

Transition Sociale Écologique en Belgique

Pour une Belgique en transition





Numérique : quels impacts écologiques ?

Arnaud Claes et Antoine Defroidmont, Ing.

info@tseb.be

Qui sommes nous?

ASBL Transition Sociale Ecologique en Belgique (TSEB)

Raison sociale:

- Sensibiliser aux enjeux socio-écologiques
- Les cartographier
- Rechercher et développer des moyens pour y répondre



Structure de la présentation

1. Lien entre numérique et écologie
2. Le numérique pour découpler l'économie?
3. Pressions environnementales liées au numérique
4. L'optimisation pour réduire l'impact environnemental?
5. Conclusion



Partie 1 :

Lien entre numérique et écologie



Numérique: de quoi parle-t-on?

Tout ce qui permet de se connecter à Internet, y consulter ou publier du contenu, ou simplement créer ou modifier des documents numériques:

- Appareils et terminaux
- Serveurs, data centers
- Infrastructures réseau
- Objets connectés



Numérique: de quoi parle-t-on?

Le numérique est omniprésent dans nos vies

Quelques chiffres (En Wallonie, chiffres 2023) :

- 96% des ménages ont au moins 1 équipement numérique (PC, tablette, smartphone)
- 95% des ménages ont accès à internet à leur domicile

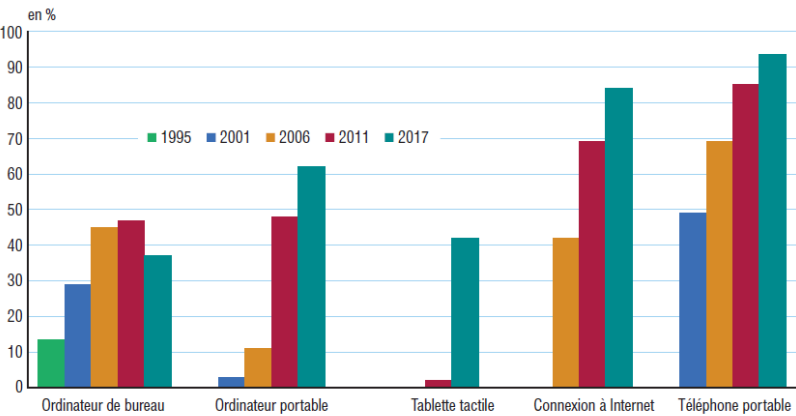


Source :
<https://www.digitalwallonia.be/fr/publications/citoyens-2023-equipements-numeriques/>

Numérique: de quoi parle-t-on?

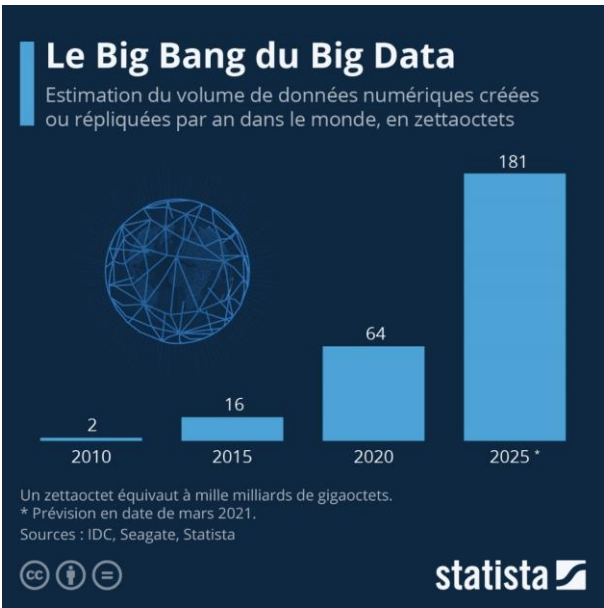
Un secteur en croissance continue

1. Taux d'équipement des ménages en biens électroniques de 1995 à 2017



Note : le bien « ordinateur portable » comprend aussi le *netbook* et l'*ultraportable*.
Champ : France métropolitaine, ménages ordinaires.
Source : Insee, enquêtes Budget de famille (BDF) 1995, 2001, 2006, 2011, 2017 et Statistiques sur les ressources et les conditions de vie (SRCV) 2006, 2011 et 2017 (pour la connexion Internet). Les données BDF 2017 sont provisoires.

Numérique: de quoi parle-t-on?



