# Green IT & Transition Numérique

Module d'ouverture O2 — Développement Durable

et Responsabilité Sociale des Entreprises (DD-RSE)

Avril 2020





#### Google, vous connaissez?



Q

SUSTAINABILITY

#### Data centers are more energy efficient than ever



Urs Hölzle

Senior Vice President, Technical Infrastructure

Published Feb 27, 2020

POLICY FORUM ENER

POLICY FOROM | ENERGY

Recalibrating global data center energy-use estimates

Eric Masanet<sup>1,2</sup>, Arman Shehabi<sup>3</sup>, Nuoa Lei<sup>1</sup>, Sarah Smith<sup>3</sup>, Jonathan Koomey<sup>4</sup>
+ See all authors and affiliations

Science 28 Feb 2020: Vol. 367, Issue 6481, pp. 984-986 « Bien que Google soit le plus grand acheteur d'énergie renouvelable au monde, nous prenons également des mesures pour lutter contre le changement climatique en réduisant la quantité d'énergie que nous devons utiliser en premier lieu. Depuis plus de dix ans, nous nous efforçons de rendre nos data centers (centres de données) aussi efficaces que possible sur le plan énergétique. Aujourd'hui, un nouvel article paru dans Science a validé nos efforts et ceux d'autres leaders de notre industrie. Il a révélé que les améliorations de l'efficacité énergétique ont permis de maintenir la consommation d'énergie presque inchangée dans les data centers du monde entier, alors même que la demande pour le *cloud computing* (informatique en nuage) est montée en flèche.

Cette nouvelle étude montre que si la quantité de calculs effectués dans les *data centers* a augmenté d'environ 550 % entre 2010 et 2018, la quantité d'énergie consommée par les *data centers* n'a augmenté que de 6 % pendant la même période. »

- En 2004, Frédéric Bordage, expert en numérique responsable, crée green 🔟 .fr
- En 2008, lui et la communauté d'internautes qu'il anime, forgent l'expression « sobriété numérique » qui ne prendra son envol que 10 ans plus tard.
- Dans un article datant de 2017, il propose <u>une brève histoire du Green IT</u>, définit succinctement comme: « cette démarche d'amélioration continue qui vise à réduire l'empreinte environnementale, économique et sociale du numérique. »

#### ▶ 1992 — 2006 | La préhistoire du Green IT

- ▶ 1992 : TCO est le 1<sup>er</sup> label à intégrer au moins 2 dimensions du développement durable, en s'intéressant à la santé humaine (émissions d'ondes électromagnétiques par les tubes cathodiques) et à l'aspect financier (économie d'énergie).
- ▶ 1995 : Trois ans plus tard, TCO intègre ses premières exigences environnementales afin de réduire certaines substances chimiques toxiques.
- **2000** : Création du *Green Electronic Council* qui pilotera, plus tard, le label **EPEAT**.
- ▶ 2003 : Le changement climatique commence à être connu du grand public. On commence à se poser la question de l'impact environnemental du numérique. On parle surtout de « *green computing* ».
- 2004 : Lancement de GreenIT.fr
- ▶ 2005 : 1<sup>er</sup> rapport du *Green Grid* sur la consommation électrique des centres de données et prévision pour 2010. On ne parle pas encore de Green IT en France. Création du groupement de service **EcoInfo** (CNRS).
- ▶ 2006 : 1ère version de **EPEAT**. Bien que publié 10 ans après TCO, cet écolabel va s'imposer en quelques années sur certains types d'équipements via les commandes publiques des agences fédérales américaines.

#### ▶ 2007 — 2009 | 1ère ère : Vision limitée du sujet

- À l'époque, on s'intéresse surtout aux sujets évidents liés à l'utilisation des équipements et « faciles » tels que la consommation électrique des postes de travail et des centres de données, la réduction des volumes d'impressions, la dématérialisation de documents papier vers des documents numériques, etc. Les entreprises ne s'intéressent pas encore aux sujets de fond et n'abordent pas encore la problématique avec les bons outils méthodologiques : cycle de vie, écoconception, lien entre logiciel et matériel, dimension sociale, etc.
- ▶ 2007 : Al Gore et le GIEC reçoivent le **Prix Nobel de la Paix**. C'est un véritable déclencheur dans la société civile et dans le monde informatique. Il y a très nettement un avant et un après 2007.
- ▶ 2007 : Le cabinet de conseil Gartner impose le terme de « **Green IT** » dans les entreprises privées.
- ▶ 2008 : 1<sup>ers</sup> articles dans des médias généralistes en France et dans le monde sur le Green IT.
- ▶ 2008 : GreenIT.fr forge le terme « **sobriété numérique** » qui ne prendra son envol que 10 ans après.
- ▶ 2009 : Le **Syntec Numérique** publie un <u>position paper</u> sur le sujet du Green IT.
- ▶ 2009 : Lancement de <u>l'écoconception logicielle</u> en France par GreenIT.fr.
- 2009 : Vote de la loi Grenelle 1 (feuille de route non contraignante).
- ▶ 2009 : Lancement de la **Contribution Climat Energie** (qui sera annulée avant les élections).
- ▶ 2009 : Fin 2009, échec de la **COP** de Copenhague. Conjugué à la crise économique, on note un ralentissement très net des projets Green IT des entreprises (qui débutaient à peine).

#### ▶ 2007 — 2009 | 1ère ère : Vision limitée du sujet

Les entreprises se positionnent en communiquant mais n'agissent pas concrètement. Le Green IT est principalement une question d'image et de comm'. Les organisations n'ont pas encore pris la mesure du potentiel de réduction de coûts et d'impacts. C'est l'ère du *greenwashing* et du « carbone ». On ne s'intéresse pas aux autres sujets clés tels que la biodiversité, l'épuisement de ressources, la dimension sociale, etc. Les entreprises recherchent des solutions techniques qui n'existent pas encore.

#### **▶ 2010 − 2012 | 2**ème ère : Industrialisation des démarches

- L'écosystème va progressivement découvrir les sujets de fond : cycle de vie, impacts variés, sujets plus profonds comme allongement durée de vie, écoconception, etc. Les médias pro (informatique) et les cabinets de conseil (Gartner, etc.) se désintéressent progressivement du sujet qui est repris pas les médias grand public sous des angles plus forts : obsolescence programmées, déchets électroniques et leur « recyclage » en Afrique, etc. C'est finalement le grand public qui va pousser les entreprises à s'intéresser aux sujets de fond. C'est aussi à ce moment que débutent les premières démarches structurées des grandes entreprises. Les attentes sont des gains économiques et environnementaux.
- ▶ 2010 2011 : Entrée en vigueur progressive des lois Grenelle II.
- 2011 : 1<sup>er</sup> site web éco-conçu en Europe : BCF.ch. Création de l'<u>Alliance Green IT</u> (AGIT). Sortie du <u>« Guide pour un système d'information éco-responsable »</u> par le WWF / CNRS / GreenIT.fr.
- ≥ 2012 : Lancement du <u>« Guide sectoriel TNIC »</u> par l'Ademe et le Cigref. 1ère édition du référentiel <u>« écoconception web : les 100 bonnes pratiques »</u> chez Eyrolles.

#### **▶** 2012 − 2015 | 3<sup>ème</sup> ère : Écoconception et numérique responsable

- À partir de fin 2012, la plupart des grandes entreprises lancent des projets liant informatique et développement durable. Presque tous les appels d'offre IT intègrent des exigences sociales et environnementales. Mais on n'est plus uniquement dans le Green IT: la dimension sociale prend de l'ampleur ainsi que la prise de conscience que le numérique peut améliorer la performance RSE / DD d'une offre (produit ou service). C'est le début de la rencontre entre transition écologique et numérique. Désormais, l'écoconception est une arme qui permet de différentier des produits aussi bien que des services numériques.
- Les entreprises ont atteint un premier pallier de maturité (Green IT) et commencent à intégrer le numérique responsable comme un atout stratégique. Le numérique responsable n'est plus une démarche réservée aux informaticiens. Au contraire. Des responsables produits et des responsables RSE / DD s'emparent du sujet. L'attente est à la fois économique, mais aussi plus globale : réduction réelle des impacts environnementaux, différenciation commerciale et compétitivité, création de valeur. On commence enfin à intégrer le numérique et le développement durable comme deux « drivers » clés dans une réflexion globale d'entreprise qui ne se limite pas à l'environnement et au carbone. L'idée n'est plus seulement de réduire, mais aussi de créer de la valeur.
- ▶ 2014 : Lancement du <u>Club Green IT</u>. Création du <u>Collectif conception numérique responsable</u>.
- 2015 : Création de <u>HOP // Halte à l'Obsolescence Programmée</u>. Création d'une filière d'excellence écoconception web en Bourgogne. Publication de la 2<sup>nde</sup> édition du livre « éco-conception web : 115 bonnes pratiques ». Publication du Référentiel de bonnes pratiques Green IT du Club Green IT.
- ▶ 2015 : La **COP21** met en partie l'accent sur le numérique, démontrant une forte appétence de la société civile.

#### **▶** 2012 − 2015 | 3ème ère : Écoconception et numérique responsable

On entre dans une ère où le numérique est omniprésent et constitue pour beaucoup le vecteur des solutions. On bascule progressivement de Green for IT à IT for Green. Cela signifie que la société civile et les chefs de produits s'emparent du sujet. Cependant, plutôt que de s'orienter vers l'innovation frugale, la *low tech*, et le *jugaad*, la majorité des entreprises voient dans le numérique une solution plutôt qu'un vecteur de changement. Un gigantesque effet rebond se prépare avec l'avènement des objets connectés et du *big data* associé.

#### ▶ 2016 — ? | 4<sup>ème</sup> ère : Réemploi et conception responsable des services numériques

- À partir de fin 2015, les entreprises qui s'étaient intéressées au numérique responsable finalisent l'industrialisation de leur démarche. Les responsables RSE et produits de ces entreprises découvrent la <u>conception responsable de services numériques</u>. Il s'agit d'intégrer le respect de l'environnement et la performance économique et sociale dès la conception métier et fonctionnelle du service numérique. On n'est donc plus dans une démarche de réduction d'empreinte mais de création de valeur ajoutée, souvent associée à une forme de sobriété numérique volontaire.
- ▶ 2016 : 1<sup>er</sup> <u>Benchmark Numérique Responsable</u> en France regroupant 9 grandes entreprises privées et publiques. Plusieurs outils liés à l'écoconception web voient le jour, notamment <u>www.ecoindex.fr</u>.
- ▶ 2017 : 13 clusters, collectifs et fédérations représentant 6000 entreprises du numérique dans 4 pays européens publient le livre blanc « <u>écoconception numérique : mode d'emploi</u> ». <u>www.ecometer.org</u> outil gratuit et ouvert dédié à l'évaluation de la maturité d'une page web en terme d'écoconception. <u>2ème Benchmark Numérique Responsable</u>, concluant à l'importance du réemploi des équipements et de la conception responsable des services numériques. Certains participants atteignent plus de 70% de réemploi de leur unités centrales. D'autres annoncent que la moitié de leurs serveurs exécutent de leurs serveurs exécutent des logiciels qui ne servent à rien.

- Prenons un peu de recul sur l'histoire des sciences et des techniques ... Pendant 400 000 ans, l'humanité n'a eu que le feu, les vents et torrents, son ardeur au travail et celle de ses cavaleries pour voyager, édifier des forteresses et labourer des prés.
- L'histoire de l'humanité peut être vue comme une longue lutte contre la pénurie de ressources. Un lieu commun du darwinisme, puisque toute espèce est contrainte dans son développement par la disponibilité du milieu en ressources, la sélection naturelle qui en résulte étant, avec la mutation, le moteur de l'évolution.
- Il est impossible de dater précisément les premières pénuries de matières premières non alimentaires. Les soucis ont dû apparaître dès que l'on a commencé à se tourner vers des matériaux moins abondants que la pierre, le bois ou l'argile, c'est-à-dire vers **6 000 avant notre ère**, avec l'utilisation des premiers outils métalliques en **cuivre**, voire en fer météorique (alliage naturel résistant à la corrosion). Assez rapidement, premiers développements de la métallurgie, du cuivre puis du **bronze** (cuivre et étain) permettant d'exploiter des minerais, et pas seulement du métal à l'état natif, et ainsi de faire face à la demande.



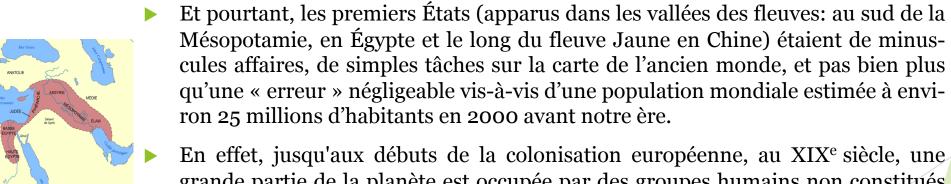








Avec le développement de la concentration humaine et des grandes civilisations, comme au Moyen-Orient et autour de la Méditerranée, les premières pénuries (locales ou régionales) ont dû apparaître, et pas seulement de ressources non renouvelables comme les métaux. Il y eut également surexploitation de ressources *a priori* renouvelables (forêts, sols, animaux).



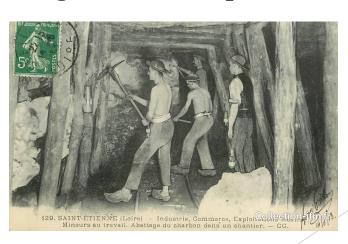
En effet, jusqu'aux débuts de la colonisation européenne, au XIX<sup>e</sup> siècle, une grande partie de la planète est occupée par des groupes humains non constitués en États. **L'agriculture** peut permettre l'émergence de sociétés complexes, appelées « civilisations », à la formation d'États et à l'apparition de marchés. La technologie, quant à elle, permet à l'homme de contrôler la nature et de développer transports et communications.

- D'après Philipe Bihouix, ingénieur spécialiste des ressources minières, trois stratégies sont envisageables et combinables pour faire face à une pénurie:
  - Déménager, temporairement (nomadisme) ou définitivement (migrations);
  - Échanger les surplus locaux contre d'autres marchandises, en commerçant;
  - Inventer, trouver un moyen de produire la ressource manquante à partir d'une autre source, ou apprendre à s'en passer, en général en trouvant une substance de remplacement.
- ▶ Toutes trois sont encore employées de nos jours (cf. recherche de matériaux sur la lune...).
- La disponibilité en **énergie** est un paramètre primordial, puisqu'elle est nécessaire à la *transformation des autres ressources* (fonte et traitement thermique des métaux, transformation des matériaux comme l'argile par cuisson, activation des réactions chimiques par chaleur, etc.) et à leur *transport sur les lieux de consommation*.
- Jusque vers la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle au moins, le bois est de loin la première source d'énergie, avec un complément par les moulins à vent et à eau et la traction animale.
- Contrairement aux idées reçues, ces sources vont rester très présentes jusque tard dans le XIX siècle, même dans les pays industrialisés, avant de laisser la place aux **énergies fossiles**.

- L'exploitation des forêts comme combustible et bois d'œuvre marque profondément (et dans de nombreuses zones définitivement) les paysages européens, et à partir du XVII<sup>e</sup> siècle la crise du bois se généralise: son prix grimpe en flèche dans toute l'Europe occidentale, alors que les forêts disparaissent pour alimenter notre industrialisation précoce.
- Les scientifiques étaient préoccupés par la déforestation et les catastrophes connexes : érosions, inondations, glissements de terrain et déjà, le **changement climatique**.

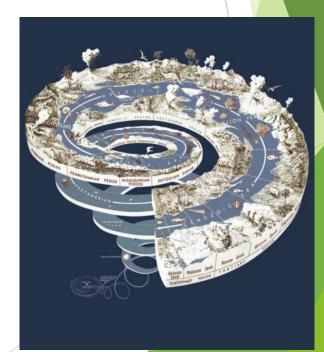




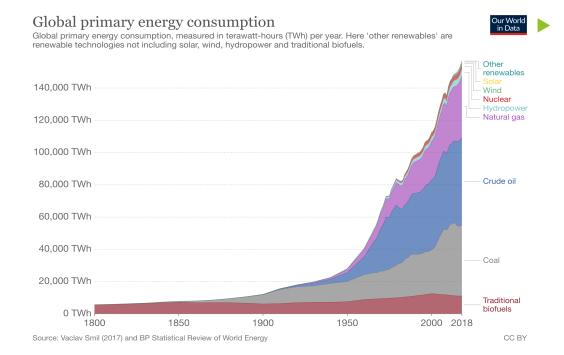


L'extraction du charbon est donc devenue une solution miracle. Une solution écologique contre la crise forestière. C'est arrivé il y a 200 ans.

- La Grande-Bretagne investit massivement dans son développement industriel: moteurs à vapeur, fonderies, usines à gaz, mais aussi dans les matières organiques étrangères. Oléagineux d'Afrique de l'Ouest, caoutchouc d'Amazonie et de Malaisie, bois exotiques du Chili et du Pérou. Enfin et surtout pour nourrir la gigantesque industrie textile, cœur battant de la **révolution industrielle**: le coton; qui pousse si bien sur les terres d'Amérique du Nord.
- En février 2000, Paul Crutzen, chimiste de l'atmosphère et prix Nobel pour ses travaux sur l'atmosphère, s'écrie lors d'un colloque: « *Non! Nous ne sommes plus dans l'Holocène mais dans l'Anthropocène!*» Ainsi naissait un nouveau mot, et surtout une **nouvelle époque géologique**.
- Après le Pléistocène, qui a ouvert le Quaternaire il y a 2,5 millions d'années, et l'Holocène, qui a débuté il y a 11 500 ans, « il semble approprié de nommer "Anthropocène" l'époque géologique présente, dominée à de nombreux titres par l'action humaine ».
- Le prix Nobel propose de faire débuter ce nouvel âge en **1784**, date du brevet de James Watt sur la machine à vapeur, symbole du commencement de la révolution industrielle et de la « carbonification » de notre atmosphère par combustion du charbon prélevé en lithosphère.



