 2 MP). A raison d'une fréquence ordinaire de 8 à 15 images par seconde, la caméra produit facilement 50 Mo par seconde, soit 300 Go par heure. Elle peut potentiellement équiper quelques milliards de bâtiments. Certes, on peut objecter que rien n'y contraint, que l'image peut rester sur place, ne pas être conservée, être compressée (aujourd'hui la compression conduit à des débits de 1Mo par seconde, et non 50<sup>31</sup>) etc. Certes.



Faut-il encore que ce souci soit à l'agenda. Et si ce souci est réellement à l'agenda, se passer de ces caméras est encore moins consommateur. D'autres usages incroyablement voraces se profilent sans le moindre souci écologique. Citons la « vidéo volumétrique », à base de caméras 5K, qui génère un flux de 3 To... par minute ! Soit 50 Go par seconde. Un film « volumétrique » de 2 heures « pèserait » donc pas moins de 180 To (180 000 Go). Et Intel estime sans sourciller que ce format est « le futur d'Hollywood »<sup>32</sup>.

Il n'y a donc pas de surprise à ce que la vidéo représente l'essentiel de la consommation numérique. Les statistiques sont claires : Netflix représente aujourd'hui 15 % du trafic internet global, Youtube 11,4 %, Amazon Prime vidéo 3,7 %. Le téléchargement sur Playstation représente à lui seul le chiffre incroyable de 2,7 % du trafic total<sup>33</sup>. Le web (HTTP) classique culmine à moins de 10 %, ce qui inclut donc entre autres choses les requêtes Google (ouf ! se disent les universitaires). Sur mobile, Youtube fait 37 % du trafic. Les réseaux sociaux sont aussi un facteur majeur de trafic, car ils sont riches en images : Snapchat 8,3 % du trafic, Instagram 5,7 %, Facebook 8,4 %, Whatsapp 3,7 %, Netflix 2,4 %<sup>34</sup>. Quoi de plus facile que de poster une vidéo ou une image sur WhatsApp ? Tout est pensé pour le faciliter. D'après Cisco le trafic vidéo passe de 50 EB (exabytes, soit 1 milliard de gigabytes) en 2017 à près de 300 en 2022 : +33 % par an, soit un triplement tous les 5 ans.



Source: Tristan Gaudiot, « Les principaux générateurs de trafic internet dans le monde », Statista, <https://fr.statista.com/infographie/15717/repartition-traffic-internet-descendant-mondial-par-application/>

Le Shift Project stigmatise les vidéos pornographiques<sup>35</sup>, mais quid des applications « immersives » qui peuvent très bien aller jusqu'à créer des communautés entièrement disjointes physiquement, de manière très « réaliste », avec non seulement l'image (« volumétrique »), mais les données tactiles et autres ? La science-fiction l'a anticipé, ainsi les films *Code Rouge* ou *Matrix*. Et l'intelligence artificielle, la voiture autonome, etc. ? Quelle sera la quantité de calcul ou de trafic nécessaire ? Elle se chiffrera sans doute en unités encore inconnues, puisqu'il n'y a rien, pour le moment, au-delà du yottabyte (1 000 000 exabytes)...

yotta [Y]	$10^{24} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$
zetta [Z]	$10^{21} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$
exa [E]	$10^{18} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$
peta [P]	$10^{15} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$
tera [T]	$10^{12} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000$
giga [G]	$10^9 = 1\ 000\ 000\ 000$
mega [M]	$10^6 = 1\ 000\ 000$
kilo [k]	$10^3 = 1\ 000$
hecto [h]	$10^2 = 100$
deca [da]	$10^1 = 10$

Les écrans plats et indéfiniment extensibles ont en outre l'intérêt de pouvoir être disposés partout, pas seulement à la maison ou en usage mobile. Les célèbres écrans de Times Square, bien qu'étant désormais équipés de LED, consomment malgré tout 160 MW : près de 20 % d'une centrale nucléaire<sup>36</sup>. Un panneau numérique urbain à deux faces consomme 12 fois plus que son équivalent déroulant papier<sup>37</sup>, soit autant que 3 foyers (12 000 kWh/an) ; et encore la facture paraît sous-estimée car la documentation de JCDecaux ne semble pas envisager un fonctionnement 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7, alors que tel est souvent le cas<sup>38</sup>.