Lien entre numérique et écologie

Quel est le lien entre le numérique et l'écologie?

$$\begin{array}{c} \text{Croissance économique} \\ + \\ \text{Décroissance pression environnementale} \\ = \\ \text{Digitalisation} \end{array}$$

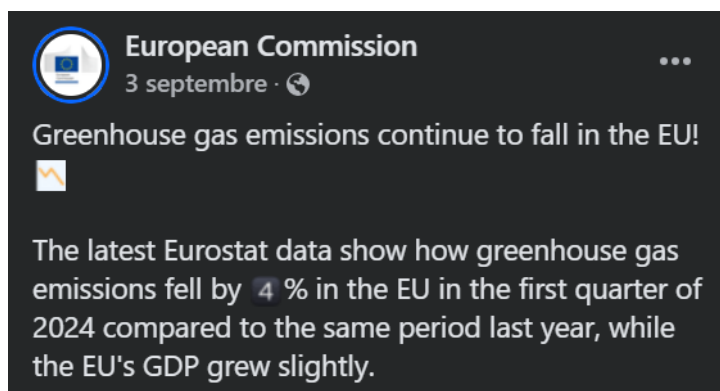
Exemple: On ne coupe pas d'arbre pour créer un document Word, on ne transporte pas les logiciels dans des camions, ...



Lien entre numérique et écologie

Le secteur numérique permettrait donc un « découplage » entre l'économie et la production de CO2

→ Croissance économique sans croissance des émissions de CO2



Lien entre numérique et écologie

Entre croissance du secteur et découplage, quel est l'impact réel du numérique sur l'environnement?



Partie 2 : Le numérique pour découpler l'économie?



Une économie dématérialisée ?

Problème N° 1:

Le secteur du numérique a lui-même besoin d'un ensemble de composants matériels:

- Terminaux
- Infrastructure réseau
- Data centers



Nous venons de voir que le numérique est souvent perçu comme quelque chose d'immatériel, et que dans ces conditions, la digitalisation du monde (càd le fait d'augmenter la part de l'économie liée aux activités du numérique) revient à dématérialiser notre économie, et donc à diminuer nos pressions sur l'environnement.

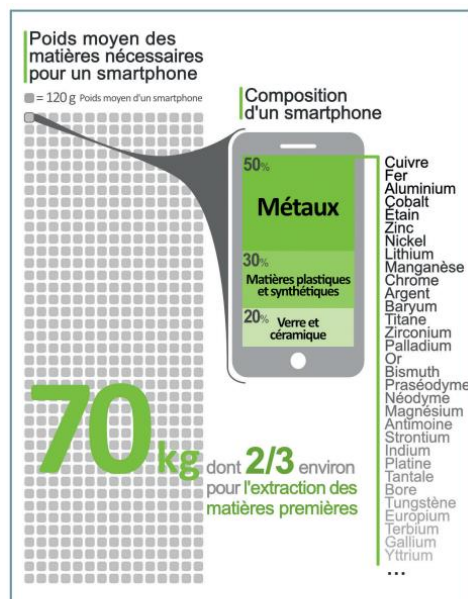
Pourtant, le numérique ne se limite pas qu'à du code informatique ou à un univers totalement virtuel.

En effet, les données, programmes informatiques et applications reposent sur des infrastructures et appareils qui eux, sont bien matériels, tels que : **(voir introduction)**

- les terminaux (nos téléphones portables, tablettes, écrans et ordinateurs);
- Les infrastructures réseau (antennes, câbles, modems et routeurs,... tout ce qui permet de se connecter à internet);
- Les centres de données (immenses parcs de serveurs informatiques, sur lesquels sont stockés toutes les données informatiques).

Les besoins matériels du numérique

Besoins matériels pour la production des terminaux et infrastructures:



Sources : Ademe ; Sénat (rapport n° 850, 09/2016) ; Wuppertal Institut (2012), évaluation selon l'approche poids-matière de l'écologiste Friedrich Schmidt-Bleek
Infographie : Bertrand Gaillet

Prenons par exemple le cas du smartphone :

Pour fabriquer un smartphone d'un peu plus de 100g, il faut 70 kg de matières premières (dont 50 kg directement extraites) et pratiquement 40 métaux différents !

En résumé, produire un seul téléphone demande énormément de ressources qui sont bien matérielles ! Et l'extraction de ces ressources, ce sont des pressions sur l'environnement !