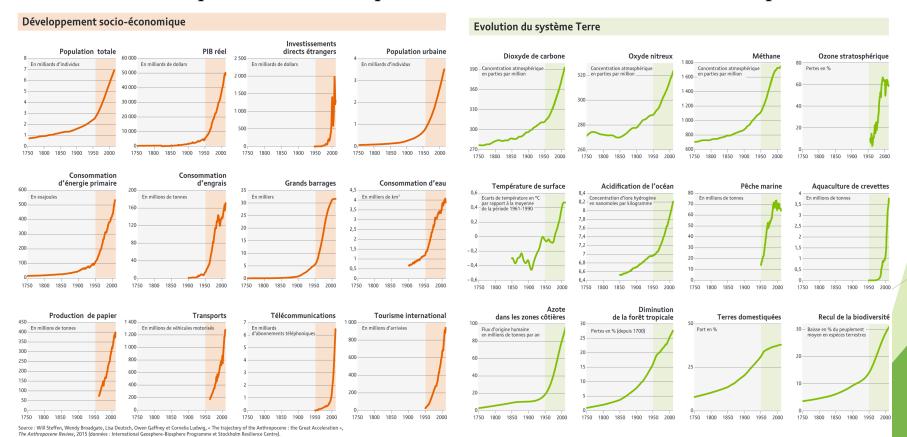
- ▶ Si l'on rapporte l'histoire de notre planète à une journée de 24 heures:
  - Le genre *Homo (Homo habilis)* est apparu dans la dernière minute;
  - L'Holocène se situe dans le dernier quart de seconde;
  - Et la révolution industrielle dans les deux derniers millièmes de seconde.



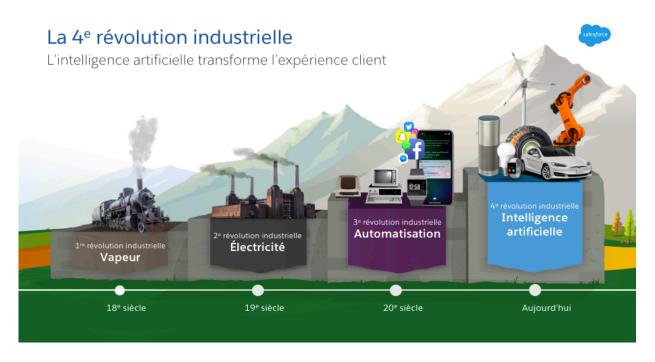
Au XX<sup>e</sup> siècle, les hommes délaissèrent la machine à vapeur pour une autre innovation: le moteur thermique (ou moteur à essence). Cette technologie permit d'accroître la puissance des véhicules (bateaux, chars, avions etc.). La deuxième révolution industrielle, à laquelle elle contribua, fut tout autant une transition énergétique, fondée cette fois-ci sur l'extraction d'une autre ressource: une huile de roche nommée **pétrole**.

- D'après le graphe qui précède, on comprend bien qu'il est faux de croire que nous avons opéré des *transitions* énergétiques. Nous avons accumulé ces sources d'énergie, et ne sommes en fait jamais sortis de l'âge du charbon.
- Depuis la première tonne extraite, la production et la consommation mondiales ont *toujours* augmenté, crise ou non : nous en sommes à une production de près de 7,7 milliards de tonnes par an en 2011 (charbon et lignite), ce qui fait du charbon la deuxième source d'énergie consommée (3,7 milliards de tonnes équivalent pétrole, ou Gtep), juste après le pétrole (4,1 Gtep) et avant le **gaz naturel** (2,9 Gtep). Parmi les principaux pays consommateurs, on trouve, à côté de la Chine, des pays *high tech* comme les États-Unis et l'Allemagne.
- Quels sont les arguments présence pour justifier notre nouvelle ère géologique ?
  - Les gaz à effet de serre (GES) depuis 1750: +150% de méthane (CH<sub>4</sub>); +63% de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>0); +43% de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>); où la concentration du dernier est passée de 280 parties par million (ppm) à la veille de la révolution industrielle à 400 ppm en 2013, niveau inégalé en 3 millions d'années.
  - Dégradation généralisée du tissu de la vie sur Terre (biosphère): ces dernières décennies, le taux de disparition des espèces est 1 000 fois plus élevé que la normale géologique; les biologistes parlent de « sixième extinction » depuis l'apparition de la vie sur Terre.
  - Autres transformations majeures: cycles biogéochimiques de l'eau, de l'azote et du phosphate.

À cette progression linéaire lente dans nos capacités de perturbations géologiques depuis 1750, il est indispensable de noter une *« grande accélération »* depuis 1950; tant en termes environnementaux que socio-économiques, relevant des tendances désormais exponentielles.

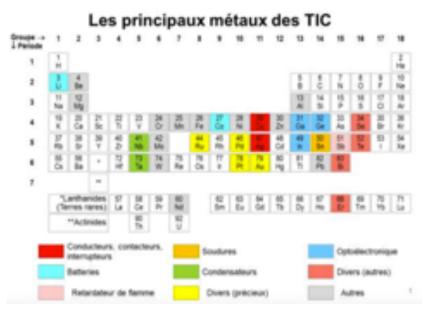


- « La grande accélération » représente un tableau de bord de l'Anthropocène avec l'évolution de 24 paramètres du système Terre depuis 1750. Pour les 9 les plus significatifs d'entre eux, une équipe de scientifiques s'est intéressée aux points de basculement concernant la biodiversité (risque d'écroulement de certains « services » que nous rend la nature, telle la pollinisation), la pollution de l'air et de l'atmosphère, la perturbation des cycles biogéochimiques ou l'anthropisation des terres.
- Ils ont alors fixé une limite à ne pas franchir pour chacun de ces 9 grands paramètres identifiés. Mais pour 4 d'entre eux, la limite (seuil de danger de basculement brutal du système Terre vers des états catastrophiques) est d'ores et déjà approchée ou dépassée :
  - Cycle de l'azote ;
  - Émissions de gaz à effet de serre ;
  - Extinction de la biodiversité;
  - Cycle du phosphore.



- Depuis le début du XXIème siècle, les hommes, inquiets des bouleversements climatiques ont mis au point de nouvelles inventions, réputés plus efficaces, plus propres, et reliées à des réseaux à haute tension ultra-performants : éoliennes, panneaux solaires, batteries électriques.
- Après la machine à vapeur, après le moteur thermique, ces technologies « vertes » et la « dématérialisation » de l'économie numérique engagent l'humanité vers une 3<sup>ème</sup> (ou 4<sup>ème</sup>) **révolution** énergétique, industrielle, en s'appuyant sur une ressource primordiale.

- Nos aïeux du XIX<sup>e</sup> siècle connaissaient l'importance du charbon, et l'honnête homme du XX<sup>e</sup> siècle n'ignorait rien de la nécessité du pétrole.
- ► Au XXI<sup>e</sup> siècle, nous ne savons même pas ou si peu qu'un monde plus « durable » dépend en très grande partie de substances rocheuses nommées **métaux rares et/ou critiques**.
- Longtemps, les hommes ont exploité les principaux métaux connus de tous: fer, or argent, cuivre, plomb, aluminium ...



Mais, dès les années 1970, ils ont commencé à tirer parmi les fabuleuses propriétés magnétiques et chimiques d'une multitude de petits métaux rares contenus dans les roches terrestres dans des proportions bien moindres. Cette grande fratrie unit des cousins affublés de noms énigmatiques: terres rares, vanadium, germanium, platinoïdes, tungstène, antimoine, béryllium, rhénium, tantale, niobium...

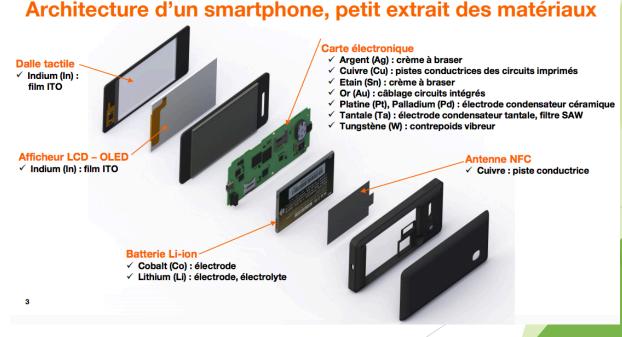
Les principaux métaux des Technologies de l'Information et de la Communication (TICs) [Source de l'image : Philipe Bihouix]

- Tels des démiurges, nous avons multiplié les usages de ces métaux dans deux domaines qui sont les piliers essentiels de la *transition* énergétique:
  - Les technologies supposément « vertes »;
  - **Le numérique.**
- Car, nous jure-t-on, c'est de la convergence des *green tech* et de l'informatique que naîtra un monde meilleur.
- Les premières (éoliennes, panneaux solaires, véhicules électriques), grâce aux métaux rares dont elle sont truffées, produisent une énergie décarbonée qui va transiter par des réseaux d'électricité dits « ultra-performants » qui permettent des économies d'énergies.
- Or ceux-ci sont pilotés par des technologies numériques, elles aussi farcies de tels métaux.

Ressource	Utilisations
Antimoine	Retardants du feu (additifs dans les plastiques), catalyse du polyéthylène
Baryte	Boues de forage pétroliers et gaziers, industrie du verre, radioprotection, santé, métallurgie, pyrotechnie
Béryllium	Télécoms et électronique, industrie aérospatiale, nucléaire civil et militaire
Cobalt	Portables, ordinateurs, véhicules hybrides, aimants
Germanium	Photovoltaïque, fibres optiques, catalyse, optique infrarouge
Indium	Puces électroniques, écrans LCD
Graphite naturel	Véhicules électriques, aérospatiale, industrie nucléaire
Silicium métal	Circuits intégrés, panneaux photovoltaïques, isolateurs électriques
Terres rares (voir annexe pour détails)	Aimants permanents, voiture électrique, éoliennes, TGV, scanners médicaux, lasers, transmission de données par fibre optique

Principales utilisations industrielles de quelques minerais rares
[Source du tableau: Guillaume Pitron]

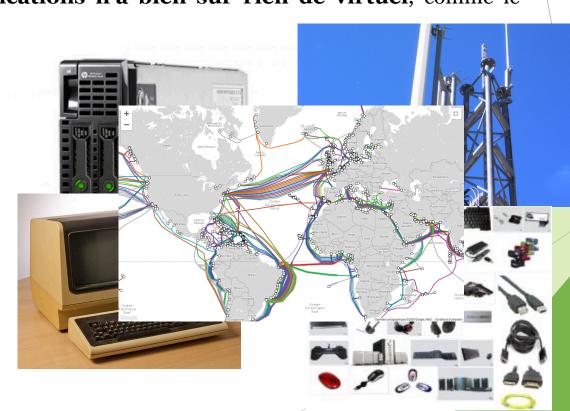
- Alors que la part du Numérique dans la consommation globale de certains de ces métaux est relativement modeste (cuivre, platine, or), il n'en est pas de même pour d'autres dont il est le principal utilisateur (gallium, indium, tantale, ruthénium, germanium).
- Au moins une quarantaine de métaux sont par exemple présents dans un smartphone, chacun en des quantités allant de quelques milligrammes à quelques dizaines de grammes. La figure ci-contre montre, de façon simplifiée, la correspondance de chacun des métaux avec un composant fonctionnel dont il permet d'optimiser les performances et/ou d'en réduire le coût.



Architecture d'un smartphone, petit extrait des matériaux [Source de l'image : Orange Labs, 2017]

Outre un pervers effet rebond — on n'a presque jamais autant consommé de papier (entre 2000 et 2010 la consommation n'a baissé que de 1,3%... Révolution de la dématérialisation ?), et on ne s'est jamais autant déplacé pour des raisons professionnelles — le secteur de l'information et des télécommunications n'a bien sûr rien de virtuel, comme le réseau internet lui-même:

- Serveurs;
- Antennes-relais;
- Terminaux;
- Accessoires;
- Ou câbles transocéaniques de faisceaux de fibres optiques ...
- ... que nous continuons à installer régulièrement pour accompagner la montée du trafic, consomment énergie et matières premières.



- Fin 2018, un nouveau tournant s'opère dans la prise de conscience de la société civile.
- Le 2 octobre, Frédéric Bordage écrit dans <u>La société s'empare de la sobriété numérique</u>:

« Lorsque nous avons forgé l'expression **sobriété numérique** il y a 10 ans (mai 2008), nous n'espérions pas qu'elle prenne instantanément. Alors perçues négativement, la décroissance et sa forme la plus positive de "sobriété heureuse" n'étaient pas encore à l'ordre du jour des discussions. **Prononcer les termes** "décroissance " et "low tech " relevait encore du blasphème et du retour à l'âge de pierre! Nous l'avons donc égrenée en la contextualisant: sobriété des data center, sobriété énergétique, sobriété carbone, et bien entendu sobriété numérique. D'autres, tels que Fabrice Flipo, l'ont fait en parallèle.

En témoignent, parmi de nombreux signaux de ces dernières semaines, <u>ce plaidoyer dans La Croix</u>, <u>ce manifeste</u>, <u>cet article sur le blog d'Alternatives Economiques</u>, <u>la kafkaïenne expérience de Jean-Marc Jancovici avec LinkedIn</u>, ou bien encore <u>cet article plus terre à terre publié cet été par WeDemain</u>.

Une expérience profane qui touche tout le monde.

C'est à croire que cet été tout le monde s'est emparé du sujet, ou à défaut des mots. [...]

N'occultons pas que des êtres humains dorment encore à même le trottoir... pour s'assurer d'être les premiers à posséder le dernier smartphone d'Apple.

Il n'empêche. Aussi récente que massive, cette adhésion sémantique est réjouissante. Car elle montre une convergence des termes (Green IT, numérique responsable, etc.) vers une expérience plus profane, mais aussi plus englobante et qui embrasse toutes les démarches existantes, dont celle fondamentale de sobriété. »

- Fin 2018, un nouveau tournant s'opère dans la prise de conscience de la société civile.
- Le 4 octobre, un *think tank* pour décarboner l'économie, le *Shift Project*, publie son premier rapport sur l'impact environnemental du numérique: « <u>Pour une sobriété numérique »</u>.



- Les objectifs de se rapport sont de: (1) clarifier quantitativement les impacts; (2) mettre en évidence les tendances et les leviers; (3) proposer des actions.
- Ses principales conclusions sont les suivantes:
  - 1. La tendance à la surconsommation numérique n'est pas soutenable au regard de l'approvisionnement en énergie et matériaux qu'elle requiert.
  - 2. L'intensité énergétique de l'industrie numérique augmente mondialement.
  - 3. La consommation numérique actuelle est très polarisée.
  - 4. L'impact environnemental de la transition numérique devient gérable si elle est plus sobre.
- Nous y reviendrons un peu plus tard...

Fin 2018, un nouveau tournant s'opère dans la prise de conscience de la société civile.

Émissions de gaz à effet de serre autres

#### que le CO, par rapport à 2010 Dans les trajectoires compatibles avec l'objectif de 1,5 °C Total des émissions mondiales nettes de CO<sub>2</sub> sans dépassement ou avec dépassement minime, les émissions de facteurs de forçage autres que le CO2 diminuent Milliards de tonnes de CO2 /an ou sont limitées elles aussi, mais sans être ramenées à zéro à l'échelle du globe. Dans les trajectoires qui limitent Émissions de méthane le réchauffement planétaire à 1,5 °C sans dépassement ou avec un dépassement minime et dans les trajectoires avec dépassement marqué, les émissions nettes de CO2 diminuent jusqu'à devenir nulles à l'échelle du globe vers 2050. 20 Émissions de carbone suie 10 Quatre exemples de trajectoires modélisées Émissions de protoxyde d'azote -20 Année où les émissions Trajectoires qui limitent le réchauffement planétaire à 1,5 °C de CO2 seront nulles sans dépassement ou avec dépassement minime L'épaisseur du trait indique le 5°-95° Trajectoires avec dépassement marqué percentile et le 25°-75° percentile Trajectoires qui limitent le réchauffement des scénarios planétaire à 2°C au plus (non indiquées ici)





- Le 8 octobre, le **GIEC** (ou IPCC), répond à l'invitation de la COP21 en publiant un **rapport spécial** sur un réchauffement planétaire de 1,5°C par rapport aux niveaux préindustriels :
- Global Warming of 1.5 °C.
- S'il ne devait y en avoir qu'une, voici ci-contre LA principale conclusion, détaillant les Caractéristiques des trajectoires des émissions mondiales qui limitent le réchauffement planétaire à 1,5°C.

