

La consommation énergétique d'internet

Séminaire EthiN2018

Loïc Mahier

M1 ALMA groupe 5

Saad Oumar Kone

M1 ALMA groupe 5

Demetre Phalavandishvili

M1 ALMA groupe 5

26 février 2018

Résumé

A une époque où internet est entré dans les mœurs ; Où on préfère utiliser le moteur de recherche Google pour avoir une réponse plutôt que de se déplacer ou de contacter la ou les personnes pouvant répondre ; Où une grande majorité de la population a accès à internet à son domicile ou au bureau via des ordinateurs et lorsqu'on se déplace via des smartphones ; A une époque enfin où l'écologie est un sujet d'ordre public, un réel problème de société suscitant de nombreuses tensions comme autour du projet Notre-Dame-des-Landes par exemple, il est surprenant de voir qu'on ne parle pas ou du moins pas assez fort de la consommation énergétique d'internet. En effet, "Internet représente plus de 7 % de la consommation électrique mondiale, en croissance de 12 % par an. Une simple recherche Google nécessite la même dépense énergétique que celle nécessaire à l'ébullition d'un demi litre d'eau."

"En France, l'infrastructure numérique consomme annuellement la production de 9 réacteurs nucléaires, soit 13 % de l'électricité nationale" [1]. Devant ces chiffres ahurissants, tentons d'y voir plus clair.

Table des matières

1	Introduction	2
2	La consommation énergétique actuelle d'internet	2
3	Les responsabilités	3
3.1	Des entreprises	4
3.2	Des FAI	4
3.3	Des usagers	6
4	Les efforts déjà consentis	7
5	Comment rendre internet plus "vert"	8
6	Conclusion	10

1 Introduction

Cet article a pour but de nous questionner sur l'un des effets négatifs d'internet, à savoir sa consommation énergétique. Cela en partant d'un point de vu général, de quelques chiffres pour aller un peu plus en profondeur et comprendre les enjeux avant d'évoquer les évolutions en cours. Ainsi nous allons commencer par dresser un constat de ce que représente la consommation énergétique actuelle d'internet, chiffres à l'appui. Nous chercherons ensuite à savoir pourquoi cette consommation est croissante et quel rôle jouent les entreprises et les usagers d'internet là dedans. Nous serons alors amené à évoquer quelque peu la pollution qu'entraîne l'utilisation d'internet. Nous verrons après que le tableau dépeint n'est pas entièrement noir, en effet certaines entreprises ont entamé une révolution "verte". Enfin, nous discuterons des diverses possibilités aujourd'hui en discussion pour limiter encore davantage la consommation énergétique d'internet.

consommation mondiale d'électricité [3]. Cette énergie consommée par le domaine informatique a différentes sources, à savoir l'énergie nucléaire, le charbon, le gaz et les énergies renouvelables. En 2017 parmi cette énergie consommée par l'informatique, 40 % l'est par les data centers et le réseau central (constitué de plusieurs réseaux connectées les uns aux autres par des lignes en fibre optique). D'après les estimations de Greenpeace (une ONGI de protection de l'environnement), pour 2020 cette consommation pourrait tripler ce qui aurait un impact important sur notre environnement [3]. Selon un chercheur de l'université technique de Dresden, Gerhard Fettweis, la consommation énergétique du secteur informatique pourrait atteindre un seuil correspondant à la consommation mondiale de 2008 et internet pourrait devenir le plus gros consommateur d'électricité dans le monde [2]. Tout cela nous amène à nous interroger sur la manière dont les infrastructures du monde internet sont alimentées et sur la part d'énergie renouvelable et d'énergie fossile dans la consommation énergétique d'internet.