Sources :

<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2018-10/datalab-essentiel-142-empreinte-matiere-avril2018b.pdf>

<https://www.systext.org/node/1724>

<https://ecoinfo.cnrs.fr/2014/04/11/les-materiaux-dans-les-equipements-terminaux/>

Découplage pour atteindre la neutralité carbone?

Rappel des secteurs économiques:

- Le secteur primaire : collecte et exploitation des ressources naturelles
- Le secteur secondaire: transformation des matières premières
- Le secteur tertiaire: les services, tout ce qui est « immatériel »
→ Le numérique



On voit donc en première instance que tout ce qui paraît « dématérialisé » repose en fait :

- sur des ressources naturelles, que l'on va extraire et collecter en vue de les exploiter (c'est ce qu'on appelle le secteur primaire) ;
- sur des processus de transformation de ces matières premières, **afin de les rendre utilisables** par notre économie (secteur secondaire).

Une fois ces matières transformées, on obtient des produits finis grâce auxquels on peut alors assurer un **ensemble de services utiles à notre économie** : c'est le secteur tertiaire.

Le secteur tertiaire, c'est par exemple tout ce qui est commerce, éducation, santé, l'administration,...

Parmi les 3 secteurs, c'est donc le plus « dématérialisé » : il n'est pas directement consommateur de matières premières. Le numérique fait donc partie du secteur tertiaire.

Découplage pour atteindre la neutralité carbone?

En Belgique, 84% du PIB en 2023 est généré par le secteur tertiaire contre 69% en 2015

→ Notre économie est déjà fortement « immatérielle », cf déclin de l'industrie

Pourtant nos stratégies actuelles sont loin de nous mener vers la neutralité en 2050...



Source : <https://www.tresor.economie.gouv.fr/Pays/BE/situation-economique-et-financiere-de-la-belgique>

https://doc.statbel.fgov.be/publications/S000.01/S000.01F_Chiffres-cles_2016.pdf

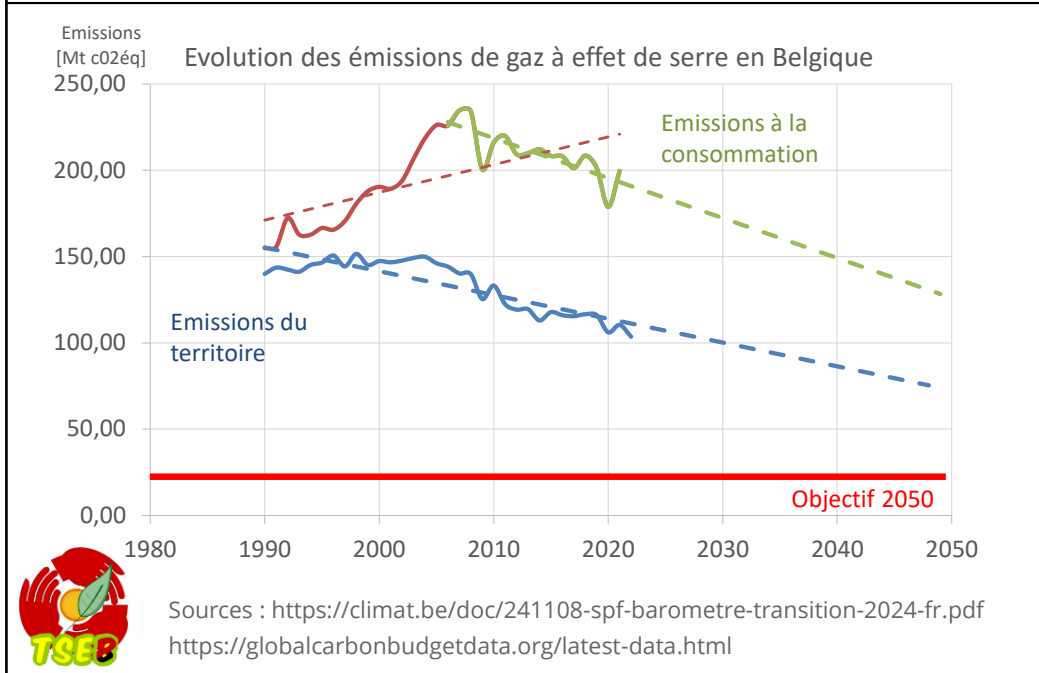
Toutefois, rappelez-vous ce qu'on vient de dire : même si l'on ne lui attribue pas directement la consommation en matières premières pour produire les infrastructures nécessaires à la réalisation des services, sans cette production, le secteur tertiaire n'existerait pas ! **Le secteur tertiaire est donc dépendant des secteurs primaire et secondaire pour fonctionner !**

Mais est-ce que la tertiarisation de l'économie fait vraiment baisser l'empreinte de notre économie sur l'environnement ?