- Fin 2018, un nouveau tournant s'opère dans la prise de conscience de la société civile.
- En quelques mois, nombre de coups d'éclats personnels et de manifestations citoyennes ont également mis (plus ou moins directement) l'environnement sur le devant de la scène publique



Faisant de **2019** une année potentiellement charnière dans la « rupture » systémique





EXCLUSIF. "Formons tous les étudiants aux enjeux climatiques" : l'appel de 80 dirigeants d'établissements

3 22h30 , le 14 septembre 2019

▶ Retour sur le rapport du Shift « Pour une sobriété numérique » (4/10)



#### **Contexte:**

- « L'Accord de Paris engage tous les États de la planète à sortir le plus vite possible des énergies fossiles. Celles-ci représentent 80 % de la consommation d'énergie mondiale, et sont responsables de l'essentiel des émissions anthropiques de gaz à effet de serre. Tout accroissement de la consommation globale d'énergie rend plus difficile la réussite de ce défi historique vital : empêcher le chaos climatique.
- Le numérique étant reconnu comme un levier de développement économique et social, **la transition numérique apparaît comme incontournable** pour l'ensemble des pays et des entreprises, tandis que les objets et interfaces numériques irriguent peu à peu tous les aspects de la vie sociale. La transition numérique est aussi considérée comme un moyen de réduire la consommation d'énergie dans un grand nombre de secteurs (« IT for Green »), à tel point que l'on considère de plus en plus qu'il ne sera pas possible de maîtriser le changement climatique sans un recours massif au numérique.
- Pourtant, les impacts environnementaux directs et indirects (effets rebond) liés aux usages croissants du numérique sont systématiquement sous-estimés, du fait de de la miniaturisation des équipements et de « l'invisibilité » des infrastructures utilisées. Le risque est réel de voir se réaliser un scénario dans lequel des investissements de plus en plus massifs dans le numérique aboutiraient en fait à une augmentation nette de l'empreinte environnementale des secteurs numérisés ce qui, en pratique, se constate déjà depuis plus d'une décennie. »

#### Conclusions principales



- ▶ 1. La tendance à la surconsommation globale du numérique n'est pas soutenable.
  - La transition numérique génère actuellement une augmentation forte de l'emprunte énergétique directe du numérique. Cette empreinte, incluant l'énergie de fabrication et d'utilisation, est en **progression de 9% par an**.
  - La part du numérique dans les émissions de GES a augmenté de moitié depuis 2013, **passant de 2,5% à 3,7%** du total des émissions mondiales. La demandes en métaux rares et critiques est elle aussi croissante.
  - L'explosion des **usages vidéos (Skype, streaming, etc.)** et la **multiplication des périphériques** numériques fréquemment renouvelés sont les principaux facteurs d'inflation.
- **2.** L'intensité énergétique de l'industrie numérique augmente mondialement.
  - Cette augmentation, de **4%** par an, est à **contre-courant** de l'évolution de l'intensité énergétique du PIB mondial, qui baisse actuellement de 1,8% par an.
  - La consommation d'énergie directe occasionnée par un euro de numérique a augmenté de 37% par rapport à 2010.
  - Cette évolution va à l'encontre des objectifs de découplage énergétique et climatique du PIB fixés par l'Accord de Paris, illustrant ainsi par une tendance inverse à celle de dématérialisation qui est attribuée au numérique.
  - Les émissions de CO<sub>2</sub> du numérique ont augmenté depuis 2013 d'environ 450 millions de tonnes dans l'OCDE, dont les émissions globales ont diminué de 250MtCO<sub>2</sub>eq.

#### Conclusions principales



- > 3. La consommation numérique actuelle est très polarisée.
  - Les profils de consommation numérique sont extraordinairement contrastés. En moyenne en 2018, un Américain possède près de 10 périphériques numériques connectés, et consomme 140 Gigaoctets (Go) de données par mois; lorsqu'un Indien n'en possède qu'un seul et consomme 2 Go (~ 2h sur Netflix). La surconsommation est le fait des pays développés qui doivent reprendre le contrôle de leurs usages.
  - Les impacts attendus de la transition numérique sur la productivité et la croissance ne sont pas visibles dans les pays développés ces 5 dernières années. Le taux de croissance de la zone OCDE reste stable (~ 2%) alors que celle des dépenses numériques est passée de 3% à plus de 5% par an.
- ▶ 4. L'impact environnemental de la transition numérique devient gérable si elle est plus sobre.
  - Passer de l'intempérance à la sobriété de notre relation au numérique [acheter les équipements les moins performants possibles, les changer le moins souvent possible, et réduire les usages énergivores superflus] permet de ramener l'augmentation de consommation d'énergie du numérique à 1,5%, ce qui n'est que similaire à la tendance globale tous secteurs confondus et n'est pas compatible avec les objectifs de l'Accord de Paris.
  - Notre scenario est possible sans remettre en cause la transition numérique. Ainsi, le volume de données transitant dans les data centers augmenterait encore de 17 % par an, le trafic sur les réseaux mobiles de 24 % par an, et le nombre de smartphones et téléviseurs produits chaque année se stabilise au niveau de 2017 alors que les marchés des pays développés sont aujourd'hui proches de la saturation. Notre scénario Sobriety ne suffit pas lui tout seul à réduire l'empreinte environnementale numérique. Il permet simplement d'éviter son explosion. Sa réduction demandera des efforts supplémentaires.

#### <u>Une analyse globale</u>



- The Shift Project a rassemblé un groupe d'experts pour étudier l'impact environnemental du numérique, dans le contexte de la « digitalisation », donc de l'augmentation rapide des flux de données et du parc installé de terminaux alors que les usages se multiplient. Les experts se sont intéressés aux conséquences sur le dérèglement climatique, sur la consommation d'énergie (production, utilisation) et sur l'approvisionnement en matières premières (limites physiques, géopolitiques...).
- La définition retenue pour « le numérique » est large, cohérent avec celle aujourd'hui utilisée par des acteurs du secteur dans leurs approches prospectives. Cette définition comprend :
  - ▶ **Réseaux** de télécommunication (d'accès et de transports, fixes, wifi et mobiles);
  - Data centers ;
  - ▶ **Terminaux** (ordinateurs personnels fixe et portables, tablettes, smartphones, téléphones portables traditionnels, « boxes », équipement audiovisuels connectés y compris téléviseurs);
  - ► Capteurs IoT (*Internet of Things* l'IoT est l'infrastructure mondiale pour la société de l'information, qui permet de disposer de services évolués en interconnectant des objets (physiques ou virtuels) grâce aux technologies de l'information et de la communication inter-opérables existantes ou en évolution [Union Internationale des télécommunications, 2012]).
  - Ce périmètre exclut les équipements numériques non communicants intégrés dans les automobiles ainsi que les composants numériques des chaines de production industrielle.
- Les conclusions rejoignent l'appel à « réduire les impacts environnementaux du numérique et mettre son potentiel d'innovation au service de la transition écologique » lancé par l'Iddri, la FING, le WWF France et GreenIT.fr dans le « Livre blanc Numérique et Environnement » au printemps 2018.

#### Pour déployer la sobriété



- La sobriété numérique est une approche « *lean* », soit au plus juste, qui est aussi source d'efficacité pour les organisations. Son principe étend au niveau sociétal la prise en compte des objectifs poursuivis par les approches techniques de type « Green IT », et confirme leur importance.
  - Adopter la sobriété numérique comme principe d'action (interroger l'utilité)
  - Accélérer la prise de conscience des impacts environnementaux du numérique
  - Intégrer les impacts environnementaux comme critères de décision
  - Permettre aux organisation de piloter environnementalement leur transition numérique
  - Procéder à un bilan carbone des projets numériques
  - Améliorer la prise en compte des aspects systémiques du numérique dans les secteurs clés
  - Mettre en place ces mesures à l'échelle européenne

#### Numérique, outil ou handicap pour la transition énergétique?



- Pour empêcher le chaos climatique, l'Accord de Paris signé en décembre 2015 engage toutes les nations de la planète à sortir le plus vite possible des énergies fossiles, responsables de l'essentiel des émissions anthropiques de GES.
- Ainsi, le développement vorace en énergie des usages du Numérique, et ses interactions avec les politiques climatiques, interrogent. Le Numérique est aujourd'hui considéré quasi unanimement comme le principal levier de développement économique et social (cf. Banque mondiale, 2016).
- Dans les pays développés où la transformation numérique des entreprises et du secteur public s'accélère, il est vu comme « la » solution pour revenir à la croissance (cf. Commission européenne, 2018). Dans les pays en développement, où l'investissement dans des infrastructures numériques apparaît aussi indispensable que celui consacré aux infrastructures électriques ou de transport, sa capacité de disruption apparaît comme l'opportunité d'entrer sans retard dans la troisième révolution industrielle (cf. McKinsey, 2016).
- Le Numérique apparaît aussi souvent comme un moyen de réduire la consommation d'énergie dans un grand nombre de secteurs (« IT for Green ») en permettant une utilisation plus efficiente des ressources : énergie (smart grids), transport (mobilité connectée), industrie (usine 4.0), services (e-commerce), bâtiments (smart building), agriculture (smart farming), etc.
- Par ailleurs, **l'empreinte matérielle du Numérique est très largement sous-estimée par ses utilisateurs,** compte tenu de la miniaturisation des équipements et de « l'invisibilité » des infrastructures utilisées. Ce phénomène est renforcé par la généralisation des services du « Cloud », rendant d'autant plus imperceptible sa réalité physique.
- Les impacts bénéfiques indirects sur la consommation énergétique sont souvent surestimés, du fait notamment de la non-prise en compte d'impacts négatifs indirects. Quant aux gains positifs liés aux progrès sur l'efficacité (en temps, ressources énergétiques, etc.), ils sont en très grande majorité surestimés du fait de la non-prise en compte des «effets rebond »\*, qui conduisent à augmenter la consommation des ressources dont on a augmenté l'efficacité ou la facilité d'usage...

<sup>\*</sup> Identifié dès la révolution industrielle, l'« effet rebond », décrit comment l'amélioration du rendement énergétique d'un objet particulier (locomotive, ordinateur, etc.), débouche la plupart du temps non sur une diminution, mais au contraire sur un accroissement de la consommation d'énergie globale dédiée à la fonction technique que remplit cet objet (transport ferroviaire, informatique, etc.). De très nombreuses recherches ont confirmé cet état de fait.

#### ▶ I. OBJECTIFS ET DEMARCHES DE TRAVAIL DU « LEAN ICT »



- L'approche Lean ICT renvoie tout à la fois à un souci de **sobriété dans la consommation de ressources** et à la **satisfaction au plus juste des besoins ciblés.**
- Afin d'éclairer les choix structurants que les décideurs politiques et économiques devront faire dans les trois à cinq ans à venir, pour **coordonner dans une même approche systémique les processus de transition énergétique et numérique**, *The Shift Project* s'est donné trois objectifs.

#### • 1. Clarifier quantitativement les impacts

Clarifier les impacts directs du Numérique via une approche quantitative à travers la publication d'un Référentiel Environnemental du Numérique (REN), afin de disposer de repères fiables et mobilisables par des non-spécialistes, dans la prise de décisions. [...]. Le besoin de disposer d'un tel ensemble de données de référence librement accessible a été d'ailleurs réaffirmé dans un Livre Blanc publié en mars (Iddri, Fing, WWF France, GreenIT.fr, 2018).

#### 2. Mettre en évidence des tendances et des leviers

Mettre en évidence de façon quantitative l'incidence environnementale des politiques d'investissement, pratiques de gestion et usages, au sein des entreprises d'une part, des pays en développement d'autre part. Il s'agit aussi d'identifier les leviers d'amélioration et leurs conséquences économiques, sociales et environnementales. Nous nous sommes volontairement concentrés sur ces deux seuls exemples d'écosystèmes numériques afin de pouvoir disposer d'analyses non seulement qualitatives, mais également quantitatives de l'efficacité de ces leviers.

#### 3. Proposer des actions

Mener des actions de promotion des bonnes pratiques d'un usage raisonné du Numérique, y compris au service d'initiatives plus globales de développement durable, auprès des décideurs, en France et en Europe [...]

#### II. ENJEUX ET CONSTATS



#### Observations méthodologiques

- Compte-tenu de la rapidité des évolutions technologiques, les frontières du Numérique sont mouvantes et nous en avons retenu une définition assez large, cohérente avec celle aujourd'hui utilisée par des acteurs de référence du secteur numérique dans leurs approches prospectives (Cisco, Gartner etc.).
- Le périmètre des équipements (et des usages associés) retenus pour le calcul de l'empreinte énergétique et environnementale est alors: Réseaux de télécommunication; *Data centers*; Terminaux; Capteurs IoT.
- ▶ Pour ces équipement, sont pris compte la phase de production et la phase d'utilisation.
- Nous n'avons pas quantifié les impacts liés à la phase de fin de vie, par manque de données fiables notamment à cause de la faible proportion d'équipements pris en charge dans les filières de traitement (15% dans le monde, (Baldé et al., 2015)). Cette situation est préoccupante puisqu'elle résulte non-seulement en une perte de matériaux, mais également en une pollution des sols croissante et largement ignorée, même si cette dernière est localisée aux sites de production et aux sites de traitement inadaptés, ou encore aux décharges sauvages de déchets.
- Le périmètre des analyses est d'abord mondial, sachant par ailleurs que nous les détaillons sur un plan européen et/ou français, lorsque la granularité des sources primaires d'information le permet,

#### II. ENJEUX ET CONSTATS



- Analyse globale
  - **Consommation énergétique : une croissance problématique**

Il n'existe pas de chiffres globaux issus de mesures (même à l'échelle d'un pays) de la consommation d'énergie induite par les usages du Numérique. Les estimations disponibles sont obtenues soit par projection de mesures réalisées sur des échantillons (e.g. un ensemble de data centers), soit par utilisation de modèles plus ou moins sophistiqués, mais détaillant rarement l'ensemble des hypothèses adoptées.

Nous avons choisi de nous appuyer sur un modèle développé par Andrae et Edler en 2015 (Andrae & Edler, 2015) pour quatre raisons principales :

- le périmètre adopté est similaire à notre définition du Numérique et ce périmètre est mondial;
- l'article est un article scientifique ayant fait l'objet d'une « peer review » avant publication;
- l'ensemble des hypothèses utilisées et des formules de calcul est explicité;
- la granularité du modèle est suffisante pour faire des études de sensibilité sans que son niveau de complexité empêche une identification claire des paramètre dimensionnant.

#### II. ENJEUX ET CONSTATS



- Analyse globale
  - **Consommation énergétique : une croissance problématique**

L'étude d'Andrae et Edler élabore des scénarios d'évolution de la consommation énergétique du Numérique de 2010 à 2030:

- « Best cases » : les gains d'efficacité énergétique (des équipements, des plateformes technologiques)
   s'accélèrent et la croissance du trafic ralentit;
- « Expected case » : les gains d'efficacité énergétique et le taux de croissance du trafic sont conformes à l'historique 2010/2013;
- *« Worst case »* : les gains d'efficacité énergétique sont moindres et la croissance du trafic s'accélère.

Nous avons souhaité dans un premier temps actualiser le point de passage en 2017 sur la base de données à jour, relatives aux paramètres dimensionnants. Puis nous avons mis à jour les prévisions en nous limitant à un horizon 2025.

Sources : Cisco pour les données de trafic et de parcs installés; Gartner et IDC + Statistica pour la production de terminaux et IEA pour les statistiques de consommation globale (tous secteurs) d'électricité.

### II. ENJEUX ET CONSTATS



- Analyse globale
  - **Consommation énergétique : une croissance problématique**

Enfin, nous avons défini 4 scénarios pour établir nos prévisions 2025:

- *Expected updated* » : même rythme de gain d'efficacité énergétique (EE) que dans le scénario « *expected case* » + actualisation données de trafic uniquement sur la base des chiffres fournis par Cisco.
- *« Higher growth higher EE »*: l'EE s'améliore plus rapidement à partir de 2015 + actualisation des données de trafic sur la base de l'historique fourni par Cisco + taux de croissance historique appliqué aux prévisions d'ici 2025 (plus important que dans le scénario précédent).
- « Superior growth peaked EE » : variante du scénario précédent, prenant en compte une légère augmentation de la croissance du trafic après 2020 par rapport à celui-ci et un pic des gains d'EE en 2020, notamment dans les data centers. Cette hypothèse s'appuie sur les craintes de plafonnement de la performance énergétique une fois appliquées toutes les bonnes pratiques.
- « **Sobriety** » : identique au scénario "Higher growth higher EE" jusqu'en 2020, puis ralentissement de la croissance du trafic et de la production permis par la mise en œuvre de pratiques de sobriété. Ce scénario intègre également une décélération des gains d'efficacité énergétique des data centers après 2020 afin de tester la robustesse de l'approche.

### II. ENJEUX ET CONSTATS



- Analyse globale
  - **Consommation énergétique : une croissance problématique**

Il en ressort que la **consommation énergétique du Numérique dans le monde augmente d'environ 9% par an** (période 2015 à 2020), une tendance largement supérieure au scénario moyen « *expected case* » prévu par Andrae et Edler (4%) et à peine inférieure à leur scénario catastrophe « *worst case* » (10%). Ce taux de croissance correspond à un doublement en 8 ans et est appelé à augmenter dans tous les scénarios n'intégrant pas un changement volontariste dans les pratiques de consommation (trafic, terminaux).

Consommation d'énergie en Twh	2015	2020	2025	CAGR <sup>8</sup> 2015/2020	CAGR 2020/2025
Expected - 2015	2312	2878	4350	4,5%	8,7%
Worst - 2015	3677	5976	12 352	10%	15,5%
Expected updated	2389	3834	6254	9,9%	10,2%
Higher growth higher EE	2373	3622	5716	8,9%	9,5%
Superior growth peaked EE	2373	3622	7096	8,9%	14,5%
Sobriety	2373	3622	3909	8,9%	1,6%

Consommation d'énergie mondiale du Numérique en TWh

[Source: [Lean ICT Materials] Forecast Model. Produit par *The Shift Project* à partir des données publiées par (Andrae & Edler, 2015)]]

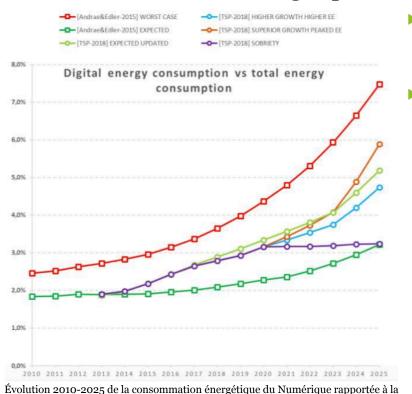
CAGR = Compounded Annual Growth Rate, (ou taux de croissance composé en français). Ex : une somme qui passe de 100 à 121 en deux ans a cru (CAGR) de 10% l'an.

La part du Numérique dans la consommation finale d'énergie (elle-même en croissance de 1,5% par an) aura ainsi augmenté de presque 70% entre 2013 et 2020.