2 La consommation énergétique actuelle d'internet

Tous les 4 ans, la consommation énergétique d'internet double. En ce moment, le secteur informatique occupe la troisième place dans le classement des grands consommateurs d'électricité, juste derrière la Chine et les Etats-Unis [2]. Ceci représente environ 7 % de la

La figure 1 représente la répartition de la consommation énergétique entre les différentes composantes du secteur informatique : on y trouve les utilisateurs finaux, les data centers, les infrastructures réseaux et la fabrication des produits informatiques. Ici nous comparons la variation de la consommation énergétique de ces différentes composantes entre 2012 et 2017. Tout d'abord parlons des utilisateurs finaux, ici nous voyons que la part dans la consommation énergétique des utilisa-

teurs finaux a diminué, cela ne signifie pas qu'il y a moins d'utilisateurs finaux car le nombre d'utilisateurs augmente annuellement d'environ 7 % [4]. Même situation pour la production des produits informatiques, car la demande augmente d'année en année, il est donc surprenant qu'elle diminue. Ces diminutions sont donc liées à la hausse de la consommation des autres composantes : celles des data centers et des infrastructures réseaux. Ainsi il n'y a en fait pas de diminution de la consommation de ces composantes, il y a en réalité une augmentation importante de la consommation des deux autres composantes.

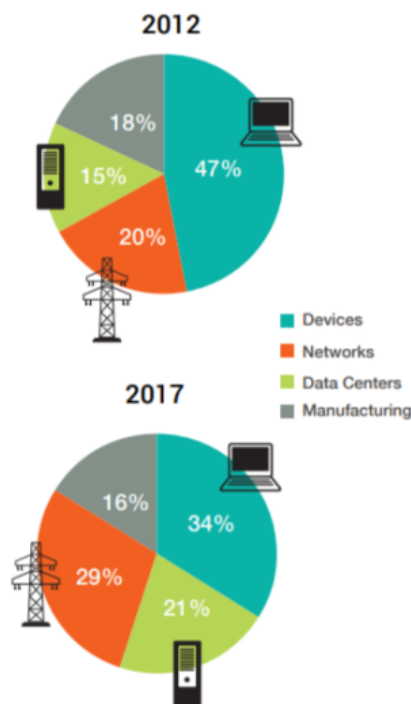


FIGURE 1 – Diagramme extrait du rapport "Clicking clean" de Greenpeace

La consommation des infrastructure réseaux a augmenté significativement en

2017 par rapport à 2012 (29 % contre 20 %). L'un des facteurs de cette hausse est l'introduction en masse de la technologie 4G pour les smartphones et les tablettes à travers les offres proposées par les différents opérateurs.

La hausse de la consommation énergétique des data centers s'explique elle, par l'augmentation exponentielle des différentes applications (mobile notamment) qui ont besoin d'une connection permanente avec les serveurs présent dans les data centers. Des applications tels que Instagram, Snapchat, Facebook, etc, pour ne prendre que des applications de type "réseaux sociaux" en exemple, applications par ailleurs parmi les plus énergivores.

3 Les responsabilités

Alors que nous pourrions penser que les entreprises sont les principaux consommateurs énergétique d'internet, il se trouve que les usagers ont aussi leur part de responsabilité. Une responsabilité dont ils ne sont eux-même pas réellement conscient. En effet beaucoup de gens n'ont aucune idée du fonctionnement d'internet, de ce qu'il se passe lorsqu'il font une recherche sur Google ou bien du coût énergétique d'un email qui peut aller jusqu'à quintupler avec l'ajout d'une pièce jointe par exemple. Nous allons voir pour les entreprises et les usagers, séparément, ce qui dans leur utilisation distincte d'internet consomme de l'énergie. Nous évoquerons également les FAI qui jouent aussi un rôle dans la consommation énergétique d'internet en influençant la consommation

des usagers.

3.1 Des entreprises

En ce qui concerne les entreprises, nous allons plus précisément nous attarder sur le Big Data, principal responsable de la consommation énergétique d'internet par les entreprises aujourd'hui. Devant la nécessité de stocker des données, les entreprises ont deux possibilités : elles peuvent soit passer par un prestataire, évitant ainsi les investissements initiaux élevés dans une infrastructure et les coûts conséquents de maintenance et de mises à niveau ; soit construire leur propre data center.