Pour illustrer, **prenons la Belgique** : la Belgique est l'un des pays les plus « tertiarisés » au monde, où plus de 80% de son PIB provient aujourd'hui du secteur tertiaire. Cela signifie qu'en Belgique, **la collecte de matières premières et leur transformation ne représente plus qu'une petite part de l'économie**. En outre, la plupart des activités industrielles des secteurs primaire et secondaire ont été délocalisées.

Si l'on suit la logique « tertiarisation = dématérialisation », puisque notre économie s'est tertiarisée, elle devrait exercer bien moins de pressions environnementales ! Mais qu'en est-il réellement ?

Découplage pour atteindre la neutralité carbone?



Sur ce graphique, on peut voir l'évolution des émissions de gaz à effet de serre en Belgique de deux façons différentes :

- Si l'on regarde les émissions du territoire (hors importations nettes), on voit que celles-ci resteront largement au-dessus de ce qu'il faudrait pour respecter nos objectifs en matière de limitation du réchauffement climatique d'ici 2050.
- Si l'on regarde les émissions à la consommation, qui tiennent compte de ce qui est produit ailleurs (issu de la délocalisation mais que l'on continue à consommer ici), on remarque que les émissions attribuables à la Belgique sont 2x plus élevées et nous éloignent d'autant plus de l'objectif 2050 !

Tout dépend donc de ce que l'on décide de compter ou pas, mais on peut tirer ici 2 grands enseignements :

- **Même si l'économie belge est tertiaisée, ses pressions environnementales restent trop importantes** (légère baisse mais très largement insuffisante) ;
- **La tertiairisation de l'économie repose sur des activités industrielles délocalisées ailleurs, mais qui continuent malgré tout de polluer !**

Découplage pour atteindre la neutralité carbone?

Et si on compte les émissions liées aux importations nettes (tout ce qui est produit ailleurs pour être consommé ici) ?

On passe d'environ 9t/hab à... 17t/hab !

→ Nos émissions totales **baissent trop lentement** malgré la « tertiarisation » (sans parler des crises économiques) !



Sources : <https://climat.be/en-belgique/climat-et-emissions/emissions-des-gaz-a-effet-de-serre/inventaire-national>
<https://globalcarbonbudgetdata.org/latest-data.html>

Au final, **il serait quelque peu malhonnête de ne pas considérer les émissions à la consommation**, puisque sans les activités délocalisées des secteurs primaire et secondaire, nous ne pourrions pas faire fonctionner notre économie !

Ainsi, les émissions par personne en Belgique ne sont pas de 9t/hab, mais plutôt de 17t/hab, soit environ 2x plus ! Par personne, nous faisons donc partie des pays les plus émetteurs au niveau mondial !

Le numérique pour découpler l'économie?

Découplage possible ?

Même si économie « immatérielle », NON !

Idem pour le numérique : les données que nous consommons reposent sur des infrastructures et appareils, qui comme on vient de le voir, sont bien matériels !

Secteur toujours en croissance (6,3% en moyenne de 2013 à 2023 dans les pays de l'OCDE)



Augmentation des appareils et infrastructures numériques !



Source : <https://www.oecd.org/fr/about/news/press-releases/2024/05/growth-of-digital-economy-outperforms-overall-growth-across-oecd.html>

Source :

<https://www.oecd.org/fr/about/news/press-releases/2024/05/growth-of-digital-economy-outperforms-overall-growth-across-oecd.html>

Tertiariser, une solution pour réduire les pressions environnementales et dématérialiser ? Il semble ainsi que NON !

Idem pour le numérique : pour chaque espace virtuel que nous créons, il faut des infrastructures et appareils qui, eux, sont bien matériels !