### II. ENJEUX ET CONSTATS



- Analyse globale
  - **Consommation énergétique : une croissance problématique**



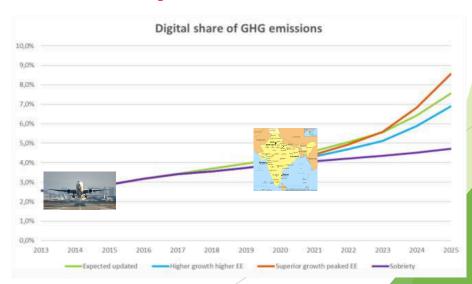
consommation énergétique mondiale [Source : [Lean ICT Materials]]

- En rapportant la consommation énergétique du Numérique à la consommation mondiale d'énergie (elle-même en croissance de 1,5 % par an), cette proportion (RatioE) passe de 1,9% en 2013 à 2,7% en 2017, et atteindra 3,3% en 2020.
- Concernant la période 2020 à 2025, la comparaison des différents scénarios montre l'apparition de bifurcations :
  - Une **accélération** de la croissance lorsqu'on prolonge les tendances de consommation (trafic, terminaux) et d'efficacité énergétique (réseaux, data centers), menant à un **ratioE** > à 4,5% en 2025.
  - Une **explosion** de celle-ci si les progrès en matière d'efficacité énergétique ralentissent. Or, ce risque est réel car les technologies actuelles approches leurs limites et les futures tech. (e.g. quantiques) ne seront pas industrialisés à cet échéance. Dans ces conditions, **un ratioE de 6% en 2025** est probable.
  - Une **stabilisation** de la consommation d'énergie si maîtrise de nos pratiques de consommation et ce malgré une concrétisation du risque de moindre augmentation de l'efficacité des infrastructures. Alors, la consommation d'énergie n'augmente que de 1,5% par an et le RatioE reste de l'ordre de 3,2% jusqu'en 2025. Notons qu'on ne musèle pas la transition numérique ici.

### II. ENJEUX ET CONSTATS



- Analyse globale
  - **▶** Consommation énergétique : une croissance problématique
  - Compte tenu du mix électrique mondial, la part d'émissions de gaz à effet de serre (GES) attribuable au Numérique passerait ainsi de 2,5% en 2013 à 4% en 2020 (2,1 Gt) selon nos estimations.
  - Ce chiffre est de l'ordre de grandeur d'autres secteurs réputés beaucoup plus consommateurs d'énergie carbonée et dont l'empreinte matérielle est réputée bien plus grande : la part d'émissions de GES des véhicules légers (automobiles, motos...) est d'environ 8% en 2018, et celle du transport aérien civil d'environ 2% en 2018.
  - Le Numérique devrait émettre en 2020 autant de CO2 que l'Inde en 2015, pour la totalité de son milliard trois cent millions d'habitants consommant en majorité des énergies fossiles.
  - Plus préoccupant encore, le taux de croissance d'environ 8% des émissions de GES dues au Numérique. En effet, cette croissance doit s'analyser dorénavant au regard des objectifs de réduction des émissions tels que définis lors de la COP 21. Or la part du Numérique dans ces émissions va continuer à augmenter et pourrait doubler d'ici 2025 pour atteindre 8%.



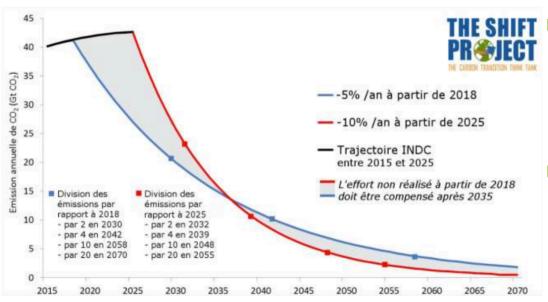
Évolution 2013-202<mark>5 de la part du</mark> Numérique dans les émissions de GES

[Source: [Lean ICT Materials]]

### II. ENJEUX ET CONSTATS



- Analyse globale
  - Consommation énergétique : une croissance problématique



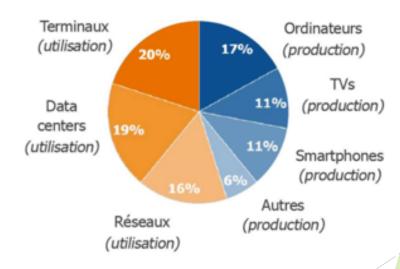
 $Trajectoires \ d'émission \ compatibles \ avec \ une \ hausse \ de \ température \ limitée \ a \ 2°C \ [\textit{Source}: TSP, 2016\ ]$ 

- Une autre façon de se représenter la magnitude du risque inhérent à cette situation est de se focaliser sur la trajectoire de réduction des émissions de GES globales nécessaire pour contenir l'augmentation de température moyenne à 2 degrés d'ici 2100.
- Le Shift a montré qu'il faudrait au moins réduire de 5% par an nos émissions de GES à partir de 2018 pour atteindre ces objectifs, ce qui représenterait 2,5 GtCO<sub>2</sub>eq en début de période, et un effort de de réduction cumulée d'environ 11 GtCO<sub>2</sub>eq sur les 5 premières années, soit jusqu'en 2023.
- Au rythme de croissance actuelle des émissions de GES du Numérique, le cumul sur la même période des émissions supplémentaires du Numérique par rapport à 2018 serait d'environ 2,1 GtCO2eq, ce qui annihilerait près de 20% de l'effort de réduction global nécessaire.

### II. ENJEUX ET CONSTATS



- Analyse globale
  - Consommation énergétique : une croissance problématique
  - La phase de production des équipements occupe une part très significative, environ 45% en 2020, dans l'empreinte énergétique totale du Numérique, ainsi que dans les émissions de GES qui en découlent.
  - Un utilisateur de smartphone (s'il garde son appareil deux ans) verra ainsi la consommation énergétique totale induite au cours du cycle de vie de cet équipement se réaliser à plus de 90% avant même son achat\*. Ce poids de la phase de production dans l'impact énergétique est de l'ordre de 60% pour une télévision connectée mais est bien supérieur à 80% pour un ordinateur portable.



Distribution de la consommation énergétique du Numérique par poste en 2017

[Source: [Lean ICT Materials]]

Une bonne partie des enjeux environnementaux du Numérique n'est donc pas liée à son usage, mais en grande partie au volume de matériel produit, à son processus de production, et à sa durée de vie.

<sup>\*</sup> Nous parlons bien ici de la consommation électrique propre du smartphone : si l'on prend en compte également le surcroît de consommation électrique du réseau occasionné par l'utilisation du smartphone, la proportion est plutôt de l'ordre de 50%. Voir (Ercan, 2013).

### II. ENJEUX ET CONSTATS



- Analyse globale
  - **Consommation énergétique : une croissance problématique**
  - On peut identifier 4 sources principales de croissance de la consommation énergétique du Numérique :
    - 1. Le phénomène smartphone;

Non seulement le parc est rapidement croissant (4 milliards en 2017, 5,5 milliards en 2020, soit 11% par an), mais la richesse des fonctionnalités du smartphone ne cesse d'augmenter, ce qui entraîne une consommation d'énergie plus importante lors de sa production, notamment du fait de l'extraction des métaux, toujours plus diversifiés.

La consommation d'énergie du terminal lors de son utilisation\* augmente également à cause de l'utilisation d'applications plus nombreuses : un marqueur de cette dernière tendance est le fait que la fréquence de rechargement de nos smartphones reste à peu près constante alors que la puissance moyenne de la batterie a augmenté de 50% en 5 ans.

Bien que ce dernier phénomène soit un remarquable exemple d'effet rebond, il n'en reste pas moins que l'essentiel de la consommation d'énergie se situe en phase de production : 90% contre 10% pour son utilisation, selon les données synthétiques issues du REN\*\*.

Or, les volumes de ventes (1,6 milliard d'unités en 2017) sont tirés non seulement par l'**équipement progressif des pays en développement** mais aussi par des **habitudes de consommation « inflationnistes » dans les pays développés** (fréquence de renouvellement < à 2 ans), alimentées par des constats d'obsolescence plus ou moins programmée.

<sup>\*</sup> La consommation d'énergie augmente également lors du recyclage car l'énergie de séparation des métaux est fonction de la complexité d'assemblage.

<sup>\*\*</sup> On néglige ici l'énergie consommée lors de la fin de vie compte tenu du faible taux de prise en charge dans les filières de recyclage et de l'absence de données correspondantes.

### II. ENJEUX ET CONSTATS



- Analyse globale
  - Consommation énergétique : une croissance problématique
    - 2. La multiplication des périphériques de la vie quotidienne (« connected living »);

2012	2017	2022
2 smartphones	4 smartphones	4 smartphones
2 laptops/computers	2 laptops	2 laptops
1 tablet	2 tablets	2 tablets
1 DSL/Cable/Fibre/Wifi Modem	1 connected television	3 connected television
1 printer/scanner	2 connected set-top boxes	3 connected set-top boxes
1 game console	1 network attached storage	2 eReaders
	2 eReaders	1 printer/scanner
	1 printer/scanner	1 smart metre
	1 game console	3 connected stereo systems
	1 smart metre	1 digital camera
	2 connected stereo systems	1 energy consumption display
	1 energy consumption display	2 connected cars
	1 Internet connected car	7 smart light bulbs
	1 pair of connected sport shoes	3 connected sport devices
	1 pay as you drive device	5 internet connected power sock
	1 network attached storage	1 weight scale
		1 eHealth device
<b>f</b> ·	1	2 pay as you drive devices
Équipements numériques foyer de 4 personnes dans		1 intelligent thermostat
de l'OCDE	is uii pays	1 network attached storage
[Source : (GSMA, 2015)]		4 home automation sensors

De nouveaux périphériques apparaissent (bracelets mesurant l'activité physique, enceintes *bluetooth* portables, etc.) et des équipements existant dans tous les foyers deviennent communicants (télévisions, réfrigérateurs, machines à café, systèmes d'alarme et de surveillance, thermostats, éclairage etc.). Cette tendance est si forte qu'elle entraîne **une croissance de plus de 60% par an de la production de modules de communication embarqués**.

Selon l'étude de GSMA on s'attend ainsi à ce qu'un foyer de 4 personnes dans un pays développé multiplie par 5 en dix ans le nombre de ses équipements numériques connectés : 10 en 2012, 25 en 2017, 50 en 2022 tandis que le taux d'équipement moyen mondial va augmenter de 50% entre 2016 et 2021.

Alors que le taux d'équipement augmente dans toutes les régions du Monde, la croissance du taux d'équipement attendue d'ici 2021 dans les pays développés déjà suréquipés pourrait être cependant largement supérieure à celle des pays en développement: 70% aux USA contre 25% en Afrique.

### II. ENJEUX ET CONSTATS



- Analyse globale
  - **▶** Consommation énergétique : une croissance problématique
    - 3. L'essor de l'internet des objets industriels ( ou HoT, Industrial Internet of Things);

L'Internet des Objets Industriels (IIoT – Industrial Internet of Things) consiste, grâce à une technologie embarquée (capteurs, actionneurs, puces RFID...) à identifier et faire communiquer entre eux tous les maillons des chaînes de valeur (machines, produits en cours de fabrication, finis et en cours d'utilisation, collaborateurs, fournisseurs, clients, infrastructures...), que l'on peut désigner comme des « objets ».

Les objets connectés permettent alors de collecter des informations – qui n'étaient jusqu'à présent fournies que via des actions manuelles humaines – sous forme de données, données qui peuvent ensuite être stockées puis analysées. C'est l'un des piliers technologiques de l'Industrie 4.0, avec la robotique et l'intelligence artificielle.

L'HoT conduit les entreprises à procéder à des investissements considérables en technologies numériques communicantes (de l'ordre de 965 milliards de dollars en 2017) et en forte croissance (environ 21% par an). Selon Gartner, le nombre d'interfaces de communication de ce type va augmenter de 55% par an jusqu'à atteindre 7,5 milliards en 2020. Cet essor devrait contribuer à faire passer le nombre total d'équipements connectés de 8,4 milliards en 2017 à 20 milliards en 2020.

### II. ENJEUX ET CONSTATS



- Analyse globale
  - Consommation énergétique : une croissance problématique
    - 4. L'explosion du trafic de données.

La **croissance du nombre d'utilisateurs** équipés d'au moins un terminal connecté, l'augmentation du **ratio du nombre de terminaux connectés par individu** (2,1 en 2015 à 3,3 en 2020), **l'augmentation du trafic vidéo** couplée à la part croissante des images de qualité HD/UHD et au déport des usages vers de la **consommation à la demande** (streaming, VOD, cloud gaming), provoquent une explosion du trafic sur les réseaux et dans les data centers. Cette croissance se produit à un rythme qui surpasse celui des gains d'efficacité énergétique des équipements, des réseaux et des data centers. Ces prévisions sont d'ailleurs régulièrement **revues à la hausse**.

L'essentiel de la croissance de ces flux de données est attribuable à la consommation des services fournis par les « GAFAM », pouvant représenter 80% du trafic écoulé sur le réseau de certains opérateurs. Cette augmentation du trafic s'accompagne d'une augmentation du volume de données stockées dans les data centers, tirée par les approches « *Cloud* » et « *Big data* » encore plus importante : +40% par an, soit 1 Zettaoctet\* en 2020.

Les données stockées dans les data centers devraient représenter ainsi 20% du volume (5 Zettaoctets) de données stockées dans les terminaux, contre 14% en 2015, ce qui contribuera à faire croître le trafic. A noter que Cisco estime à 67 Zettaoctets en 2020 le volume de données « utiles » produites par les approches IoT et IIoT, soit 35 fois plus que la capacité de stockage prévue dans les data centers à cette échéance [...]. Cette croissance est si forte qu'une question se pose quant à la capacité même d'assurer une production industrielle suffisante en termes d'équipements de stockage à l'échéance 2020...

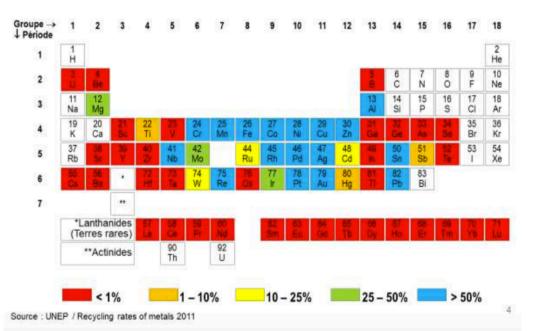




- Analyse globale
  - Les métaux rares : une potentielle vulnérabilité

Nous avons déjà brièvement évoqué les principaux métaux des TICs et l'architecture d'un smartphone.

### Taux de recyclage des métaux



- Précisons également que, tandis que l'augmentation des taux d'équipement et la multiplication des types de périphériques sollicitent à plein l'exploitation des réserves disponibles de ces métaux, il s'avère que beaucoup d'entre eux sont faiblement recyclables : par exemple, le taux de recyclage de l'indium, du gallium, du tantale et du germanium est inférieur à 1%.
- Le recyclage devient en outre plus difficile au fil de l'augmentation du nombre de métaux présents dans un composant et de la diminution de leurs concentrations.

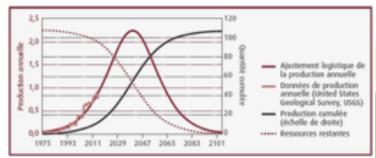




- Analyse globale
  - Les métaux rares : une potentielle vulnérabilité

	Wind	Solar photovoltaic	Concentrating solar power	Carbon capture and storage	Nuclear power	Light- emitting diodes	Electric vehicles	Energy storage	Electric motors
Aluminum	Х	X	X	X		X		X	X
Chromium	Х			X	х	Х			
Cobalt				Х	х		х	х	
Copper	X	X		X	Х	X	Х		X
Indium		X			х	X	Х		
Iron (cast)	X		x			X		X	
Iron (magnet)	Х								X
Lead	X	X			X	X			
Lithium							X	X	) L
Manganese	X			Х			X	X	
Molybdenum	Х	Х		X	х	X			
Neodymium (proxy for rare earths)	х						×		
Nickel	X	X		X	X	X	X	X	
Silver		X	X		х	X	Х		
Steel (Engineering)	х								
Zinc		X				X			

- **Cette situation peut donc conduire à une impasse technologique** si la croissance des besoins ne ralentit pas, et ceci d'autant plus que nombre de ces métaux sont également utilisés dans de fortes proportions pour la production des équipements nécessaires aux énergies renouvelables comme le montre le tableau ci-contre.
- A titre d'exemple, la situation de l'indium pointe vers l'apparition de difficultés d'approvisionnement dès les années 2030/2035.



Extraction de l'indium dans le temps [Source : (Halloy, 2018)]

### II. ENJEUX ET CONSTATS

THE SHIFT PROJECT
THE CARBON TRANSITION THINK TANK

- Analyse globale
  - Les métaux rares : une potentielle vulnérabilité

D'autre part, **ces métaux sont source de pollution des sols lors de leur extraction – également génératrice d'émission de GES – et en fin de vie** des équipements lorsque la filière de traitement n'est pas adaptée (ce qui concerne plus de la moitié en masse des équipements électriques et électroniques en France, et bien davantage dans le monde).

Même si ce point ne fait pas partie de l'étude, la plupart de ces métaux rares sont produits soit dans des pays profondément instables (e.g., 65% de la production mondiale de Cobalt vient de la RDC), soit de façon quasiment monopolistique par une superpuissance (90% de la production de terres rares est sous le contrôle de la Chine, qui en consomme 60%).

Cette situation est porteuse de risques d'approvisionnement et/ou de tensions sur les prix, pouvant brutalement remettre en question des choix industriels, et donc nos sociétés toujours plus numérisées.