Un data center ou un centre des données en français est une usine numérique hébergeant des milliers de serveurs interconnectés entre eux traitant des milliers d'informations par seconde. Leur bon fonctionnement nécessite qu'ils soient alimentés en électricité sans interruption. Aussi, comme on peut l'observer dans la vie de tous les jours, nos ordinateurs ou nos smartphones chauffent lors d'une utilisation intense. Il en est de même pour les serveurs d'un data center. Ce qui impose une climatisation pour évacuer la chaleur accumulée, climatisation qui augmente encore la consommation d'électricité. Pour vous donner une idée, le coût de fonctionnement d'une climatisation parmi les dizaines présentes dans un data center est équivalent à ce qu'il faut pour climatiser un hôtel d'environ 50 chambres [5]. Par ailleurs, on estime que sa climatisation représente 30 à 40 % de la consommation énergétique d'un data center.

La prolifération de l'informatique en nuage (internet, cloud) a entraîné la création de nombreux data centers à travers le monde contenant des milliers de nœuds de calcul. D'après le site Data Center Map [6] il y aurait actuellement 4274 data centers dans le monde répartis dans 121 pays. Ainsi, tous ces data centers consomment d'énormes quantités d'énergie électrique, ce qui entraîne des coûts d'exploitations élevés. Mais ces data centers rejettent également entre autres, des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) très importantes dans l'environnement.

En quelques chiffres, la consommation énergétique des data centers représente 3 % de l'électricité mondiale, une estimation qui pourrait monter à plus de 13 % en 2030. En France, les data centers consomment entre 7 et 10 % de la production électrique nationale [7]. Les émissions de dioxyde de carbone des entreprises d'internet sont actuellement estimées à 2 % des émissions mondiales, elles sont équivalentes aux émissions de l'industrie aéronautique (en 2007) [8] et contribuent de manière significative à l'effet de serre [9].

3.2 Des FAI

Les fournisseurs d'accès internet jouent un rôle de plus en plus important dans les émissions de gaz à effet de serre puisque la quantité d'énergie utilisée augmente de façon spectaculaire avec la croissance explosive des besoins en services. A cette demande s'ajoute l'exigence de plus en plus élevée des usagers qui veulent qu'internet soit accessible partout, à tout

moment et qu'internet soit rapide. Ainsi, au fur et à mesure que les vitesses d'accès à internet augmenteront, la consommation d'énergie de l'équipement utilisé pour y accéder augmentera nécessairement. Par exemple l'alimentation d'une box et d'un boîtier TV 24h sur 24 coûte à peu près 30 euros pour une consommation de 150 à 300kWs par an pour un foyer. Cela représente près de 20 % de la production d'un réacteur nucléaire juste pour faire fonctionner les box ADSL en France [10].

A ce coût très important des équipements, vient s'ajouter le coût lié au débit, de plus en plus élevé. Beaucoup d'entre nous aimerions avoir la fibre optique chez nous par exemple. Comme c'est déjà le cas dans les grandes villes, car les débits en campagne sont beaucoup plus faibles. Mais cette augmentation des débits augmente aussi le coût énergétique. Il permet par exemple de regarder une vidéo en haute définition, ce qui n'était pas forcément possible auparavant. Cela modifie donc le comportement des usagers. Il est d'ailleurs important de souligner que cette augmentation de débits est voulue par les usagers, les FAI n'en sont pas les uniques responsables, comme nous le disions la responsabilité est partagée. Nous souhaitons tous avoir un internet plus performant, mais au détriment, inconsciemment pour beaucoup, de l'aspect écologique.