Un mot sur la voiture connectée. En 2016, Intel annonçait que l'objet consommait 4 petaoctets... par jour<sup>39</sup>, soit 2 millions de fois plus que les 2 GB que génère ou fait transiter en moyenne par jour une personne en 2020. Récemment Thierry Breton, PDG d'ATOS, réévaluait ce chiffre à 30 petaoctets de données par jour, et il ajoutait : « *c'est absolument gigantesque. Aucun réseau ne peut supporter cela. La fonction de traitement de données du véhicule électrique ou de la voiture autonome sera sans doute plus consommatrice d'énergie que sa fonction de mobilité. C'est un sujet dont on ne parle pas aujourd'hui* »<sup>40</sup>. D'autres sources évoquent 4 à 10 TB par jour, équivalent à 6200 usagers d'internet<sup>41</sup>. Les principaux moteurs de consommation sont les caméras (20 à 60 Mo par seconde) et le LIDAR, appareil fondé sur l'écho d'un laser (entre 10 et 70 Mo par seconde).

Et la voiture autonome n'est finalement qu'un cas particulier de « l'IA » (intelligence artificielle) et du « big data » (données massives ou mégadonnées). Strubell, Ganesh & McCallum ont montré, à partir d'un réseau de neurones courant utilisé pour traiter le langage naturel, qu'une séance d'entraînement d'intelligence artificielle consommait 350 tonnes de CO<sub>2</sub><sup>42</sup>, soit 300 aller-retour New York – San Francisco. Là encore l'usage d'images voire de vidéos est déterminant<sup>43</sup>. De plus la masse de données et la complexité de l'architecture est telle que l'arrêt de la machine peut difficilement être anticipé à l'avance : il faut la laisser tourner jusqu'à ce que le résultat soit stabilisé<sup>44</sup>.

L'ordinateur quantique peut-il prendre le relais ? Sa consommation semble insensible à la puissance de calcul appelée, pour le moment, mais celle-ci est très faible, relativement à la puissance de refroidissement nécessaire, dans la mesure où ce type d'ordinateur fonctionne à une température proche du zéro absolu : -273°C. Plusieurs publications laissent penser que la consommation d'énergie pourrait augmenter fortement lorsque ces machines deviendront plus puissantes, notamment pour des considérations de physique fondamentale<sup>45</sup>. De plus le quantique, c'est l'invention, là encore, pas l'innovation : combien de temps lui faudra-t-il pour jouer un rôle significatif dans « l'écosystème » de calcul global ?

## II. POURQUOI N'EN PARLE-T-ON QUE MAINTENANT ?

Le Conseil National du Numérique a sorti sa Feuille de Route<sup>46</sup>, l'ARCEP s'interroge. 2019 et 2020 voient émerger la question de la sobriété numérique dans l'espace public. Pourtant les chiffres ci-dessus ne sont nullement surprenants. Le Wuppertal Institute mettait en garde



dès 2001<sup>47</sup> et quelques acteurs ont tenté d'alerter : EcoInfo, GreenIt.fr, etc. Pourtant le numérique est passé sous (presque) tous les radars, en termes d'empreinte écologique. Comment est-ce possible ? Plusieurs raisons ont joué, citons-en six qui paraissent centrales.