Pays produisant le plus de matières premières critiques

[Source: (Commission européenne, 2017)]

► III. LE RÉFÉRENTIEL ENVIRONNEMENTAL DU NUMÉRIQUE (REN)



- Le REN vise à décrire, sous forme de grandeurs et ratios caractéristiques, l'empreinte environnementale de l'écosystème numérique, en termes d'équipements et d'usages. Il est indispensable que notre culture numérique s'enrichisse de la connaissance et de la compréhension des impacts environnementaux de nos objets et de nos actes numériques.
- Dans les entreprises ou les organismes publics, des démarches de type Green IT ont souvent été mises en place au sein des directions des systèmes d'information (DSI) ces quinze dernières années, et ont permis de faire progresser leur maturité sur ce sujet. Mais ces progrès sont limités par la difficulté à trouver des données actualisées et libres permettant de mener de façon précise les analyses d'impact.
- Selon le rapport « Baromètre Green IT 2017 » de l'Alliance Green IT, « (...) le Green IT n'a toujours pas conquis la gouvernance d'entreprise. Moins d'un quart ont intégré le Green IT au sein de leur stratégie. » D'après l'étude du Cigref « Du Green IT au Green by IT » parue en 2017 : « L'informatique propose des projets mais ce ne sont généralement que des projets d'infrastructures, data centers, réseaux, systèmes d'exploitation, externalisation du développement, projets d'infrastructure ou de gouvernance interne. »
- Or, ces projets d'infrastructure informatique sont la conséquence de décisions prises en matière de conception de produits, d'organisation, d'arbitrages de portefeuille d'activités qui ne sont pas du ressort des DSI, alors qu'elles sont pourtant de plus en plus prises au sein d'initiatives de transition Numérique, ou d'approches « 4.0 ».

## III. LE RÉFÉRENTIEL ENVIRONNEMENTAL DU NUMÉRIQUE (REN)



Les décisions se sont déplacées vers les responsables d'activités et les dirigeants, le Numérique n'étant plus considéré seulement comme un moyen au service d'une stratégie, mais comme une partie intégrante de cette stratégie et comme le catalyseur de la transformation permettant de s'adapter à un nouvel environnement.

L'industrie 4.0 au coeur de la stratégie de développement de l'École des Mines de Saint-Étienne



14 Jan. 2020

#### Pascal Laurin, parrain de la remise des diplômes

Directeur Industrie du futur 4.0 pour Bosch France et directeur de la division industrielle Bosch Rexroth, Pascal Laurin observe depuis près de 14 ans les grandes évolutions technologiques du monde industriel ainsi que leurs opportunités et impacts commerciaux. Il a ...

Lire la suite

- Il arrive même que des choix purement technologiques se prennent en dehors de la DSI ( le « shadow IT »), ce qui n'est évidemment pas efficace à terme, ni pour garantir la pérennité des réalisations, ni dans la perspective de minimiser l'impact environnemental du Numérique.
- Il est donc nécessaire de disposer de données techniquement vérifiées accessibles à des nonspécialistes (ni du Numérique ni de la transition énergétique), afin d'assurer la juste prise de conscience des enjeux et l'intégration des impacts environnementaux du Numérique dans la définition des stratégies, dans le choix des formes d'organisation et dans celui des modalités d'innovation.

### III. LE RÉFÉRENTIEL ENVIRONNEMENTAL DU NUMÉRIQUE (REN)



- Périmètre du référentiel
  - L'empreinte environnementale de l'écosystème numérique est caractérisée via la quantification de:
    - La consommation énergétique ou électrique (suivant la pertinence de l'une ou l'autre au vu du cas considéré);
    - Les émissions des gaz à effet de serre (GES);
    - · La consommation de métaux critiques;
    - Le volume de terre déplacé pour l'extraction des matières premières.
  - Les éléments choisis pour représenter **l'écosystème numérique** sont de deux types :
    - Les équipements (ou groupes d'équipements);
    - · Les « actions numériques » (utilisations typiques d'outils numériques).
  - Les équipements numériques retenus dans le REN sont les suivants:
    - Les smartphones;
    - Les ordinateurs portables;
    - Les data centers;

- Les télévisions connectées;
- Les routeurs (« box ») internet.
- Les actions numériques sont réalisées via des équipements numériques et impliquant l'utilisation du réseau
  - Envoyer un mail;

Regarder une vidéo en ligne.

## III. LE RÉFÉRENTIEL ENVIRONNEMENTAL DU NUMÉRIQUE (REN)



### Les principales hypothèses de calcul

### 1. Pour les smartphone

Impacts donnés pour un smartphone moyen, correspondant aux modèles milieux de gamme récents des principaux constructeurs. Profil d'utilisation calibré à partir d'études statistiques sur les usages actuels au niveau mondial par âge.

### 2. Pour les ordinateurs portables

Impacts donnés pour un ordinateur portable moyen, correspondant aux modèles milieux de gamme récents des principaux constructeurs. Profil d'utilisation professionnel et selon le label gouvernemental américain « Energy Star ».

#### 3. Pour les data centers

Impacts donnés pour un data center moyen, caractérisé sur avis d'experts par sa superficie et la capacité de puissance totale de ses installations (en MW) : Surface = 100 m2; Puissance = 1 MW; Power Usage Effectiveness (PUE) = 2.

#### 4. Pour les télévisions connectées

Impacts donnés pour une TV connectée à écran LED, correspondant aux modèles milieux de gamme (écrans de 50 à 60 pouces) des principaux constructeurs. Profil d'utilisation calibré à partir d'études effectuées par le label gouvernemental américain « Energy Star » et d'articles scientifiques.

### III. LE RÉFÉRENTIEL ENVIRONNEMENTAL DU NUMÉRIQUE (REN)



### <u>Les principales hypothèses de calcul</u>

### 5. Pour la box internet

Impacts donnés pour routeur moyen, dont la consommation est calculée sur la base de données issues des travaux du groupe de travail (au sein d'EcoInfo ainsi qu'au sein d'une entreprise du secteur), croisées avec diverses sources secondaires d'études comparatives. La consommation de la box internet est calculée pour ses utilisations réseau liées au routeur IP. Les utilisations liées aux fonctionnalités « Box TV » ne sont pas incluses dans ce calcul.

### 6. Exemples de caractéristiques d'actions numériques

L'action « Envoyer un mail » est caractérisée comme suit :

- Temps d'utilisation du terminal associé : 3 minutes ;
- Taille des données transmises (dont pièce jointe) : 1 Mo.

L'action « Regarder une vidéo en ligne » est caractérisée comme suit :

- Temps d'utilisation du terminal associé : 10 minutes ;
- Taille des données transmises (vidéo de qualité 1080p) : 170 Mo.





- La phase de production : extraction et production des équipements
  - 1. Consommation d'énergie

L'analyse de la phase de production des équipements fait apparaître les très grandes quantités d'énergie utilisées, d'autant plus fortes que le degré de miniaturisation est important :

REN (Référentiel Environnemental du Numérique - Reference frame of Environmental Negative impacts) - <i>Production Phase</i>											
			Hardwares								
Impacts			Laptop Smartphone		Server (Data centre)	Connected TV					
	Primary Energy	(MI)	6640	717	/	/					
	GHG (kgCO₂e)		514	61	588	441					
	Gallium [ Ga ]	(mg)	8	5E-01	/	2E+02					
S	Indium [ In ]	(mg)	2E+01	7	/	1E+04					
etals	Tantalum [ Ta ]	(mg)	5E+02	5E+01	/	/					
Je	Copper [ Cu ]	(mg)	2E+05	2E+04	/	9E+05					
	Cobalt [ Co ]	(mg)	1E+04	6E+03	/	/					
	Palladium [ Pd ]	(mg)	1	5	/	/					
	Ore Exctracted Vol	lume (L)	7	2	1	227					

Ainsi, produire produire un smartphone pesant 140 grammes requiert environ 700 MJ d'énergie primaire alors qu'il faut, selon l'ADME, environ 85 GJ pour produire une voiture à essence de 1400 kg. Il faut donc consommer environ 80 fois plus d'énergie pour produire « un gramme de smartphone » que pour produire « un gramme de voiture ».

Notons que la miniaturisation augmente également la consommation d'énergie lors du recyclage, l'énergie de séparation des métaux étant fonction de la complexité d'assemblage.





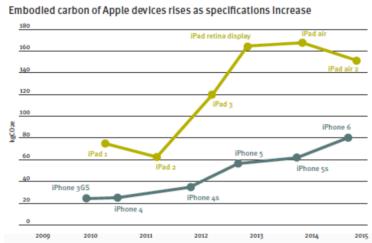
- La phase de production : extraction et production des équipements
  - 2. Émissions de GES

Concernant la production de GES, quelques ratios et comparaisons utiles pour prendre conscience des impacts:

- La production d'un smartphone engendre des émissions 400 fois plus lourdes que son usage ;
- Si l'on utilise un smartphone de l'âge de 10 à 80 ans en France, et que l'on en change tous les 2 ans, on aura ainsi « généré» de ce fait environ 2 tonnes de GES, soit l'équivalent de 200 000 km parcourus en train, soit encore le trajet aller-retour domicile-travail d'un habitant d'un département de Grande Couronne pendant toute sa vie professionnelle.

En outre, la tendance au cours de ces dernières années est préoccupante, puisque l'intensité carbone des smartphones a augmenté à chaque fois qu'une nouvelle génération de smartphones est apparue, comme le montre le graphique ci-contre.

Tendance confirmée chez les modèles les plus récents: l'empreinte carbone de l'IPhone X est de 93 kgCO2eq tandis que celle de l'Apple Watch23 est de 38 kgCO2eq, sachant que celle-ci s'ajoute à celle d'un IPhone.



Empreinte carbone des produits App<mark>le à mesure</mark> que les spécifications augmentent

[Source: (Benton, Hazell, & Coats, 2015)]





La phase de production : extraction et production des équipements

#### 3. Contenu en métaux

Le contenu en métaux des équipements est un indicateur de l'impact des technologies numériques sur les ressources minérales naturelles. La transition numérique nécessite le développement et la production d'équipements dont l'électronique est constituée d'éléments minéraux dont les usages sont dits « concurrents » avec d'autres technologies : les inerties de transition comme celle de la transition énergétique impliquent elles aussi la mise au point de nouvelles technologies nécessitant des matières premières spécifiques et notamment minérales.

Les métaux choisis dans le Référentiel ont été sélectionnés selon deux critères centraux : leur **criticité**, évaluée notamment au travers des travaux de la Commission européenne, et leur **implication dans les technologies numériques**, évaluée sur la base de travaux antérieurs de membres du groupe de travail (Bihouix, 2015) ainsi que de publications scientifiques (Institut Mines-Télécom, 2016). La liste retenue est la suivante :

•	Gallium;	•	Tantale;	•	Cobalt;
•	Indium;	•	Cuivre;	•	Palladium.

L'objectif de cette liste est de produire un premier jeu d'ordres de grandeurs qui soient pertinent au vu des enjeux actuels et à venir quant aux ressources minérales nécessaires aux technologies numériques. À noter que les données des contenus des équipements en métaux sont complexes à obtenir et à synthétiser car elles exigent une décomposition très fine de la structure physique des appareils ainsi que le recours à des sources d'information très spécialisées (IMT, 2016).

La fabrication annuelle totale de smartphones utilise près de 9000 tonnes de cobalt, ou 10% de sa production totale (330 tonnes d'indium pour les téléviseurs connectés, soit 50% de la production mondiale).





- **La phase de production : extraction et production des équipements** 
  - 4. Volume de terre déplacé

Ce volume correspond à la quantité de minerai nécessaire à la production des métaux contenus dans les équipements considérés. Cet indicateur a été choisi pour représenter de manière partielle mais concrète l'impact que peut avoir le processus d'extraction sur un écosystème donné.

Il permet en effet d'illustrer l'importance des transformations qu'il est nécessaire d'apporter sur un terrain – et donc sur les écosystèmes qui l'occupent – pour assurer l'extraction de matières premières.

Les données ne prennent qu'un nombre limité de métaux mais permettent de se représenter la quantité de matière impliquée dans la production d'un terminal, en dépit de la miniaturisation des composants : le smartphone, d'un volume moyen de l'ordre de 50 cm3, nécessite ainsi un déplacement de terre de l'ordre de 2L, uniquement pour l'extraction des métaux ici considérés (à savoir uniquement le gallium, l'indium, le tantale, le cuivre, le cobalt et le palladium). Sans même prendre en compte des métaux comme l'aluminium par exemple, qui représente une part importante de la masse du produit fini, cela signifie que pour le contenu seulement partiel en matières premières que l'on calcule ici, il est déjà nécessaire de perturber des écosystèmes sur un volume 40 fois plus important que le volume de l'équipement.

On comprend dès lors l'importance de caractériser les impacts environnementaux sur l'intégralité du cycle de vie et non de manière partielle : on constate bien ici qu'il serait erroné de limiter la matérialité des équipements à la seule réalité perceptible par l'utilisateur, celle d'un produit fini d'un encombrement minimal.





- La phase d'utilisation : équipements et actions numériques
  - 1. Consommation d'énergie des équipements

L'analyse de la phase de production des équipements montre tout d'abord que la consommation d'énergie est nettement plus faible que celle de la phase de production pour les équipements périphériques.

	REN (Référentiel Environnemental du Numérique - Reference frame of Environmental Negative impacts) - Run Phase														
			Hardwares										Uses		
Impacts			Laptop Smartphone		Data Centre	Connected TV		Residential Router	To send an email (1 MB, 3 min)	To watch a video online (10 min)					
		Min	Mean	Max	Min	Mean	Max		Min	Mean	Max				
	Electricity usage (kWh / year - kWh)*	13	56	100	4	6	8	6E+06	99	157	215	100	1E-03	1E-01	
	GHG - EU (kgCO₂e / year - kgCO₂e)**	4	15	28	1	2	2	2E+06	27	43	59	28	3E-04	3E-02	
空	GHG - USA (kgCO₂e / year - kgCO₂e)**	7	28	49	2	3	4	3E+06	49	78	106	49	5E-04	5E-02	
9	GHG - China (kgCO₂e / year - kgCO₂e)**	9	38	68	3	4	5	4E+06	67	107	146	68	7E-04	7E-02	
	GHG - France (kgCO₂e / year - kgCO₂e)**	0,5	2	3	0,1	0,2	0,3	2E+05	3	5	7	3	3E-05	3E-03	

<sup>\*</sup> Expressed in kWh for Uses and in kWh / year for Hardwares and Average user.

Si l'on prend en compte des durées de conservation de respectivement 2, 4 et 5 ans pour les smartphones, ordinateurs portables et télévisions connectées, l'énergie directement consommée due à l'utilisation représente, en proportion de l'énergie directement consommée sur l'ensemble du cycle de vie du périphérique, 6% pour un smartphone, 11% pour un ordinateur portable et 33% pour un téléviseur. Autrement dit, la consommation d'énergie réelle durant le cycle de vie d'un smartphone est 33 fois plus importante que sa consommation électrique propre annuelle.

<sup>\*\*</sup> Expressed in kgCO2e for Uses and in kgCO2e / year for Hardwares and Average user





- La phase d'utilisation : équipements et actions numériques
  - 2. Consommation d'énergie des actions numériques

La quantification de l'impact environnemental des actions numériques a une portée illustrative afin de proposer des ordres de grandeur pertinents et vérifiés qui permettent de donner une quantification physique à des actions perçues comme étant « virtuelles ». Les deux actions sélectionnées sont représentatives des usages, mais partielles, bien sûr. Leur quantification a été effectuée via l'impact énergétique d'un octet de données: l'impact calculé prend en compte la consommation du terminal utilisé ainsi que la contribution du réseau et des centres de données impliqués dans le transfert de l'information. Au vu des incertitudes très importantes qui existent dans ce type de calcul (incertitudes contenues dans les données de départ, hypothèses de calcul, multiplicité des situations en contexte réel etc.), les résultats sont présentés en ordres de grandeur; permettant ainsi de parvenir à quelques premiers ratios intéressants.

- Visionner une vidéo en ligne de 10 mns dans le « Cloud » induit une consommation électrique équivalente à la consommation propre d'un smartphone sur 10 jours. Dit autrement, l'impact énergétique du visionnage de la vidéo est environ 1500 fois plus grand que la simple consommation électrique du smartphone. La différence entre ces deux consommations permet de comprendre l'importance de l'impact du réseau dans l'empreinte numérique : les actions « virtuelles » utilisent des infrastructures d'envergure planétaire constituant le « Cloud », dont le fonctionnement nécessite une quantité substantielle d'énergie et donc de ressources matérielles.
- Il faudrait passer 5h à écrire et envoyer des mails sans interruption (soit 100 mails courts et avec une pièce jointe de 1 Mo) pour générer une consommation d'énergie analogue à celle causée par le visionnage d'une vidéo de 10 mns.
- Passer 10 mns à visionner en streaming une **vidéo haute définition** sur un smartphone revient à utiliser à pleine puissance pendant 5 mns un **four électrique de 2000W**.





La phase d'utilisation : équipements et actions numériques

### 3. Émissions de GES

Les émissions de GES sont bien sûr fortement dépendantes de la distribution géographique des parcs installés, en raison de la diversité des mix électriques selon les pays et de leur intensité carbone : 35 gCO2eq/kWh en France contre 681 gCO2eq/kWh en Chine, 493 gCO2eq/kWh aux Etats-Unis, 425 gCO2eq/kWh en Allemagne ou encore 276 gCO2eq/kWh en Europe (IEA, 2018).

Si l'on procède à l'analyse de la proportion que représentent les émissions de GES directement dues à l'utilisation du périphérique par rapport aux émissions de GES directes sur l'ensemble de son cycle de vie avec les mêmes hypothèses de durées de conservation, on obtient d'ailleurs des résultats qui confirment ceux obtenus sur la consommation d'énergie mais cependant contrastés en fonction des régions d'utilisation:

GES poids de l'utilisation	France	Europe	US	Chine
smartphone	0,3%	2,6%	4,5%	6,2%
laptop	0,4%	2,9%	5,1%	6,9%
connected tv	1,1%	8,9%	15,0%	19,5%

Part de l'usage dans les émissions directes de GES [Source : [Lean ICT Materials]]

La promesse de sauver la planète grâce à ces technologies dites vertes et à la dématérialisation rappelle de plus en plus la promesse de sauver les forêts et le climat avec le charbon du début du XIXème siècle...