Et puisque nous avons discuté du haut débit filaire, nous pouvons aussi évoquer les nouvelles technologies sans fils tels que la 3G, la 4G ou la 5G. En effet, tout ce qui est réseau sans-fil nécessite une beau-

coup plus grande quantité d'énergie que le réseau filaire. Aussi, selon les estimations réalisées, le réseau 3G a besoin de 15 fois plus d'énergie que le Wifi et le réseau 4G est encore plus énergivore que ces deux derniers (environ 23 fois plus) [4]. Avant l'apparition de la 4G, la consommation énergétique du réseau sans-fil était moins importante, car le débit du réseau Wifi est plus haut que celui du réseau 3G. Cela a pour conséquence que les utilisateurs finaux préféraient le réseaux Wifi chez eux que la 3G. L'apparition de la 4G a effacé cette frontière entre ces deux réseaux sans fil, car le débit du réseau 4G est beaucoup plus important que celui du réseau 3G et dans certaine condition il est équivalent à un débit Wifi. Prochainement, l'utilisation de la 4G risque de provoquer une hyper consommation d'électricité car de plus en plus nous observons que les fabricants d'ordinateurs portables et de tablettes présentent des produits disposant d'antennes 4G. Cela se vérifie en regardant la statistique suivante qui couvre la période entre les années 2013 et 2015 [4] :

- 2013 - 200 millions utilisateurs 4G ;
- 2014 - 490 millions utilisateurs 4G ;
- 2015 - 875 millions utilisateurs 4G ;

On constate donc une tendance puisque le nombre d'utilisateurs 4G a plus que quadruplé en deux ans. Les FAI étant à l'écoute des usagers, ce chiffre risque d'augmenter dans les prochaines années, car ils proposent de plus en plus d'offres de box internet basées sur le réseau 4G pour les régions défavorisées. Ainsi, nous pouvons constater que la consommation énergétique d'internet ne dépend pas exclusivement des

entreprises ou des FAI, les usagers l'influencent également.

3.3 Des usagers

Les usagers d'internet ont eux aussi leur part de responsabilité dans l'hyper consommation énergétique d'internet. Toute cette consommation est engendrée par la forte demande des usagers pour répondre à leur besoin à tous moments, comme pour envoyer un mail par exemple ou consulter un site, faire une recherche sur un moteur de recherche, etc. Et cela depuis différentes plateformes tels qu'un ordinateur, un smartphone ou encore une tablette. D'autant plus que nous possédons par foyer, un smartphone par personne en général (excepté les enfants, et encore que), et plusieurs ordinateurs qu'ils soient fixes ou portables. S'ajoute à cela l'apparition depuis quelques années des tablettes. Tout cet équipement est en général connecté à internet, rare sont les personnes les utilisant hors-ligne.

Prenons le coût d'envoi d'un mail sans pièce jointe, il est estimé par l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) à approximativement 5wh et celui d'un mail avec une pièce jointe à 24 wh. Cela représente la consommation électrique pendant une heure d'une ampoule de basse consommation. A la première approche nous pourrions dire que ce n'est pas un chiffre énorme, mais si nous passons à l'échelle, en prenant en compte le nombre de mail envoyé sans pièce jointe pendant une heure nous obtenons à la fin une quantité d'énergie correspondant à la consommation de

grande quantité de pétrole, ici 4000 tonnes en l'occurrence ou au fonctionnement de 15 centrales nucléaires pendant une heure [11].

Ce ne sont là que quelques chiffres pour illustrer cette consommation énergétique d'internet de la part des usagers. Ce n'est en aucun cas un constat complet du coût de notre utilisation d'internet, car chacun a des pratiques différentes et par conséquent une consommation différente. Par exemple certains vont uniquement utiliser internet pour regarder leur mail, là où d'autres vont regarder un film ou jouer à des jeux vidéo, dans chaque cas la consommation sera très variable. Le fait de regarder des vidéos ou du "streaming" étant ce qui consomme le plus.

A cela s'ajoute l'utilisation des smartphones qui est devenu un outil indispensable de nos jours, nous l'utilisons en effet de plus en plus quotidiennement. Et cela parce que nous utilisons diverses applications pour accéder aux réseaux sociaux par exemple. Ainsi nombre d'entre nous sont connectés à internet en permanence ou presque sur leur smartphone. Alors que d'autres ne se servent de leur smartphone que pour téléphoner et échanger des sms.