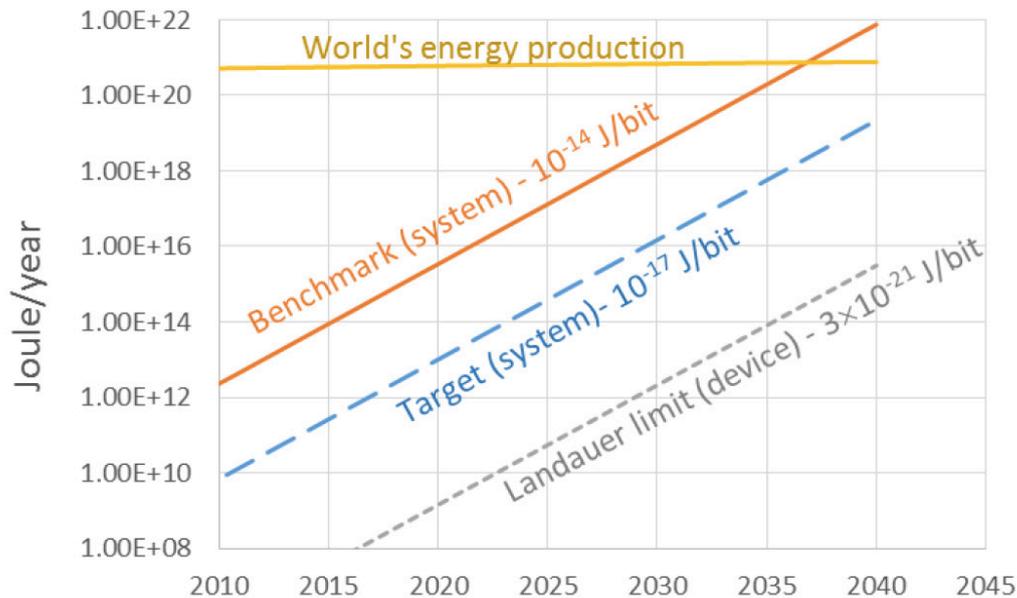
La première est que les entreprises du numérique ne se sont pas pressées pour mettre le sujet en avant – et c'est toujours le cas en 2019. Elles ont préféré allumer des contre-feux tels que les rapports SMART2020 (2008) et SMART 2030 (2015) de la Global e-sustainability Initiative<sup>48</sup>, qui focalisaient sur les gains potentiels que le numérique pouvait offrir aux autres secteurs, promesses pharaoniques à la clé : jusqu'à 20 % des émissions planétaires. Les faiblesses de ces rapports tiennent en quatre points, que nous avons déjà identifiés en 2009<sup>49</sup> : émissions propres du secteur sous-estimées, potentiel de gains en efficacité énergétique sans cesse surestimés, tout comme les gains supposés pour les autres secteurs, sans tenir compte du fait que ces gains, étant d'abord économiques (hausse de la productivité), vont principalement contribuer à la croissance des secteurs concernés, et non à la réduction de leur empreinte écologique.

Une seconde explication est que les spécialistes de la transition écologique ne se sont pas réellement soucié de cet enjeu, jusqu'à une date récente. Le WWF est même allé jusqu'à publier un manifeste commun avec le GeSI (Global e-Sustainability Initiative, plateforme lancée par des entreprises de technologie de l'information et de la communication pour atteindre des objectifs de développement durable par le biais de l'innovation technologique)<sup>50</sup>. De tous côtés, nous nous heurtions à cette conviction non étayée, mais profonde : le numérique allait non seulement réduire rapidement sa propre empreinte, mais servir à réduire celle des autres secteurs. Quand nous avons interrogé le Commissaire à la « société numérique », Peter Johnston, vers 2008, celui-ci nous avait répondu en substance que le numérique serait le secteur industriel qui réduirait son empreinte écologique le plus vite de l'histoire. À un interlocuteur qui soulignait la consommation du numérique, André Gorz lui-même évacua la question d'une brève réponse : le silicium est abondant<sup>51</sup>. La connaissance serait désormais le moteur du capitalisme, mettant fin à son « ère énergétique »<sup>52</sup>.

Une troisième explication tient sans doute à ce que l'arrivée du numérique n'a pas suscité d'investissement énergétique massif et visible : alors qu'il requiert l'équivalent de six réacteurs nucléaires pour fonctionner, en France, soit 10 % du parc, aucune construction n'a eu lieu dans le secteur. L'explication est simple : la croissance de la consommation du numérique a été occultée par les gains en efficacité énergétique d'autres secteurs, en particulier dans l'électroménager. Le constat est le même au niveau européen<sup>53</sup>. Le même phénomène s'est produit dans les foyers : les ménages sont passés au frigo A++ mais n'ont pas vu leur facture baisser. Loin de réduire la consommation des autres secteurs, donc, ce sont les autres secteurs qui ont en quelque sorte effacé la consommation supplémentaire induite par le numérique.