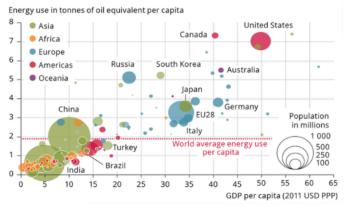


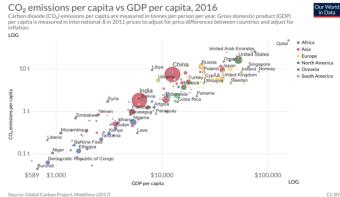


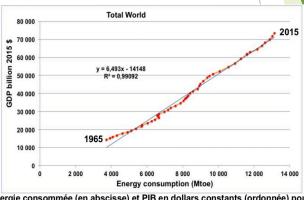
Baotou, Chine, février 2011 : Cet immense lac (11km²) est rempli des résidus toxiques rejetés par les différentes usines de traitement de terres rares qui l'entourent. 9 300 000 tonnes de terres rares et 95 000 tonnes de thorium radioactif, extrêmement dangereux pour les villageois qui vivent aux alentours. Ce lac toxique n'est qu'à 10 km du fleuve jaune.

[Source de l'image: Veronique de Viguerie/Reportage by Getty Images]

### Quel est le lien entre énergie, CO<sub>2</sub> et PIB ?







Energie consommée (en abscisse) et PIB en dollars constants (ordonnée) pour le monde, de 1965 à 2015. Données World Bank pour le PIB et BP stat pour l'énergie

### Plus qu'une corrélation, une relation de causalité (voir Giraud 2014)

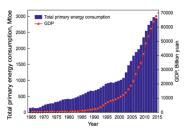


Fig. 1 Total energy consumption and GDP in China. *Data source* BP Statistical Review of World Energy (2016) and NBS China Statistical Yearbook (2015)

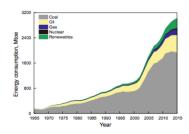


Fig. 3 History of China's energy consumption by different fuel types, 1965–2015. *Data source* BP Statistical Review of World Energy (2016) and NBS China Statistical Yearbook (2015)

How Dependent is Growth from Primary Energy? The Dependency ratio of Energy in 33 Countries (1970-2011)\*

> Gaël Giraud CNRS, CES<sup>†</sup>

Zeynep Kahraman TSP<sup>‡</sup>

December 30, 2014

#### Abstract

Except for specialized resource economics models, economics pays little attention to the role of energy in growth. This paper highlights basic difficulties behind the mainstream analytical arguments for this neglect, and provides an empirical reassessment of this role. We use an error correction model in order to estimate the long-run dependency ratio of output with respect to primary energy use in 33 countries between 1970 and 2011. Our findings suggest that this dependency is much larger than the usual calibration of output elasticity with respect to energy. This strong dependency is robust to the choice of various samples of countries and subperiods of time. In addition, we show that energy and growth are cointegrated and that primary energy consumption univocally Granger causes GDP growth. The latter confirms and extends the results on cointegration and causality between energy consumption and growth already obtained in Stern (2010).

- Le « développement durable » peut ainsi être vu comme une tentative de « découplage » entre croissance énergétique (fossile, et donc 1ère cause du réchauffement climatique anthropique) et croissance économique.
- ► Certains parlent aussi de « croissance verte ».
- Or ce « découplage » tant attendu ne vient pas, il n'a jamais été observé, et fait l'objet d'une remise en question par de plus en plus de travaux empiriques.

Decoupling

Debunked

- Ces connaissances sont rassemblées dans le rapport <u>« Decoupling</u> <u>Debunked »</u> de l'European Environmental Bureau (EEB 2019).
- L'une des études, <u>« Is green growth possible ? »</u>, remet en question la viabilité des objectifs de développement durable:
  - « [...] Les preuves empiriques sur l'utilisation des ressources et les émissions de Co2 ne vont pas dans le sens de la théorie de la croissance verte. En examinant les études pertinentes sur les tendances historiques et les projections des modèles, nous découvrons que : (1) il n'existe aucune preuve empirique que le découplage absolu de l'utilisation des ressources puisse être obtenu à l'échelle mondiale dans un contexte de croissance économique continue, et (2) il est très peu probable que le découplage absolu des émissions de CO2 soit effectué à un rythme suffisamment rapide pour empêcher un réchauffement climatique de plus de 1,5 °C ou 2 °C, même dans des conditions politiques "optimistes". »

- ▶ Bihouix exhibe la triple impasse de la société « extractiviste », productiviste et consumériste:
  - « Croissance verte et nouvelles technologies permettent donc au mieux de freiner l'effondrement, au pire l'accélèrent sans le savoir par effet systémique. Notre société technicienne s'est fourvoyée dans une triple impasse, dont la sortie sera difficile car il y a peu de place pour manœuvrer:
    - 1. Une impasse sur les **ressources**, non renouvelables ou exploitées à un rythme insoutenable [...] Mais aussi effondrement de la biodiversité et sols agricoles qui se dégradent ou disparaissent : par salinisation [...], par destruction biologique [...], par érosion [...];
    - 2. La deuxième impasse est liée aux **pollutions** : les excès de GES, mais aussi les métaux que nous extrayons de la lithosphère, les plastiques et les polluants organiques persistants que nous synthétisons, les dioxines produites par l'incinération... qui viennent saturer les sols, les eaux douces, les océans et in fine les êtres vivants. [...]
    - 3. La troisième impasse est celle de la **consommation d'espace** que nous saturons de bitume et de béton. La mondialisation le consomme par les besoins de distribution, de logistique et de transports accrus et en constante évolution. L'obsolescence programmée touche les objets mais aussi les lieux [...]

À cette triple impasse, bien physique, s'ajoutent **l'impasse sociale**, avec le creusement des inégalités [...], et **l'impasse morale**: mais un monde qui abat les forêts anciennes pour en faire des mouchoirs en papier ou du contreplaqué de chantier, ou, plus proche de nous, un monde qui chauffe les terrasses de cafés sans s'émouvoir de ce gaspillage insensé, nous montre que là aussi les limites peuvent être poussées assez loin. »

 « L'enjeu n'est pas entre croissance et décroissance, mais entre décroissance subie — car la question des ressources nous rattrapera à un moment ou à un autre — ou décroissance choisie. »

### Respect de l'idée de la COP21

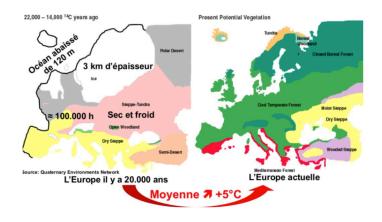
- Budget carbone limité (< 10 ans)
- Si l'on veut P(ΔT < 2°C) ~ 80% alors 80% d'énergie fossile doit rester dans le sol, appelé aussi « carbone imbrûlable »
- Décroissance choisie
- Bonus : Vie sur Terre possible d'ici la fin du siècle.



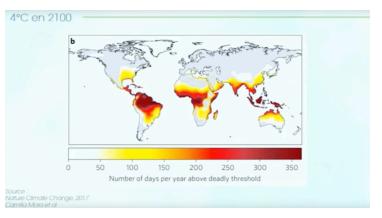
### Poursuite de la croissance

- Poursuite de l'extraction fossile
- Pic pétrolier (conventionnel atteint en 2007, pétrole de schiste l'a repoussé en 2025, *cf.* AIE)
- « Peak everything » (charbon, gaz naturel, métaux, minerais, etc.)
- Décroissance subie
- Bonus : Course aux +7°C \*

**2**, 3, 4, 5... 7 ° C?

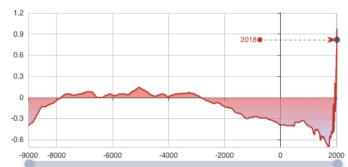


L'élément le plus inquiétant ne consiste pas tant au changement lui-même, mais plutôt la vitesse à laquelle il se produit. Historiquement, un changement de 1°C semble se produire en milliers d'années – non en décennies ...



#### Temperature anomalies in the last 11 000 years

°C compared to 1951-1980 average



Source: A Reconstruction of Regional and Global Temperature for the Past 11,300 Years (data) before 1880, NASA's Goddard Institute for Space Studies (GISS) (data) after 1880

- Le pic pétrolier a été annoncé avec une grande précision en 1956 (voir Hubbert).
- De même, l'effet de serre a été découvert dès 1824 par Joseph Fourier, et le dérèglement climatique dû à l'industrie a été prédit par le scientifique suédois Svante Arrhenius\* en 1896.
- Et pourtant ...

Les climatosceptiques qui valaient des milliards

Entre 2003 et 2010, plus de 900 millions de dollars par an ont été injectés dans la nébuleuse de fondations mettant en doute l'existence du changement climatique.

Par Stéphane Foucart • Publié le 31 décembre 2013 à 11h37 - Mis à jour le 02 janvier 2014 à 13h10

## Changement climatique. Exxon, trente ans de mensonges

AMÉRIQUES  $\rangle$  enquêtes  $\rangle$  science & Techno  $\rangle$  états-unis  $\rangle$ 

COURRIER INTERNATIONAL - PARIS

Publié le 22/10/2015 - 16:18

Le leader mondial du pétrole disposait dès les années 1980 de travaux exposant la réalité du changement climatique. Il a pourtant continué pendant plus de trente ans à mettre la science en doute et à financer abondamment les lobbies climatosceptiques.

## Google a contribué au financement d'organisations climatosceptiques

L'entreprise américaine affiche pourtant régulièrement des positions de défense de l'environnement.

Publié le 11 octobre 2019 à 12h55

## ${Sciences}^{2}$

#### 13 AOÛT 2019 PAR HUET

Climato-scepticisme et médias : la duperie

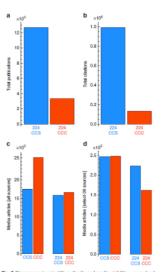
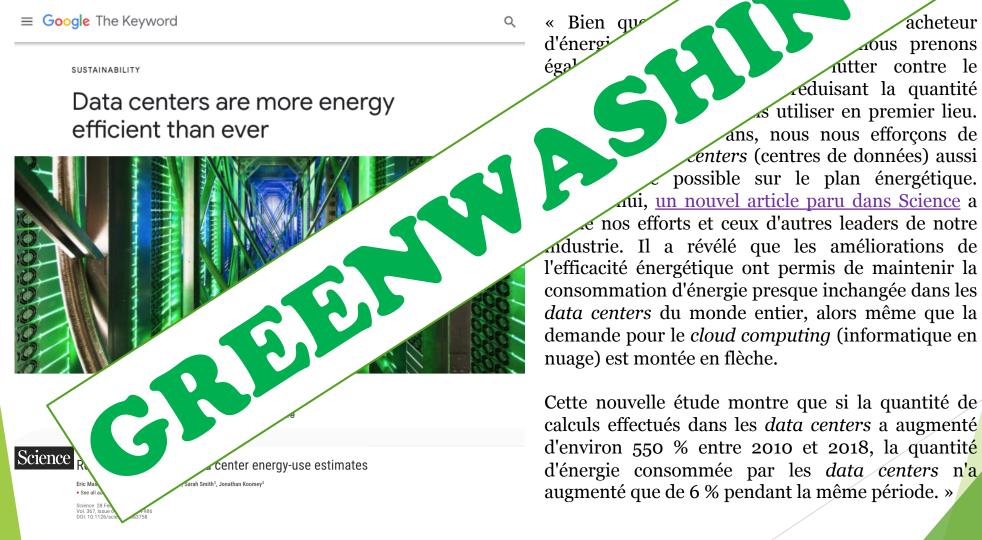


Fig. 3 Lockepancy in Scientific, authority also meals visionity—group even. a Total number of publications by the climate change contantain (CCC; reliable and climate change scientist (CCS; bloud) groups, 224CCC indicates the subset of 224 CCCs comprised of just the individuals with a flast one Web of Science publication; 224CCS indicates the 224 most-cited CCSs. In Total number of clinique modia articles from ¢ all media sources and d 30 select mainstream media references. Sur le graphique ci-contre les 224 bleus, c'est l'équipe des scientifiques reconnus par leurs pairs comme les « meilleurs ». Les 224 rouges, ce sont les négateurs ayant publié au moins une fois. Leur production est faible, et surtout n'intéresse pas grand monde. Les articles de ces 224 négateurs reçoivent au total 1% du total des citations de la communauté scientifique du climat, ont découvert les trois auteurs, ce qui révèle un rôle très marginal. Une part de ces citations sont d'ailleurs dus aux réfutations qu'ils ont déclenchés.

En revanche, lorsque l'o étudie leurs surface médiatiques, le rapport de forces s'inverse entre les deu groupes. L'équipe des 38 rouges obtient environ 50% d'intérêt médiatique de plu que l'équipe des 386 bleus.

<sup>\*</sup> Il a prédit à tort que le réchauffement de la planète prendrait environ 3 000 ans à se développer parce qu'il n'a pas anticipé les augmentations spectaculaires de la consommation de combustible fossiles qui étaient sur le point de commencer. Ses prédictions sur le taux d'augmentation (environ 5°C pour un doublement du CO2 atmosphérique) sont en accord avec les estimations actuelles.

Google, vous connaissez?



acheteur « Bien qu d'énergi ous prenons égal *f*utter contre le éduisant la quantité utiliser en premier lieu. ans, nous nous efforçons de *Centers* (centres de données) aussi possible sur le plan énergétique. aui, <u>un nouvel article paru dans Science</u> a e nos efforts et ceux d'autres leaders de notre ndustrie. Il a révélé que les améliorations de l'efficacité énergétique ont permis de maintenir la consommation d'énergie presque inchangée dans les data centers du monde entier, alors même que la demande pour le *cloud computing* (informatique en nuage) est montée en flèche.



- Outre le recul nécessaire pour percevoir les intérêts financiers du climatoscepticisme ou du *greenwashing*, les travaux du *Shift* (par exemple) permettent d'opposer des chiffres globaux aux campagnes de communication des multinationales numériques ou autres:
  - Ainsi, pour mettre en perspective cette annonce de Google, s'appuyant opportunément sur un article de Science aux conclusions très conciliantes, il est nécessaire d'opposer que: « Les gains d'efficacité énergétique produits par les progrès technologiques ne compensent pas l'effet de la croissance des usages et de la multiplication des équipements. »
  - Plus globalement, l'énergie des Data Centers ne représente que 19% de la composition énergétique du numérique, secteur représentant aujourd'hui 3% des GES (soit autant que l'aviation), et accusant une croissance de 9% par an (soit autant que l'automobile dans 5 ans).
- Ceci étant dit, on peut regretter au moins trois zones d'ombres problématiques relatives au rapport du Shift « Pour une sobriété numérique »:
  - L'Accord de Paris
  - 2. La fin de vie des matériaux
  - 3. La transition numérique des « pays en développement »

L'Accord de Paris: « engage tous les États de la planète à sortir le plus vite possible des énergies fossiles [...] Afin d'empêcher le chaos climatique, l'accord international sur le climat signé à Paris en décembre 2015 engage toutes les nations de la planète à sortir le plus vite possible des énergies fossiles [...] les évolutions actuelles des impacts environnementaux du numérique vont à l'encontre des objectifs de découplage énergétique et climatique du PIB fixés par l'Accord de Paris. »

D'après Clive L. Spash, économiste écologique, titulaire de la chaire de politique publique et de gouvernance de l'université de Vienne, dans son texte *This Changes Nothing: The Paris Agreement to Ignore Reality* (2016):

« À ce jour, l'absence d'actions concrètes se traduit par des concentrations atmosphériques de GES qui excèdent déjà le niveau attendu par un réchauffement du climat de 2°C \* [...] Le Secrétariat de la CCNUCC avait déclaré que même si leurs plans visant les 2°C (i.e. stabilisation à 450 ppm d'équivalent CO2) étaient mis en place, la probabilité d'éviter les pires effets du changement climatique ne s'élevait qu'à seulement 50 % \*\* [...] Au lieu d'un ensemble de réductions planifiées et coordonnées ciblant la combustion d'énergies fossiles et les entités responsables des émissions des GES, l'Accord de Paris a "prévu des contributions déterminées au niveau national". Ces intentions "sont davantage alignées avec un réchauffement total de 3°C" (The Economist) »

<sup>\*</sup> La cible du réchauffement climatique de 2°C est associée par le CCNUCC à des GES stabilisés à 450 ppm d'équivalent CO2. Si c'est ce qui est affirmé sur leur site internet, des rapports trompeurs de niveau de CO2 (non équivalent) le présentent comme atteignant actuellement 398.58 ppm. En 2012, le forçage radiatif total de tous les GES de longue durée déjà présents dans l'atmosphère correspondait à une concentration d'équivalent CO2 de 475.6 ppm (l'Organisation météorologique mondiale l'affirme sur son site du 3 Mai 2015). L'Agence américaine d'observation océanique et atmosphérique est d'accord avec cela : elle rapporte des concentrations atmosphériques d'équivalent de CO2, en 2014, de 481 ppm, dont 397 de CO2 seuls (parution du 21 January 2016)
\*\*\* « L'augmentation maximum des températures mondiales par rapport aux niveaux préindustriels que l'on peut tolérer si l'on veut éviter les pires effets du changement climatique correspond à 2°
Celsius/Centigrade » (CCNUCC le 8 Janvier 2016). Notez que cette affirmation fait l'amalgame entre la probabilité d'atteindre 2°C et la probabilité de la survenue des pires effets. C'est à dire, même si on est complètement sûr d'atteindre 2°C, on ne peut pas être certain des impacts que ces températures entraîneraient.