On obtient donc au final une consommation énergétique d'internet partagée entre les entreprises d'un côté, qui mettent à notre disposition des services, souvent énergivores et les usagers de l'autre, qui disposent de ces services. Chacun a sa responsabilité et chacun a des efforts à fournir pour diminuer ce coût énergétique. Nous

allons voir dans la suite que contrairement aux usagers, les entreprises essaient déjà pour certaines de rendre internet un peu plus “vert”.

4 Les efforts déjà consentis

Pour qu'internet fonctionne en continu il a besoin d'une alimentation énergétique continue. Cette alimentation doit répondre aux différentes demandes au sein des data centers, les ordinateurs centraux, les serveurs et la climatisation entre autre fonctionnant 24h sur 24. Pour diminuer cette consommation énergétique, le rôle des grandes entreprises d'internet, telles que les GAFAs - Google, Apple, Facebook, Amazon par exemple est très important. D'une part car ce sont des entreprises innovantes, mais aussi parce qu'elles sont de véritables leaders et qu'elles ont le pouvoir d'inciter d'autres entreprises à en faire autant. Mais il faut aussi souligner que Amazon et Google notamment sont deux des entreprises les plus énergivores. Google à lui seul possède plus de 40 data centers à travers le monde. C'est donc aussi une question d'image.

Depuis 2009, Greenpeace, demande aux grands acteurs de s'engager à avoir un approvisionnement énergétique basé sur des énergies renouvelables. Cette demande a porté ses fruits, en effet on constate aujourd'hui que plusieurs entreprises ont commencé à s'orienter vers une diminution de leur consommation en énergies fossiles [3].

Suivant un rapport fait par un militant de Greenpeace, Gary Cook, en janvier 2017, Apple et Google sont en tête de l'utilisation des énergies renouvelables et les deux sociétés continuent d'utiliser leur influence pour pousser les gouvernements ainsi que leurs fournisseurs de services publics et de l'industrie informatique à accroître l'accès à l'énergie renouvelable pour leurs opérations quotidiennes. Ainsi on constate sur la figure 2 les résultats présentés par Greenpeace dans son rapport. Résultats que nous avons dû édulcorer pour pouvoir les présenter dans cet article, en effet ils étaient beaucoup trop conséquent, nous n'avons donc conservé que quelques entreprises, les plus importantes [12].

Entreprise	Note obtenue	Source d'électricité (en %)			
		énergie renouvelable	gaz	charbon	énergie nucléaire
Apple	A	83	4	5	5
Amazon	C	17	24	30	26
Baidu	F	24	3	67	3
Facebook	A	67	7	15	9
Google	A	56	14	15	10
HP	C	50	17	27	5
IBM	C	29	29	27	15
Microsoft	B	32	23	31	10
Oracle	D	8	26	36	25
Samsung	D	11	19	29	31
Tencent	F	24	3	67	3

FIGURE 2 – Extrait du rapport “Clicking clean” de Greenpeace

Voyons plus en détail les décisions prises par quelques grands acteurs d'internet. Les géants de l'informatiques

ont proposé différentes approches pour diminuer l'impact sur l'environnement de leur consommation énergétique. Leurs solutions consistent notamment à utiliser des ressources naturelles telles que l'énergie solaire, le vent et même le climat de certaines régions de la planète telles que des régions aux températures très froides, pour refroidir ainsi efficacement les data centers. Aujourd'hui Google possède un datacenter en Suède, à Hamina où la température annuelle moyenne au sud du pays est d'environ 5 degrés, et au nord de -2 degrés [13, 14]. Facebook a aussi suivi cette tendance en construisant l'un de leur data center en Suède, à Lulea [15].