Un quatrième facteur réside dans les gains phénoménaux obtenus en matière d'efficacité énergétique, dans le numérique, au point qu'il a été question, un temps, d'une « loi de Koomey », qui voudrait que la puissance de calcul double tous les 1,57 ans, à consommation énergétique constante<sup>54</sup>. Autrement dit, à puissance de calcul constante, la consommation serait divisée par quatre tous les trois ans, ce qui est énorme, reconnaissons-le. Le problème est que ces gains sont limités, et que nous nous rapprochons rapidement de cette limite. L'information est entropique. La « loi de Koomey » durera moins longtemps que celle de Moore (doublement à coût constant de la puissance des microprocesseurs tous les deux ans), qui a pris fin voici quelques années, avec pour conséquence la multiplication du nombre de « cœurs » (puces) sur les ordinateurs. L'informatique connaît en effet immédiatement des gains spectaculaires, en termes d'efficacité énergétique, ce qui va nourrir un imaginaire de gains illimités ; et ces gains continuent encore de nos jours. Mais la limite physique théorique est pointée dès 1961 par un chercheur d'IBM, Rolf Landauer<sup>55</sup>. Elle a récemment été vérifiée<sup>56</sup>. C'est cette barrière que pointe l'étude issue de l'industrie des semi-conducteurs

mentionnée plus haut, selon laquelle le numérique pourrait consommer l'équivalent de la totalité de l'énergie mondiale appelée en 2010, avant 2070<sup>57</sup>.



Source: Semiconductor Industry Association / Semiconductor Research Corporation, « Rebooting the IT revolution : A Call to Action », 2015, p. 27.

Une dernière explication est plus récente. Elle tient à ce que le numérique « s'est imposé », comme le Credoc le dit à propos du smartphone<sup>58</sup>. Qu'un usage se soit imposé signifie que nous sommes dans une situation de « lock-in », suivant le concept forgé par W. Brian Arthur en 1989<sup>59</sup>. Le lock-in correspond à ce qu'Illich appelait un « monopole radical » c'est-à-dire « la domination d'un type de produit plutôt que celle d'une marque »<sup>60</sup> pour répondre aux besoins les plus ordinaires. Cette domination ne s'est pas produite de manière volontaire, en forme de choix : toutes les données disponibles, à commencer par notre étude de 2009<sup>61</sup>, montrent que les consommateurs n'ont pas choisi la trajectoire sur laquelle les modes de vie sont désormais placés.

Sixième explication : une erreur sur ce qu'est le numérique. Souvent comparé à la presse de Gutenberg<sup>62</sup>, suite aux travaux d'Elizabeth Eisenstein<sup>63</sup>, elle-même inspirée par McLuhan<sup>64</sup>, voire à une convergence entre audiovisuel, informatique et télécommunications (rapport Nora-Minc), on oublie que le numérique, c'est la logistique. Que fait Leonard Kleinrock<sup>65</sup>, l'inventeur d'Internet ? Il applique le modèle de la logistique à l'information : non pas des signaux qui se propagent, mais des « paquets » qui empruntent différents chemins, à la manière des colis dans les camions. Pascal Lamy affirma en 2011, alors qu'il était directeur de l'OMC, qu'Internet et le conteneur sont les deux innovations de base de la mondialisation économique<sup>66</sup>. Vu sous cet angle, les 1,5 milliard de smartphones vendus annuellement ne représentent que 300 000 tonnes (à 200 grammes l'unité). C'est peu, dans l'absolu : le commerce mondial de pondéreux s'élève à 13 milliards de tonnes, environ<sup>67</sup> : 0,00002 % du flux total. Mais le smartphone commande potentiellement tout le reste. Après tout, nous commandons presque tout, depuis ce petit appareil : vêtements, musique, nourriture, et bientôt même les voitures (« autonomes »). Tout ce qui est autour de nous ou presque aurait pu être appelé par ce moyen. C'est dire, d'emblée, si le petit appareil est potentiellement puissant. Avec lui, on se prendrait presque pour Dieu le père. Face à un tel pouvoir, la sidération l'emporte souvent sur toute autre considération. Avec lui, jamais la portée de notre action n'a été aussi grande – et cela alors qu'à l'évidence nous avons les plus grandes peines à assumer les responsabilités qui vont avec, en dépit des thèses largement diffusées de Hans Jonas sur une éthique technologique<sup>68</sup>.