L'Accord de Paris: « engage tous les États de la planète à sortir le plus vite possible des énergies fossiles [...] Afin d'empêcher le chaos climatique, l'accord international sur le climat signé à Paris en décembre 2015 engage toutes les nations de la planète à sortir le plus vite possible des énergies fossiles [...] les évolutions actuelles des impacts environnementaux du numérique vont à l'encontre des objectifs de découplage énergétique et climatique du PIB fixés par l'Accord de Paris. »

D'après Clive L. Spash, économiste écologique, titulaire de la chaire de politique publique et de gouvernance de l'université de Vienne, dans son texte *This Changes Nothing: The Paris Agreement to Ignore Reality* (2016):

- « C'est là tout le problème de l'accord de Paris [...] Il n'y ait est pas fait mention des sources de GES, il ne comporte aucun commentaire sur l'utilisation des combustibles fossiles, il ne discute pas non plus de la manière dont il serait possible d'enrayer l'expansion de la fracturation hydraulique, de l'extraction de pétrole de schiste [...] Des mots comme pétrole, gaz naturel, charbon ou fracturation sont étrangement (ou pas) absents de l'accord. De même pour les sources des émissions humaines de GES, et les structures qui les promeuvent : ces éléments n'y sont pas mentionnés. Ni quelque chose d'aussi fondamental que l'utilisation de l'énergie. »
- « Aucune mention d'élites consommant la vaste majorité des ressources de la planète, ni de multinationales ou d'industries de combustibles fossiles devant être contrôlées. Ni de systèmes compétitifs d'accumulation de capitaux qui promeuvent le commerce et la lutte pour l'obtention de ressources, et qui émettent de vastes quantités de GES à travers des dépenses militaires et des guerres. Pas non plus de gouvernements qui accroissent l'utilisation et la dépendance aux combustibles fossiles. [...] »
- « Pour conclure l'analyse, un simple test permet de juger de l'efficacité de l'Accord de Paris: ce traité aurait en effet dû entraîner une chute dramatique du prix des actions de l'industrie des combustibles fossiles, industrie par définition constituée d'actifs toxiques. Autrement dit, un accord sérieux aurait eu pour effet de rendre intouchables toutes les réserves fossiles dont l'exploitation ferait dépasser la cible déjà dépassée de 2°C. L'accord aurait dû provoquer des faillites. S'il n'a rien provoqué sur les marchés boursiers, c'est que l'accord de Paris est perçu, aussi bien par l'industrie des combustibles fossiles que par les marchés financiers, comme totalement inoffensif. Il s'agirait même d'une excellente occasion de promouvoir de nouveaux instruments financiers permettant de perpétuer l'exploitation économique de la planète [...]»

### L'Accord de Paris :

À la lumière du point précèdent, un tel aveu peut paraître inquiétant. L'Accord de Paris est aujourd'hui hors de portée (il l'était même le jour de sa ratification) et le scénario le plus « optimiste » le violerait quand même.

#### En écrivant:

- « Notre scénario Sobriety est possible sans remettre en cause la transition numérique dans son principe même.
- Or, il ne s'agit en aucun cas dans ce scénario de museler la transition numérique : la croissance du trafic reste très élevée (17% dans les data centers, 25% sur les réseaux mobiles) et les achats de terminaux soutenus (1,5 milliards de smartphones vendus en 2025, soit le niveau de 2017). »

Une telle conciliance ne ferait-elle pas partie du problème?

Combien de temps encore faudra-t-il transiger avec le paradigme imposé par des intérêts privés, n'ayant **aucun intérêt à adopter un scénario de « sobriété »\*** et qui, en l'état — avec une intention stratégique louable — ne parvient même pas à respecter un Accord pourtant « vital » et déjà hors de portée?

Un scénario de « rupture », qui remette explicitement en cause la transition numérique en élaborant différentes pistes de contractions énergétique — si tel est le prix pour éviter le « chaos climatique » — ne serait-il pas plus pertinent?

N'y a-t-il pas un risque de contradiction à relayer que « l'on considère de plus en plus qu'il ne sera pas possible de maîtriser le changement climatique sans un recours massif au numérique »?

<sup>\*</sup> Comme le relève le chercheur Carlos Gómez-Rodríguez, « la majorité des recherches récentes en intelligence artificielle négligent l'efficacité énergétique, parce qu'on s'est aperçu que de très grands réseaux de neurones [plus énergivores] sont utiles pour accomplir une diversité de tâches, et que les entreprises et les institutions qui ont accès à d'abondantes ressources informatiques en tirent un avantage concurrentiel». Autrement dit, les géants de la technologie n'ont guère intérêt à mettre au point des méthodes plus sobres. cf. Emma Strubell, Ananya Ganesh et Andrew McCallum, «Energy and policy considerations for deep learning in NLP» (2019)

La fin de vie des métaux: « Nous n'avons pas quantifié les impacts liés à la phase de fin de vie, par manque de données fiables notamment à cause de la faible proportion d'équipements pris en charge dans les filières de traitement (15% dans le monde). Cette situation est préoccupante puisqu'elle résulte non-seulement en une perte de matériaux, mais également en une pollution des sols croissante et largement ignorée, même si cette dernière est localisée aux sites de production et aux sites de traitement inadaptés, ou encore aux décharges sauvages de déchets [...] ces métaux sont source de pollution des sols lors de leur extraction – également génératrice d'émission de GES – et en fin de vie des équipements lorsque la filière de traitement n'est pas adaptée (ce qui concerne plus de la moitié en masse des équipements électriques/électroniques en France, davantage dans le monde). »

D'après Guillaume Pitron, journaliste spécialiste de la géopolitique des matières premières :

- « Chaque année, en France, un habitant produit en moyenne jusqu'à 23 kilos de déchets électroniques. Et, dans le monde, ceux-ci s'accroissent chaque année à une vitesse affolante: 20% de hausse rien qu'au cours des trois dernières années [plus de 50 millions de tonnes en 2017, contre 41 millions en 2014]. [...] »
- « Il existerait donc bien une géopolitique du recyclage du moins le Japon en est-il persuadé. Et puis on peut aisément imaginer les progrès écologiques d'un mode de production qui aurait pour effet de limiter l'exploitation des mines et de diminuer l'exportation de vieux téléviseurs vers les décharges électroniques du Ghana ou du Nigeria. [...]»
- « Or ceux-ci [les déchets numériques], bien qu'irrécupérables n'ont pas fini de voyager... [...] dans [le] New Jersey: c'est là que se concentrent un grand nombre de sociétés américaines de recyclage de déchets électroniques ou plutôt d'export... Car leur proximité avec les ports de la côte n'a pas échappé à Lauren Roman, militante au sein de l'association américaine *Basel Action Network* [et qui sillonne] le New Jersey pour photographier les numéros de suivi inscrits sur les conteneurs chargés de déchets informatiques. Cette référence lui permet ensuite de retracer leur acheminement à travers le monde. [...] »

La fin de vie des métaux: « Nous n'avons pas quantifié les impacts liés à la phase de fin de vie, par manque de données fiables notamment à cause de la faible proportion d'équipements pris en charge dans les filières de traitement (15% dans le monde). Cette situation est préoccupante puisqu'elle résulte non-seulement en une perte de matériaux, mais également en une pollution des sols croissante et largement ignorée, même si cette dernière est localisée aux sites de production et aux sites de traitement inadaptés, ou encore aux décharges sauvages de déchets [...] ces métaux sont source de pollution des sols lors de leur extraction – également génératrice d'émission de GES – et en fin de vie des équipements lorsque la filière de traitement n'est pas adaptée (ce qui concerne plus de la moitié en masse des équipements électriques/électroniques en France, davantage dans le monde). »

D'après Guillaume Pitron, journaliste spécialiste de la géopolitique des matières premières :

- « L'écrasante majorité des industriels du recyclage ont l'obligation de traiter les déchets électroniques dans le pays où ils sont collectés. C'est tout l'enjeu de la convention de Bâle. Adoptée en 1989, celle-ci prohibe le transfert de déchets considérés comme dangereux, car ils recèlent souvent des métaux lourds et toxiques, des pays développés vers des États moins regardants sur les standards environnementaux\*. Elle a été ratifiée à ce jour par 185 pays, mais une poignée s'y sont refusés dont les États-Unis. Les receleurs américains sont donc encouragés à exporter ces déchets électroniques inutilisables. Après des années d'enquête, Lauren Roman est d'ailleurs formelle: 80% des déchets électroniques produits aux États-Unis sont expédiés vers l'Asie. »
- « Cette situation n'est pas propre aux États-Unis. Les receleurs japonais exportent eux aussi leurs déchets électroniques à destination de la Chine, alors même que le Japon est signataire de la convention de Bâle. [...] L'Europe ne fait pas mieux: un nombre incalculable de véhicules bourrés de terres rares quittent les docks d'Amsterdam sous le label "Occasion". Et cette déperdition vaudrait aussi pour 50% des catalyseurs hors d'usage, de gigantesques stocks de batteries d'éoliennes, plus de 50% des cartes électroniques usagées et un million de tonnes de cuivre par an. Europol a eu beau classer, en 2013, le commerce illicite de déchets parmi les principales menaces à l'environnement, rien n'y fait: les autorités européennes estiment que jusqu'à 1,3 millions de tonnes de déchets électroniques seraient exportés chaque année de notre contient vers l'Afrique et l'Asie. La Chine est une importante destination de ces déchets électroniques. [...] »

<sup>\*</sup> En particulier, l'exportation de déchets contenant des composés du chrome hexavalent, du cuivre, du zinc, du cadmium ou encore de l'antimoine est interdite par la convention.

### La fin de vie des métaux :

Peut-on, au grand minimum, imaginer, voire espérer, une sobriété sur les propriétés des matériaux, avec moins d'alliages — procédé énergivore en amont et en aval de la chaîne de production du numérique — quitte à brider l'innovation ?

Aussi, sur la base de la méthodologie ingénieuse du *Basel Action Network*, un ordre de grandeur de la borne inferieure de l'impact environnemental du numérique en fin de vie pourrait être estimée, via le coût énergétique de l'expédition de

- « 80% des déchets électroniques produits aux États-Unis vers l'Asie »; et des
- « 1,3 millions de tonnes de déchets électroniques exportés chaque année de notre contient vers l'Afrique et l'Asie ».

Toujours sur ce point, une synthèse de trois articles du *Guardian*, plus d'autres éléments tragiques sur la pollution numérique, par l'écologiste et traducteur de textes engagés *Nicolas Casaux*:

« L'humanité industrielle produit actuellement environ 50 millions de tonnes de déchets électroniques (ou e- déchets) par an , dont l'immense majorité (90%) ne sont pas recyclés. En raison de la course au "développement " (électrification, industrialisation, modernisation) des continents qui ne l'étaient pas encore entièrement (Afrique, Asie, Amérique du Sud, notamment), il est prévu que la production annuelle globale déjà faramineuse (50 millions de tonnes) de déchets électroniques (ou e-déchets) croisse de 500%, environ, au cours des décennies à venir (en raison d'explosions des ventes de téléphones portables, d'ordinateurs, de télévisions, de tablettes, etc.). Il est aussi prévu que la quantité totale des déchets solides produits par l'humanité industrielle mondiale triple d'ici 2100, pour atteindre plus de 11 millions de tonnes, par jour. »

### La fin de vie des métaux :

« Dans la même veine, la transformation de la ville de Guiyu en Chine, en poubelle géante de déchets électroniques (en provenance du monde entier), où des centaines de milliers de Chinois, enfants et adultes, travaillent à les trier, et donc en contact direct avec des centaines de milliers de tonnes de produits hautement toxiques (les toxicologues s'intéressent aux records mondiaux de toxicité de Guiyu en termes de taux de cancer, de pollutions des sols, de l'eau, etc.) ; la transformation de la zone d'Agbogbloshie, au Ghana, également en poubelle géante de déchets électroniques (en provenance du monde entier, de France, des USA, du Royaume-Uni, etc.), où des milliers de Ghanéens, enfants (dès 5 ans) et adultes, travaillent, en échange d'un misérable salaire, à trier les centaines de milliers de tonnes de produits hautement toxiques qui vont ruiner leur santé et contaminer les sols, l'air et les cours d'eau et les êtres vivants de la région ; la transformation de bien d'autres endroits, toujours dans des pays pauvres (Inde, Égypte, Bangladesh, Philippines, Malaisie, etc.) en poubelles géantes de déchets\* (électroniques, plastiques, etc.) ; l'enfouissement de déchets électroniques en France, dans différents endroits discrètement réservés à cet effet [...] les destructions des récifs coralliens, des fonds marins et des forêts des îles de Bangka et Belitung en Indonésie, où des mineurs d'étain légaux et illégaux risquent et perdent leur vie à obtenir ce composant crucial des appareils électroniques, embourbé dans une vase radioactive. [...]»

<sup>\*</sup> On y apprend, entre autres, que « Selon l'Organisation Internationale du Travail, 80% des e-déchets " finissent par être envoyés (souvent illégalement) dans les pays en développement pour être recycles par des centaines de milliers de travailleurs informels ", avec " des implications négatives en termes de santé et d'environnement". »

Cet ordre de grandeur vient confirmer celui du Basel Action Network.

La fin de vie des métaux : Une image vaut mille mots



De jeunes hommes brûlant des câbles électriques pour récupérer le cuivre; une mère et un enfant se dressant dans la plus grande décharge de déchets électroniques au monde, à Agbogbloshie (Ghana).

Bien qu'extrêmement choquantes et douloureuses, ces images sont essentielles. Un travail d'évaluation — même modeste et partiel — des pollutions engendrées par cette décharge, surnommée « Sodome et Gomorrhe », et « où la fumée ne se dissipe jamais » doit absolument être investigué. Ne serait-ce que pour comptabiliser et rendre visible le sacrifice de ces esclaves des temps modernes, enfants et adultes. La « dématérialisation » de l'économie est une chaîne physique encore plus longue que ce que les occidentaux sont capables d'imaginer.

La transition numérique des « pays en développement » : « Des principes de politiques publiques, notamment destinés aux pays en développement, pour que ceux-ci retirent les bénéfices attendus de la transition numérique, y compris environnementaux [...] Dans les pays en développement, où l'investissement dans des infrastructures numériques apparaît aussi indispensable que celui consacré aux infrastructures électriques ou de transport, sa capacité de disruption apparaît comme l'opportunité d'entrer sans retard dans la troisième révolution industrielle, même s'il existe un risque de fracture sociale liée au degré d'appropriation de la technologie »

Lorsqu'est relayée l'idée selon laquelle il y aurait des bénéfices à tirer du numérique par les « pays en développement », de quels nature pourraient être ces bénéfices connaissant l'expérience plus que mitigée des pays développés — dont la définition des besoins ne fait pas l'objet du moindre consensus, d'où le sens du travail du *Shift* ?

N'est-ce pas précipité de relayer, dans une étude critique des impacts environnementaux et sociaux du numérique, l'idée selon laquelle il s'agit d'un « progrès » indiscutable dont les « bénéfices » prévalent *a priori* sur les dégâts — là aussi, question au cœur de votre analyse et qui l'aurait rendue inutile si la réponse était évidente?

La transition numérique des « pays en développement » :

#### Petite digression sur la « mobilité durable»

Le Global Roadmap of Action Toward Sustainable Mobility (GRA 2019) rassemble 55 organisations et entreprises publiques et privées ayant pour ambition commune de transformer l'avenir de la mobilité. Ils ont publié un <u>important rapport</u> sur « comment » parvenir à une mobilité durable\*. En 2017, le Global Mobility Report (GMR 2017) abordait « quels » facteurs sont en jeu, et a établi un impératif pour une action urgente sur la mobilité dans le monde. Les conclusions de ce rapport étaient alarmantes :

 « Pas un seul pays dans le monde (développé/en développement) n'a atteint une mobilité durable [et] le monde est en retard sur la réalisation de la mobilité durable. »

Selon la définition du GRA, la mobilité durable s'inscrit dans le cadre de la réalisation de quatre objectifs politiques mondiaux : **Accès universel**; **Efficacité**; **Sécurité**; **Mobilité verte**.

En résumé, le *GRA Report* nous met en garde :

« Pas un seul pays - développé ou en voie de développement - n'est en phase avec les objectifs. »

<sup>\*</sup> Il également fait appel à des donateurs pour soutenir cet effort sur une période de 18 mois (The German Federal Ministry for Economic Cooperation and Development, the World Bank and the Michelin Foundation).

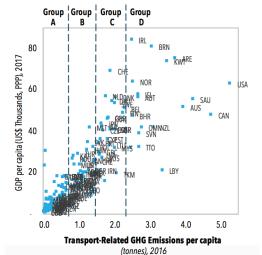
### La transition numérique des « pays en développement » :

#### Petite digression sur la « mobilité durable»

Pour appuyer ses propos, le GRA présente les performances en matière de mobilité de 183 pays développés et en développement. Les principales conclusions sont les suivantes:

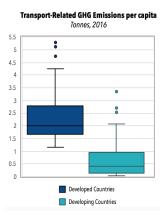
 « Les pays développés surpassent les pays en développement sur tous les objectifs de la politique de mobilité, à l'exception des émissions de gaz à effet de serre (GES) par habitant liées au transport. [...] »

Comme le montre l'encadré de gauche, « les pays développés ont une moyenne de 2,4 tonnes d'émissions annuelles de CO2 par habitant, contre 0,7 tonne pour les pays en développement. »



En ce qui concerne les disparités fondées sur le revenu, la conclusion est inchangée, , et confirme que les pays riches ont tendance à obtenir de meilleurs résultats dans tous les domaines de la « mobilité durable » à l'exception du critère « vert » (émissions de carbone par habitant liées au transport) :

« La corrélation la plus élevée entre le revenu par habitant et la performance de mobilité est celle de l'indicateur des émissions de GES / habitant liées au transport (0.83). Il faut en tenir compte lorsque l'on considère les voies de développement des pays à faible revenus, en d'autres termes, la mobilité durable ne peut être réalisée au détriment des émissions de GES. »



La transition numérique des « pays en développement » :

Petite digression sur la « mobilité durable»

En résumé, bien qu'ils disposent d'une flotte, d'une gestion de flotte et de systèmes très performants, les pays développés n'ont pas réussi à atteindre une « mobilité durable » sans aggraver leur impact environnemental.