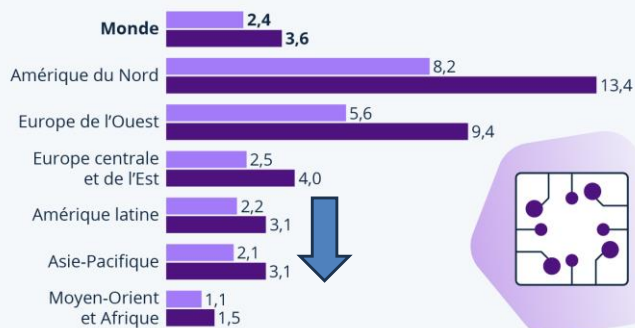
Ainsi, si le secteur numérique est en croissance (ce qui est toujours le cas), cela se traduit effectivement par une augmentation d'appareils et infrastructures numériques !

Le numérique pour découpler l'économie?

Toujours plus d'objets connectés dans les foyers

Évolution du nombre moyen d'appareils connectés à Internet par habitant, par région du monde

■ 2018 ■ 2023



Sources : Cisco, UNCTAD



statista



Ainsi, si le secteur numérique est en croissance (ce qui est toujours le cas), cela se traduit effectivement par une augmentation d'appareils et infrastructures numériques !

Le numérique pour découpler l'économie?

Découplage / croissance verte possible ?

« Pour résumer, dans l'immense partie des pays du monde, la croissance n'est pas verte (...) même dans les meilleurs cas, les réductions écologiques permises par la croissance « verte » sont minuscules. La croissance verte n'est qu'une légende ! »

(T. Parrique, économiste)

La croissance économique impliquera toujours une augmentation des pressions environnementales



Sources :

<https://www.seuil.com/ouvrage/ralentir-ou-perir-timothee-parrique/9782021508093> (pg 57)

<https://eeb.org/library/decoupling-debunked/>

Pour en savoir plus : <https://tseb.be/le-mythe-de-la-croissance-verte-et-les-limites-a-la-croissance/>

Le numérique pour découpler l'économie?

Si le secteur numérique croît, alors il pourrait en être de même pour ses pressions environnementales !



Tout virtualiser, vraiment souhaitable et salubre ? Pas sûr...

Pour résumer, si la croissance du numérique se traduit par une augmentation du nombre d'infrastructures et supports physiques, alors l'empreinte matérielle, énergétique, écologique du numérique est susceptible d'augmenter aussi !

Source : <https://greenly.earth/fr-fr/blog/actualites-ecologie/pollution-numerique>

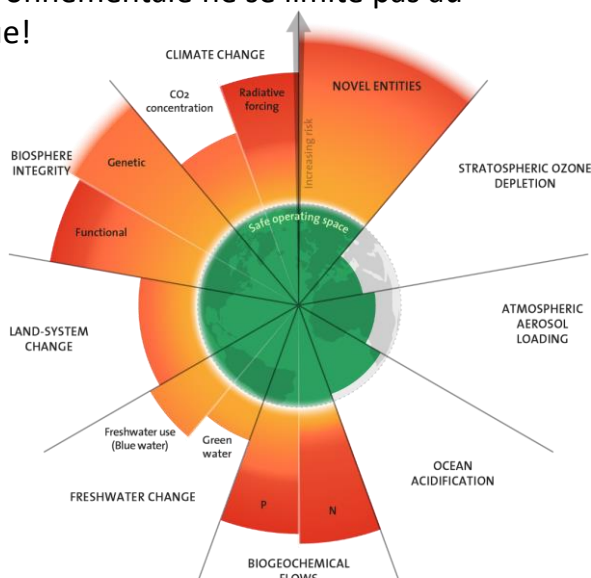
Partie 3 :

Pressions environnementales liées au numérique



Pressions environnementales liées au numérique

La crise écologique/environnementale ne se limite pas au réchauffement climatique!



Source : <https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html>

Pour en savoir plus : <https://tseb.be/a-t-on-depasse-les-limites-planetaires/>

Avant de nous intéresser plus en détail aux pressions environnementales liées au secteur du numérique, rappelons que la crise écologique ne se résume absolument pas au réchauffement climatique ! En réalité, il y a d'autres paramètres que le climat, définis par des seuils qui caractérisent l'intégrité du système Terre et ses conditions d'habitabilité. D'un point de vue général, on peut en distinguer 8 autres :

- La biodiversité ;
- La quantité de produits synthétiques/manufacturés qui se retrouvent dans les écosystèmes (plastiques, substances chimiques,...) ;
- L'eau douce ;
- L'acidification des océans ;
- L'état des sols et leur degré d'artificialisation ;
- La quantité d'aérosols dans l'atmosphère ;
- L'état de la couche d'ozone ;
- Les cycles biogéochimiques.