## NOTES

- 1-Shift Project, « Lean ICT. Pour une sobriété numérique. Rapport du Shift Project », 2018.
- 2-Campana, Mireille et al., *Réduire la consommation du numérique*. Rapport au Conseil Général de l'Economie., 2019.
- 3-Semiconductor Industry Association / Semiconductor Research Corporation, « Rebooting the IT revolution : A Call to Action », 2015.
- 4-Breton, Philippe, *Une histoire de l'informatique*, Paris, Points, 1990, p. 75.
- 5-Gille, Bertrand, *Histoire des techniques*, Paris, Pléiade, 1978, p. 921.
- 6-Breton, *Une histoire de l'informatique*, p. 130.
- 7-Exemple du PDP8 : <https://www.pdp8.net/straight8/pdp8.shtml>
- 8-Nora, Simon et Minc, Alain, *L'informatisation de la société*, Paris, La Documentation Française, 1978.
- 9-Breton, *Une histoire de l'informatique*, p. 213.
- 10-Shift Project, « Lean ICT. Pour une sobriété numérique. Rapport du Shift Project. »
- 11-Andrae, Anders S.G. et Edler, Tomas, « On Global Electricity Usage of Communication Technology », *Challenges*, no. 6, 2015, pp. 117-157.
- 12-La consommation mondiale d'électricité 22 000 tWh. <https://yearbook.enerdata.net/electricity/electricity-domestic-consumption-data.html>
- 13-Shift Project, « Lean ICT. Pour une sobriété numérique. Rapport du Shift Project. », part. Annexe 3.
- 14-Ibid., p. 20.
- 15-<https://decrypterlenergie.org/la-revolution-numerique-fera-t-elle-exploser-nos-consommations-denergie>
- 16-ADEME, « Modélisation et évaluation ds impacts environnementaux de produits de consommation et de biens d'équipement », 2018.
- 17-Pour mémoire, l'énergie finale est celle consommée par les usines fabricant les appareils, tandis que l'énergie primaire est celle produite par les centrales énergétiques alimentant ces usines ; entre les deux, des pertes plus ou moins élevées suivant le type d'énergie (hydroélectricité, quelques % de pertes, et nucléaire, 70 % de pertes).
- 18-Ainsi Lotfi Belkhir & Ahmed Elmeliqi, « Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & recommendations », *Journal of Cleaner Production*, Volume 177, 10 March 2018, Pages 448-463
- 19-Eric Masanet, Arman Shehabi, Nuoa Lei, Sarah Smith and Jonathan Koomey, « Recalibrating global data center energy-use estimates », *Science* 367 (6481), 984-986. DOI: 10.1126/science.aba3758
- 20-Shift Project, « Lean ICT. Pour une sobriété numérique. Rapport du Shift Project. », Annexe 1.
- 21-GSMA, *Device Ownership of a Typical Family of Four*, 2012, 2017, 2022. Adapté de GSMA, *The Impact of the Internet of Things The Connected Home*, 2015.
- 22-ADEME, « Modélisation et évaluation ds impacts environnementaux de produits de consommation et de biens d'équipement », 2018.
- 23-Campana et al., *Réduire la consommation du numérique*. Rapport au Conseil Général de l'Economie., p. 32.