Ainsi, quelque soient les indicateurs de succès liés aux étapes pour atteindre les objectifs de « mobilité durable », proposés par le GRA, leur plan d'action ne fera que retarder les mesures urgentes qui devront être menées pour respecter – l'idée de – l'Accord de Paris (ce qui impliquera, nécessairement, de réduire la performance des flottes des pays développés et de changer de manière significative notre paradigme centré sur la route).

Malgré cette évidence qu'il exhibe et formule lui même, le GRA – sans doute contraint par différents intérêts difficilement conciliables – s'enfonce dans une contradiction en délayant comment entraîner les « pays en développement » dans la course (pourtant jugée climaticide) des pays développés...

### La transition numérique des « pays en développement » :

Pour revenir au rapport du Shift et à l'idée qu'ils relayent selon laquelle:

 « [...] l'investissement dans des infrastructures numériques [qui] apparaît aussi indispensable que celui consacré aux infrastructures électriques ou de transport »

Comment ne pas rester songeur et dubitatif, pour ne pas dire gêné?

En plus des remarques qui précèdent, quid des besoins et capacités de subsistance bien plus impératifs et déjà menacés — cf. <u>Au Mozambique</u>, « <u>Beira</u>, <u>première ville au monde détruite par les changements climatiques »</u> ou <u>« Il n'y a plus d'avenir ici » : en Afrique australe, les ravages du changement climatique</u>?

« L'opportunité d'entrer sans retard dans la troisième révolution industrielle »:

À supposer qu'il existe des pistes pour que les « pays en développement » puissent un jour « rattraper » leur retard sur les deux premières révolutions industrielles — ce qui est simplement impossible, étant donné que les révolutions industrielle du Nord se sont faites au prix du pillage du Sud, mais admettons —, ne serait-ce pas là une priorité de taille que de rattraper d'abord ce retard, afin de les faire sortir de cette indigence ?

« Entrer sans retard dans la 3è révolution industrielle » les avantageraient-ils par rapport à l'élargissement de part de marché des entreprises du numérique des pays développés ?

Ces questions semblent être tout à fait légitimes en regard des enjeux historiques soulevés par l'étude.

### La transition numérique des « pays en développement » :

Dans la continuité de ce thème, rappelons une citation des Echos (2016) présente dans le rapport du Shift:

« Une étude McKinsey parue en novembre 2013 révélait ainsi l'extraordinaire potentiel du numérique sur le continent : en 2025, l'Afrique verrait internet contribuer de 300 milliards à son économie, dont 75 milliards de commerces en ligne, avec également 300 milliards de gains de productivité dans de très nombreux secteurs stratégiques. »

D'après l'association britannique Health Poverty Action en 2014:

« Alors que l'Afrique reçoit un peu moins de 30 milliards de dollars chaque année en aide, 192 milliards quittent le continent, globalement pour retourner vers les pays riches. [46.3 milliards de dollars en profit pour des multinationales; 21 milliards de dollars en paiement de la dette; 35.3 milliards de dollars en flux financiers illicites (dont 6% à travers l'évasion fiscale); 6 milliards de dollars à travers la fuite de travailleurs qualifiés; 17 milliards de dollars en exploitation illégale de bois; 1.3 milliards en pêcheries illégales; 36.6 milliards de dollars en conséquences du dérèglement climatique que l'Afrique n'a pas causé]».

Avec ces éléments en tête, ne trouvez-vous pas cette remarque de McKinsey totalement indécente ?

- **En guise de récapitulatif**, finissons sur une excellente tribune publiée en mars 2020 sous le titre <u>Le numérique carbure au charbon</u>, par Sébastien Broca, sociologue, maître de conférences en sciences de l'information et de la communication à l'Université Paris 8.
- C'est l'histoire d'un ingénieur de Microsoft que son employeur envoie à Atyraou, sur le plus grand site pétrolier du Kazakhstan, exploité par Chevron en partenariat avec l'État kazakh. Là, il participe à un séminaire sur la manière dont l'intelligence artificielle et l'informatique en nuage (cloud computing) peuvent rendre l'industrie pétrolière plus efficace. Devant des cadres dirigeants qui ne comprennent pas grand-chose au jargon dont il les abreuve, il joue, en se forçant un peu, la partition que Microsoft lui a demandé d'interpréter. Les enjeux sont importants. En 2017, Chevron a signé avec l'entreprise fondée par M. Bill Gates un partenariat de sept ans, afin d'en faire son fournisseur de services à distance. Depuis cette date, Microsoft stocke et analyse les téraoctets de données que recrachent chaque jour les puits de pétrole couverts de capteurs. À Atyraou, le séminaire prend toutefois un tour un peu inattendu. Les cadres de Chevron questionnent l'ingénieur sur la possibilité d'installer des outils de surveillance sophistiqués, qui permettraient de détecter algorithmiquement les comportements suspects parmi les travailleurs du site ou d'analyser leurs courriers électroniques personnels! À son retour aux États-Unis, il a le sentiment d'avoir vécu une « expérience surréaliste », où « toutes les personnes présentes discutaient, l'air de rien, à la mise en place d'un dispositif panoptique de surveillance du travail ». Il décide alors de raconter son séjour dans un long article\*.

Oil is the New Data

Zero Cool

- Depuis quelques années, les rapprochements entre les principaux acteurs du capitalisme numérique et les grandes compagnies pétrolières se multiplient. Amazon a créé le service d'informatique en nuage AWS Oil and Gas Solutions, financé des conférences de l'industrie pétrolière et recruté de nombreux experts en intelligence artificielle spécialisés dans les applications au secteur de l'énergie. Google a de son côté signé des accords avec Total, Anadarko et Nine Energy Service, tout en lançant sa division Oil, Gas and Energy au sein de Google Cloud. Quant à Microsoft, il a conclu des partenariats non seulement avec Chevron, mais également avec BP, Equinor et Exxon.
- Ces alliances sont dues aux perspectives ouvertes par les données de masse (big data) et par l'intelligence artificielle. L'industrie pétrolière compte sur ces technologies pour localiser plus précisément les réserves et réduire ses coûts grâce à l'automatisation. Les géants du numérique y voient de leur côté un marché juteux pour leurs services de stockage et de traitement de données, mais aussi pour leurs solutions d'apprentissage automatique (machine learning). Seule ombre au tableau : ces partenariats font tache alors que les services de communication rabâchent l'engagement sans faille de la Silicon Valley en faveur des énergies renouvelables. Sommé par certains de ses salariés de renoncer à toute collaboration avec l'industrie pétrolière, le fondateur d'Amazon, M. Jeff Bezos, expliquait en septembre 2019 qu'il ambitionnait d'apporter à l'industrie pétrolière les « meilleurs outils possibles » pour effectuer sa « transition »\*. Stopper la dépendance aux combustibles fossiles en aidant les principaux fournisseurs à rendre leurs affaires plus profitables : il fallait effectivement y songer.

### Ravages de l' « Internet des objets »

• Si l'extraction du pétrole et celle des données constituent les deux faces d'une même pièce, c'est en réalité toute l'opposition entre le capitalisme thermo-industriel né au XIXe siècle et un capitalisme numérique prétendument « immatériel », « postindustriel » ou « vert » qu'il faut remettre en question. « L'informatique en nuage commence avec le charbon », affirmait en 2013 un rapport du consultant Mark P. Mills, financé par... l'industrie minière\*. Nos sociétés numériques poursuivent en effet une trajectoire historique entamée il y a deux siècles au Royaume-Uni avec l'exploitation à grande échelle du charbon. Depuis, la consommation mondiale de ce combustible n'a cessé d'augmenter, malgré l'addition progressive d'autres sources d'énergie primaire : gaz naturel, pétrole, nucléaire, solaire, etc.\*\*. Selon l'Agence internationale de l'énergie, l'utilisation du charbon, tirée par la Chine, l'Inde et l'Asie du Sud-Est, ne devrait pas décliner ces prochaines années\*\*\*.

<sup>\*</sup> Mark P. Mills, « The cloud begins with coal » (PDF), Digital Power Group, New York - Washington, DC, août 2013.

<sup>\*\*</sup>Christophe Bonneuil et Jean-Baptiste Fressoz, *L'Événement anthropocène*, Seuil, coll. « Anthropocène », Paris, 2013.

<sup>\*\*\* «</sup> Coal 2019. Analysis and forecasts to 2024 », IEA, Paris, 2019.

- De manière générale, la consommation énergétique mondiale croît toujours (+ 2,3 % en 2018), et elle découle encore à plus de 80 % des énergies fossiles\*. La quantité d'énergie nécessaire pour produire de l'énergie croît également, à mesure que sont exploités des gisements de plus faible qualité ou des hydrocarbures dits « non conventionnels », comme les sables bitumineux. Ainsi, ce que les spécialistes appellent le « taux de retour énergétique » ne cesse de décliner. Alors que, « il y a un siècle, il fallait en moyenne un baril de pétrole pour en extraire cent, aujourd'hui, le même baril n'en produit, dans certaines zones de forage, que trente-cinq\*\*».
- · Certes, l'économie numérique n'est pas seule en cause, mais elle participe grandement au maintien de cette trajectoire funeste. Selon deux rapports récents, elle représente plus de 4% de la consommation d'énergie primaire au niveau mondial, et cette consommation augmente de 9% par an, à mesure que les pays émergents s'équipent et que les usages se diversifient\*\*\*. C'est la fabrication des terminaux et des infrastructures de réseaux qui pèse le plus lourd dans ce bilan, suivie par la consommation des équipements, du réseau et des fermes de serveurs (data centers). La construction d'un ordinateur portable émet ainsi environ 330 kilogrammes d'équivalent CO2, tout en nécessitant énormément d'eau et de matières premières, notamment des métaux comme le palladium, le cobalt ou les terres rares. Le fonctionnement des data centers génère à lui seul 19% de l'empreinte énergétique totale du numérique.

<sup>\*</sup> Christopher J. Rhodes, «Endangered elements, critical raw materials and conflict minerals», *Science Progress*, Thousand Oaks (Californie), 2019.

<sup>\*\*</sup> Guillaume Pitron, La Guerre des métaux rares. La face cachée de la transition énergétique et numérique, Les Liens qui libèrent, Paris, 2018.

<sup>\*\*\*</sup> Frédéric Bordage (sous la dir. de), «Empreinte environnementale du numérique mondial» (PDF), GreenIT.fr, octobre 2019; Maxime Efoui-Hess (sous la dir. de), «Climat: l'insoutenable usage de la vidéo en ligne», The Shift Project, Paris, juillet 2019.

- Le simple visionnage en ligne de vidéos, qui sont stockées au sein de ces gigantesques infrastructures matérielles, aurait engendré en 2018 autant de gaz à effet de serre qu'un pays comme l'Espagne. En effet, si Apple et Google se targuent d'opérer avec 100% d'énergies renouvelables, c'est loin d'être le cas du principal acteur de l'informatique en nuage, Amazon. Selon un rapport de Greenpeace, son gigantesque centre de traitement en Virginie, où transite environ 70% du trafic Internet mondial, en intègre seulement 12%. Il bénéficie notamment de l'électricité bon marché produite grâce au charbon des Appalaches, extrait en écrêtant à l'explosif le sommet des montagnes avoisinantes... En Chine, c'est 73% de l'énergie consommée par les data centers qui provient toujours du charbon\*. Ces chiffres peuvent inquiéter lorsqu'on sait l'explosion prévisible de la quantité de données dans les années à venir, conséquence de la prolifération attendue des objets connectés.
- Plus fondamentalement, les technologies sur lesquelles repose le capitalisme numérique ont été conçues sans tenir compte de l'impératif écologique. Le champ de l'intelligence artificielle en offre un exemple édifiant. Une étude de l'université d'Amherst (Massachusetts) a montré qu'un projet standard d'apprentissage automatique émet aujourd'hui, pendant l'ensemble de son cycle de développement, environ 284 tonnes d'équivalent CO2, soit cinq fois les émissions d'une voiture de sa fabrication jusqu'à la casse\*\*. Comme le relève le chercheur Carlos Gómez-Rodríguez, « la majorité des recherches récentes en intelligence artificielle négligent l'efficacité énergétique, parce qu'on s'est aperçu que de très grands réseaux de neurones [plus énergivores] sont utiles pour accomplir une diversité de tâches, et que les entreprises et les institutions qui ont accès à d'abondantes ressources informatiques en tirent un avantage concurrentiel\*\*\*\*». Autrement dit, les géants de la technologie n'ont guère intérêt à mettre au point des méthodes plus sobres.

<sup>\*</sup> Naomi Xu Elegant, «<u>The Internet cloud has a dirty secret</u>», *Fortune*, New York, 18 septembre 2019.

<sup>\*\*</sup> Cité dans Karen Hao, «Training a single AI model can emit as much carbon as five cars in their lifetimes», MIT Technology Review, Cambridge (Massachusetts), 6 juin 2019.

<sup>\*\*\*</sup> Emma Strubell, Ananya Ganesh et Andrew McCallum, «Energy and policy considerations for deep learning in NLP» (PDF), 57es rencontres de l'Association for Computational Linguistics, Florence, juillet 2019.

- Ils n'ont pas davantage intérêt à ce que leurs utilisateurs adoptent des comportements écologiques. Leur prospérité future nécessite que chacun s'habitue à allumer la lumière en parlant à une enceinte connectée, plutôt qu'en appuyant sur un bête interrupteur. Or le coût écologique de ces deux opérations est loin d'être équivalent. La première nécessite un appareil électronique sophistiqué muni d'un assistant vocal dont le développement a consommé énormément de matières premières, d'énergie et de travail\*. Prôner simultanément l' « Internet des objets » et la lutte contre la crise climatique est un non-sens : l'augmentation du nombre d'objets connectés accélère tout simplement la destruction de l'environnement. Et les réseaux 5G devraient doubler ou tripler la consommation énergétique des opérateurs de téléphonie mobile dans les cinq prochaines années.
- Considéré sous l'angle écologique, le capitalisme numérique ne se réduit ni aux mastodontes de la Silicon Valley ni au milieu des start-up. Il constitue plutôt une « économie-monde », au sens que l'historien Fernand Braudel donnait à ce terme : un ensemble cohérent d'acteurs économiques dont les relations sont structurées par une division entre centres et périphéries. La baie de San Francisco en est le cœur, et sa prospérité découle largement des relations asymétriques qu'elle entretient avec des espaces dominés, des mines de coltan africaines aux usines d'assemblage asiatiques en passant par les dépotoirs électroniques ghanéens.

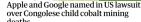






<sup>\*</sup> Kate Crawford et Vladan Joler, «Anatomy of an Al System», Al Now Institute & Share Lab, université de New York, 7 septembre 2018.

- Dans ce système, les processus industriels engendrent des coûts écologiques inégalement répartis. Ainsi les injustices environnementales prennent-elles la forme d'un échange écologiquement inégal, déclinaison de l'«échange inégal» théorisé notamment par l'économiste marxiste Arghiri Emmanuel dans les années 1960 : derrière l'apparente équité de l'échange monétaire, l'économie-monde capitaliste repose sur des transferts asymétriques de ressources naturelles entre centres et périphéries\*. Quand une entreprise du Nord achète pour 1 000 dollars de matières premières et lorsqu'une entreprise du Sud paye 1 000 dollars de droits de propriété intellectuelle, les valeurs monétaires sont identiques, mais les impacts sur la nature ne le sont pas, car les centres externalisent les conséquences environnementales de leur développement.
- Le capitalisme numérique illustre parfaitement cette logique. La fabrication des ordinateurs et des téléphones portables absorbe à elle seule 23% de la production mondiale de cobalt et 19% des métaux rares\*\*. Or le cobalt provient majoritairement de la République démocratique du Congo, où il est souvent extrait par des enfants dans des zones de conflit, au mépris des droits humains et de l'environnement\*\*\*. Quant aux terres rares, la Chine domine leur production mondiale, mais au prix de pluies acides et d'une contamination aux métaux lourds de ses terres arables et de ses réserves en eau. Le journaliste Guillaume Pitron résume la situation : « Les Chinois et les Occidentaux se sont tout bonnement réparti les tâches de la future transition énergétique et numérique : les premiers se saliraient les mains pour produire les composants de la green tech, tandis que les seconds, en les leur achetant, pourraient se targuer de bonnes pratiques écologiques.» Le fonctionnement de l'économie-monde numérique n'abolit pas les limites écologiques : il les déplace.





<sup>\*</sup> Alf Hornborg, Nature, Society, and Justice in the Anthropocene: Unraveling the Money-Energy-Technology Complex, Cambridge University Press, 2019.

\*\* Guillaume Pitron, La Guerre des métaux rares, op. cit.

<sup>\*\*\*</sup> Annie Kelly, « Apple and Google named in US lawsuit over Congolese child cobalt mining deaths », The Guardian, Londres, 16 décembre 2019.

# Quelles solutions?

Résister aux fausses solutions

Restaurer le monde naturel

Stopper les destructions en cours



L'appel de 1 000 scientifiques : « Face à la crise écologique, la rébellion est nécessaire »

Ni ici ni Ailleurs

Faisant le constat de l'inaction des gouvernemen et climatique, près de 1 000 scientifiques de tout une tribune au « Monde », les citoyens à la désobé développement d'alternatives.

Publié le 20 février 2020 à 02h21 - Mis à jour le 27 février 2020



### Références

### Bibliographique

- C. Bonneuil et J-B. Fressoz, *L'Événement* anthropocène, Seuil, 2013.
- P. Bihouix, L'âge des low tech. *Vers une civilisation techniquement soutenable*, Seuil, 2014.
- G. Pitron, La Guerre des métaux rares. La face cachée de la transition énergétique et numérique, Les Liens qui libèrent, 2018.
- H. Ferreboeuf (sous la dir. de), « Pour une sobriété numérique » ,The Shift Project, juillet 2019.

### **▶** Filmographique / Documentaires

- D. O' Connor, « Sans lendemain », Incubate Pictures & Post Carbon Institute, 2012.
- J-R. Viallet, « L'homme a mangé la Terre », Arte, avril 2019
- J. Giraudot, « Projet Green Blood », France TV, mars 2020