Pressions environnementales liées au numérique

La crise environnementale ne se limite pas au réchauffement climatique !

→ Pour garantir une planète vivable pour tous les humains, il faut respecter ces 9 limites

→ Pour l'instant, au moins 6 limites sur 9 sont dépassées !



Pour garantir une planète habitable pour les humains, il faudrait que l'intégralité de ces seuils soient respectés.

Or, sur les 9 limites recensées, nous avons déjà dépassé au moins 6 !

Enfin, il est un fait certain que le dépassement de ces limites soit causé par les activités humaines ! Ce n'est donc pas le fruit d'un changement naturel d'état de la planète !

Pressions environnementales liées au numérique

Première limite liée au numérique: le réchauffement climatique → **Limite dépassée !**

Le numérique représente 2 à 4% des émissions mondiales de gaz à effet de serre (+ de 7% vers 2030)

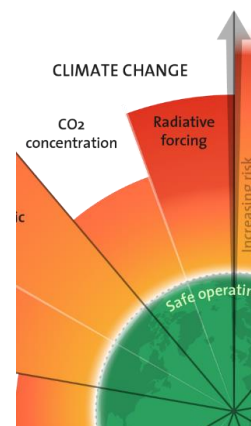
→ Chaque année, les Européens génèrent l'équivalent de 370000 vols allers-retours d'un avion entre Paris et New-York rien que via le numérique

→ Pour comparaison, l'aviation représentait 2,6% des émissions mondiales en 2018



Sources : <https://www.digitalwallonia.be/fr/publications/dossier-numerique-environnement-1/>

<https://www.carbone4.com/analyse-faq-aviation-climat>



Source : <https://greenly.earth/fr-fr/blog/actualites-ecologie/empreinte-carbone-numerique>

Voyons comment le numérique est impliqué dans le dépassement de ces limites.

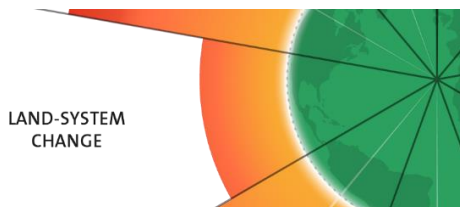
Pour commencer par le réchauffement climatique, le numérique représente aujourd'hui environ 4% des émissions mondiales de gaz à effet de serre, émissions elles-mêmes responsables du réchauffement climatique.

C'est autant voire plus que les émissions mondiales liées à l'aviation, et si le numérique européen représentait une flotte d'avions, il pèserait l'équivalent de 370 000 vols allers-retours entre Paris et New-York !

Ces émissions sont principalement dues à la fabrication des terminaux et à leur consommation d'électricité, mais aussi la consommation électrique des infrastructures réseau et centres de données !

Pressions environnementales liées au numérique

Seconde limite liée au numérique: les changements d'affectation (artificialisation et destruction) des sols → **Limite dépassée !**



- Beaucoup de métaux (rares) différents (des dizaines) pour fabriquer les terminaux et infrastructures
- Smartphone et PC : environ 40 métaux différents !



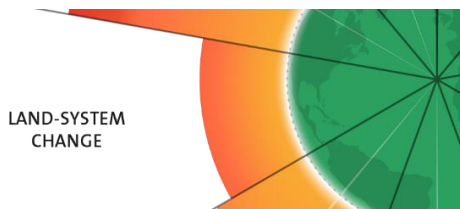
Sources : <https://www.canopee.org/faq/la-deforestation/pourquoi-l'exploitation-miniere-est-elle-cause-de-deforestation/>

Le numérique est aussi impliqué dans l'artificialisation et la destruction des sols.

En effet, comme on l'a vu, il faut beaucoup de matières premières (de métaux en particulier) pour fabriquer les terminaux et infrastructures du numérique. Rappelons qu'il faut une quarantaine de métaux différents pour produire un PC ou un smartphone, la plupart mélangés et disséminés en très petite quantité !

Pressions environnementales liées au numérique

Seconde limite liée au numérique: les changements d'affectation (artificialisation et destruction) des sols → **Limite dépassée !**



- Ces métaux proviennent de minerais (activités minières)
- 7% de la déforestation causée par les activités minières!
(10% en amazonie)



Sources : <https://www.canopee.org/faq/la-deforestation/pourquoi-l'exploitation-miniére-est-elle-cause-de-deforestation/>

Or, pour produire ces métaux nécessaires à la fabrication des outils du numérique, il faut extraire et traiter des minerais. Le numérique dépend donc intimement des activités minières !