- 24-« *I don't want to be in a fight over format wars with those guys while Amazon and Google are focusing on how to get gaming to 7 billion people around the world. Ultimately, that's the goal* ». Notre traduction. <https://www.digitaltrends.com/gaming/xbox-head-says-amazon-and-google-are-major-competition/>
- 25-Mills & al., *Green gaming : energy efficiency without performance compromise*, 2018.
- 26-Mills & al., *Green gaming : energy efficiency without performance compromise*, sept 2018, p. 9
- 27-Cisco, *Visual Networking Index : Mobile Forecast Highlights, Global - 2020 Forecast Highlights*, 2016.
- 28-<https://www.cnetfrance.fr/produits/calculer-le-poids-de-ses-photos-1003101.htm>
- 29-<https://blog.ariase.com/box/faq/quelle-consommation-data-box-4g>
- 30-Mp : millions de pixels.
- 31-<https://www.securite1.fr/fonctionnement-reseau-videosurveillance/>
- 32-<https://www.clubic.com/pro/entreprises/intel/actualite-848816-intel-dresse-futur-hollywood-dome-geant-1-000-capte-action-360.html>
- 33-Sandvine, *The global Internet phenomena report*, 2018.
- 34-Sandvine, *The Mobile Internet phenomena report*, 2019.
- 35-Shift Project, « Climat : l'insoutenable usage de la vidéo en ligne. Un cas pratique pour la sobriété numérique », 2019.
- 36-<https://www.businessinsider.fr/us/the-cost-of-lighting-landmarks-around-the-world-2017-7>
- 37-[https://antipub.org/wp-content/uploads/2017/03/p82\\_ConsommationsNRJTotales.png](https://antipub.org/wp-content/uploads/2017/03/p82_ConsommationsNRJTotales.png)
- 38-<https://www.bastamag.net/Ecrans-publicitaires-a-Paris-l-afficheur-JCDcaux-veut-faire-taire-les>
- 39-<https://newsroom.intel.com/editorials/krzanich-the-future-of-automated-driving/#gs.v9g3jx>
- 40-15 mai 2019. <https://www.usinenouvelle.com/article/l-edge-computing-est-une-plus-grosse-opportunit-e-que-le-cloud-affirme-thierry-breton-pdg-d-atos.N844360>
- 41-Accenture, *Autonomous vehicles : the race is on*, 2018, p. 5.
- 42-Emma Strubell, Ananya Ganesh et Andrew McCallum, *Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP*, <https://arxiv.org/pdf/1906.02243>
- 43-<https://www.technologyreview.com/s/614005/ai-computing-cloud-computing-micro-chips>
- 44-<https://ecoinfo.cnrs.fr/2019/10/01/impact-environnemental-de-lia/>
- 45-Jeremy Hsu, « How Much Power Will Quantum Computing Need ? » *IEEE Spectrum*, 5 octobre 2015. Joni Ikonen, Juha Salmilehto, Mikko Möttönen, *Energy-Efficient Quantum Computing*, arXiv:1609.02732, DOI : 10.1038/s41534-017-0015-5
- 46-[https://cnumerique.fr/environnement\\_numerique](https://cnumerique.fr/environnement_numerique)
- 47-Barthel, C. et al., « 2001: GHG Emission Trends of the Internet in Germany », in Langrock, T., Ott, H.E. et Takeuchi, T., dir., *Japan & Germany: International Climate Policy & the ICT Sector*, Wuppertal Institute, 2001.
- 48-GeSI, *SMART 2020 Enabling the low-carbon economy in the information age*, 2008 ; GeSI, #SMARTer2030. *ICT solutions for 21st century challenges*, 2015.