L'utilisation d'un climat froid n'est pas la seule approche des géants de l'informatique. Aux Etats-Unis, ils construisent de grandes fermes de panneaux solaires pour alimenter leurs data centers. Cette approche est principalement utilisée par Google, Apple et Facebook. Apple possède d'ailleurs la plus grande ferme de panneau solaire au monde, juste à côté de l'un de ses data center. Mais ils ne suffisent pas à assurer l'autonomie énergétique du data center. En effet ce n'est pas suffisant car les panneaux solaires sont intermittent, la production d'électricité dépend fortement de la météo. Ainsi les pics de production d'électricité ont lieu lors des journées ensoleillées, cependant un data center nécessite une alimentation constante, de jours comme de nuits, qu'il fasse beau ou qu'il pleuve.

Il existe encore une troisième voie qui consiste à utiliser l'énergie du vent en uti-

lisant les éoliennes. Ceci est répandu parmi les grandes entreprises telles que Amazon, Microsoft, Facebook et Google. Mais l'énergie du vent tout comme l'énergie solaire dépend de la météo, ce qui limite leurs utilisations par les géants d'internet [16]. La solution la plus efficace est donc pour l'instant de profiter du climat propice d'une région.

5 Comment rendre internet plus "vert"

Comme nous l'expliquions un peu avant, grâce à des lanceurs d'alerte tel que Greenpeace et à une prise de conscience de la part de certain géant de l'informatique, on constate une inversion de tendance. On pouvait ainsi constater à l'aide de la figure 2, extrait du rapport Clicking clean de Greenpeace, que ce sont principalement les entreprises américaines qui ont de l'avance en terme de part d'énergie renouvelable dans leur consommation énergétique d'internet. L'un des premiers axes à travailler pour rendre internet plus "vert" serait donc que les autres entreprises, notamment celles asiatiques y contribuent. Si l'on revient encore sur la figure 2, on voit que Baidu et Tencent par exemple, deux des plus grosses entreprises chinoise en informatique, sont extrêmement mal notées par Greenpeace. En effet elles obtiennent la note F, qui est la plus basse possible [3]. Mais c'est là peut-être un problème qui dépasse les limites d'internet. La Chine étant un énorme pollueur, il faut sans se limiter à internet, que ces régions développent

davantage les énergies renouvelables.

Greenpeace propose un second axe de travail orienté vers les usagers d'internet. En effet ils veulent inciter les usagers à adapter leur utilisation d'internet pour réduire leurs consommations. Cela peut se faire simplement, en évitant de regarder des vidéos en trop haute définition par exemple, ce qui diminuerait la consommation sur les bandes passantes, de même éviter de stocker des choses inutiles sur le Cloud ou de les stocker de multiples fois. "Regarder un film en basse définition permet par exemple de consommer quatre à dix fois moins d'énergie qu'un visionnage du même fichier en haute qualité graphique" [3]. Ce sont de petites adaptations qui ne changeraient pas drastiquement notre quotidien et permettrait de réduire un peu la part de consommation énergétique d'internet qui incombe aux usagers.

Si l'on reprend cette idée de duplication sur le Cloud, on peut alors aussi se questionner sur le modèle de Google qui possède chaque données sur trois data centers différents pour palier aux pannes. Cela permet certe à Google de garantir la disponibilité de ses données auprès des usagers mais cela augmente le nombre de data centers nécessaire et ajoute de la consommation dû aux transferts ssur le réseau car il faut dupliquer les données. Il faut donc revoir nos manières d'utiliser internet voir peut-être même revoir nos exigences pour obtenir un internet moins énergivore.

Et cela nous amène à un troisième et

dernier axe de travail, proposé notamment par des scientifiques tel que Kris De Decker dans le Low-Tech Magazine [4]. De Decker pense que le meilleur moyen de limiter la consommation énergétique d'internet serait de limiter sa vitesse, autrement dit de bloquer les débits. L'idée se défend très simplement, la hausse des débits d'internet, qu'ils soient filaires via une box internet, ou sans-fils avec la 4G et 5G entraîne nécessairement une hausse de la consommation énergétique. Mais c'est une idée qui peut faire peur, en effet comment limiter ce débit ? Est-ce les FAI qui décideront du débit ? Est-ce que celui qui sera plus aisé pourra se permettre de payer plus cher pour avoir un meilleur débit au détriment de quelqu'un moins aisé qui aura une connexion bridée ? Est-ce que les FAI feront payer plus cher les connexions aux sites énergivores tel que des sites de vidéo à la demande ? Cela nous ramène un peu vers la fin de la neutralité du web qui a lieu en ce moment même au Etats-Unis.

Il y a donc de nombreux moyens de rendre internet plus "vert", nous n'en avons cité que quelques uns. Certains sont déjà mis en place, les géant d'internet changent leurs pratiques mais cela sera beaucoup plus compliqué de faire changer les pratiques des usagers et encore plus d'aller jusqu'à réduire la qualité des services qui leur sont proposés. En effet nous sommes assez peu enclin à accepter que nos services baissent en qualité.

6 Conclusion

Comme vous l'aurez compris, nous l'espérons, la consommation énergétique actuelle d'internet est ahurissante et de nombreux lanceurs d'alerte préviennent que si rien n'est fait la facture écologique pourrait être très lourde. De fait un grand nombre de progrès ont été fait, notamment du côté des GAFA, qui essaie pour certaine par exemple de rendre les data centers "vert". Mais d'autre ne semblent pas avoir pour priorité d'améliorer la situation ou sont du moins en net retard.

Aussi si les usagers n'y sont pas encore sensibilisé, il est possible qu'il se retrouve dans un future proche à payer la facture, avec un débit réduit ou bien que leur FAI le fasse pour eux en augmentant la facture en fonction de leur consommation.

Internet a été et est toujours un réel progrès technologique mais il doit aussi devenir un progrès écologique. Cependant au delà de la prise de conscience des entreprises de l'internet, l'arrivée temps promise des IoT (Internet of Things), l'internet des objets, est assez inquiétante tant elle pourrait nuire aux efforts fournis actuellement pour contrer la pollution d'internet. En effet la multitude d'objet qui pourrait se retrouver connectée tels que les télévisions, les montres, les cafetières, etc ne feront pas nécessairement baisser la facture écologique d'internet.

Il est enfin utile de rappeler qu'internet même s'il est devenu énergivore permet de faire de nombreuse économie d'énergie à coté et contribue à l'écologie. Que ce soit

d'un point de vu administratif, nous utilisons ainsi de moins en moins de papier ou d'un point de vu des transports, nous effectuons de plus en plus d'achats sur internet et ne nous déplaçons plus en voiture.

Références

- [1] Gaël Trouvé Félix Tréguer. Le coût écologique d'internet est trop lourd, il faut penser un internet low-tech.
- [2] Théophile Laherre. Internet : le plus gros pollueur de la planète ?
- [3] Il est temps de renouveler internet : L'énergie verte pour le web 4.0.
- [4] Kris De Decker. Why we need a speed limit for the internet.
- [5] Le coût écologique d'internet est astronomique et personne ne le voit.
- [6] Colocation data centers.
- [7] Louise Ascher. Les centres de données, grands pollueurs de l'ère numérique ?
- [8] Gartner. Communiquer de presse. Gartner estimates ict industry accounts for 2 percent of global co2 emissions.
- [9] Laurent Lefèvre Jean-Marc Pierson. Le big data est-il polluant ?
- [10] Que font les fournisseurs d'accès à internet pour diminuer la consommation d'énergie des box adsl et comment pouvons nous agir pour réduire la consommation de ces appareils ?
- [11] Internet, la pollution cachée, 2014.
- [12] Gary Cook. Clicking clean : who is winning the race to build a green internet ?, 2017.

- [13] Tania Séverin. Un datacenter google refroidi à l'air finlandais.
- [14] Google, centres de données.
- [15] The facebook data center faq.
- [16] Marc Zaffagni. Google en passe d'utiliser 100 % d'énergies renouvelables.