- 49-Flipo, Fabrice et al., *Technologies numériques et crise environnementale : peut-on croire aux TIC vertes ?* Rapport final Projet Ecotic., 2009.
- 50-WWF, *From risk to profit – The ICT sector as a winner in a low carbon economy*, (non daté); WWF, *Becoming a winner in a low-carbon economy – IT solutions that help business and the planet*, (non daté)
- 51-Dans *Le fil rouge de l'écologie*. Entretiens inédits en français, Paris, Ed. de l'EHESS, 2015, pp. 53-54.
- 52-Gorz, André, *Misère du présent, richesse du possible*, Paris, Galilée, 1997, p. 17.
- 53-[https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/eia\\_status\\_report\\_2017\\_v20171222.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/eia_status_report_2017_v20171222.pdf)
- 54-Koomey, J., et al. (2011). « Implications of historical trends in the electrical efficiency of computing ». *IEEE Annals of the History of Computing*, 33(3), 46–54. <http://doi.org/10.1109/MAHC.2010.28>
- 55-Landauer, Rolf, « Irreversibility and Heat Generation in the Computing Process », *IBM Journal*, juillet 1961, pp. 183-191.
- 56-Bérut, A., Arakelyan, A., Petrosyan, A. et al. « Experimental verification of Landauer's principle linking information and thermodynamics ». *Nature* 483, 187–189 (2012). <https://doi.org/10.1038/nature10872>. Frank, M. P. « The physical limits of computing », *Computer Science Engineering*, 4, 16–26 (2002).
- 57-Semiconductor Industry Association / Semiconductor Research Corporation, « Rebooting the IT revolution : A Call to Action », 2015.
- 58-Credoc, *Baromètre du numérique 2019*, p. 7.
- 59-Brian Arthur, W., « Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-In by Historical Events », *The Economic Journal*, vol. 99, no. 394, 1989, pp. 116-131 ; Bouvier-Patron, Paul, « L'application des concepts de «lock-in » et de « barrières à la mobilité » à une théorie des réseaux d'entreprises », *Revue française d'économie*, 1994, pp. 205-232.
- 60-Illich, Ivan, *Oeuvres complètes - tome 1*, Paris, Fayard, 2004, p. 513.
- 61-Flipo et al., *Technologies numériques et crise environnementale : peut-on croire aux TIC vertes ?* Rapport final Projet Ecotic.
- 62-Par exemple, Boullier, *Sociologie du numérique*, p. 7.
- 63-Eisenstein, Elizabeth, *La révolution de l'imprimé : à l'aube de l'Europe moderne*, Paris, Hachette, 2003.
- 64-McLuhan, Marshall, *La galaxie Gutenberg* (1962), Paris, CNRS Editions, 2017.
- 65-Kleinrock, Leonard, « Information flow in large communication nets. Proposal for a PhD Thesis », 31 mai 1961.
- 66-Lamy, Pascal, « La démondialisation est un concept réactionnaire », *Le Monde*, 30 juin 2011, <[https://www.lemonde.fr/economie/article/2011/06/30/pascal-lamy-la-demon-dialisation-est-un-concept-reactionnaire\\_1542904\\_3234.html](https://www.lemonde.fr/economie/article/2011/06/30/pascal-lamy-la-demon-dialisation-est-un-concept-reactionnaire_1542904_3234.html)>.
- 67-PNUE, « Global Material Flows and Resource Productivity. An Assessment Study of the UNEP International Resource Panel », 2016, p. 15.
- 68-Jonas, Hans, *Le principe responsabilité : une éthique pour la civilisation technologique*, Paris, Le Cerf, 1990.

## L'auteur



**Fabrice FLIPO** est professeur de philosophie, épistémologie et histoire des sciences et techniques à l'Institut Mines-Télécom ; chercheur au Laboratoire du changement social et politique de l'Université Paris Diderot. Il est membre du comité de rédaction de la revue *Écologie & Politique*.

Il est l'auteur, entre autres, de:

- *Écologie autoritaire*, ISTE, 2018.
- *Réenchanter le monde. Politique et vérité*, Le Croquant, 2017.
- *Décroissance, ici et maintenant*, Le Passager Clandestin, 2017.
- *Pour une philosophie politique écologiste*, Textuel, 2014.
- *Nature et politique. Contribution à une anthropologie de la modernité et de la globalisation*, Amsterdam, 2014.
- *La face cachée du numérique* (avec M. Dobré & M. Michot), Paris, Éditions de L'Échappée, 2013.

### LA FONDATION DE L'ÉCOLOGIE POLITIQUE - FEP

31/33 rue de la Colonie 75013 Paris  
Tél. +33 (0)1 45 80 26 07 - [contact@fondationecolo.org](mailto:contact@fondationecolo.org)

La FEP est reconnue d'utilité publique. Elle a pour but de favoriser le rassemblement des idées autour du projet de transformation écologique de la société, de contribuer à l'élaboration du corpus théorique et pratique correspondant à ce nouveau modèle de société et aux valeurs de l'écologie politique.

*Les travaux publiés par la Fondation de l'Écologie Politique présentent les opinions de leurs auteur-es et ne reflètent pas nécessairement la position de la Fondation en tant qu'institution.*

[www.fondationecolo.org](http://www.fondationecolo.org)

ISBN 979-10-95082-24-8



9 791095 082248

1€



Cette note est mise à disposition selon les termes de la licence Creative Commons 3.0, « Attribution – Pas d'utilisation commerciale – Pas de modifications ».

<http://creativecommons.org/licences/by-nc-nd/3.0/fr>