Aujourd'hui, au niveau mondial, la mine seule est responsable de 7% de la déforestation !

De plus, 1/3 des terres émergées seraient impactées par les activités minières au niveau mondial et 10 à 15% de ces terres impactées sont des espaces protégés !

« L'industrie minière (uniquement prospection et exploitation des mines), ça représente aussi 8 à 10% de l'énergie mondiale et 4 à 7% des émissions mondiales de Gaz à Effet de Serre (donc on ne parle même pas des activités qu'il y a autour) (...) L'industrie minière, c'est le 1er producteur de déchets solides, liquides et gazeux tous secteurs industriels confondus » (Aurore Stéphant)

Sources : <https://www.youtube.com/watch?v=i8RMX8ODWQs&t=574s>

<https://www.youtube.com/watch?v=i8RMX8ODWQs&t=1310s>

<https://www.youtube.com/watch?v=7bh3Z78e68Q&t=139s>

Pour en savoir plus : <https://tseb.be/transition-energetique-et-metaux-rares-veritable-issue-ou-impasse-totale/>

Pressions environnementales liées au numérique

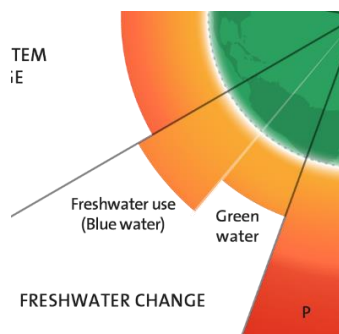
Troisième limite liée au numérique:

l'eau douce → **Limite dépassée !**

→ Matières premières pour produire des terminaux et infrastructures

→ Besoin de beaucoup de métaux (rares)

→ Production et recyclage des métaux demandent beaucoup d'eau

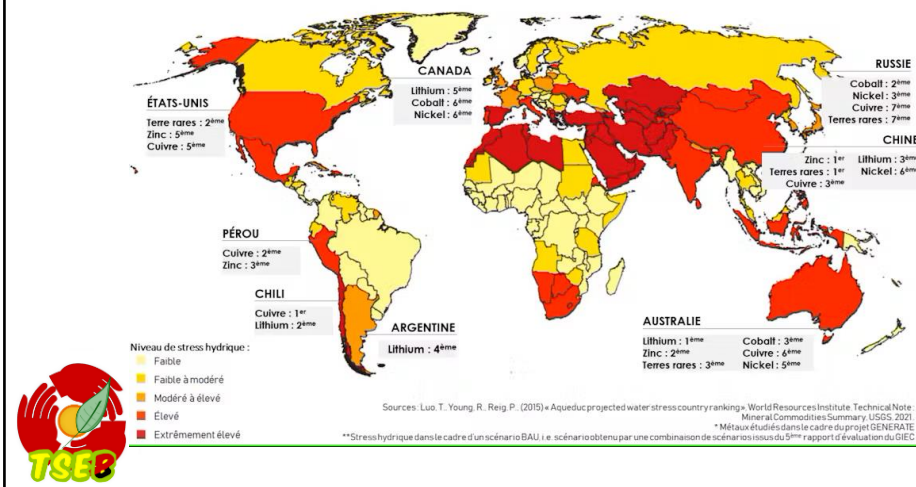


De par son lien étroit avec les activités minières, le numérique est aussi impliqué dans l'usage d'eau douce ! En effet, la mine est un grand consommateur d'eau !

Idem pour les composants électroniques qu'on arrive à recycler : cela demande beaucoup d'eau.

Pressions environnementales liées au numérique

Les mines, grandes consommatrices d'eau (notamment pour traiter les minerais), **situées principalement dans des zones à fort stress hydrique** (ce qui ne va pas s'arranger avec le réchauffement climatique) !



Malheureusement, il se trouve que les principaux sites de minerai métallique dans le monde sont implantés dans des zones à fort stress hydrique, où l'on doit commencer à arbitrer entre le fait d'extraire ces minerais pour produire des métaux, et le fait de pouvoir approvisionner les populations locales en eau ! Cela génère forcément des conflits sociaux et environnementaux catastrophiques !

Sources :

<https://www.la-croix.com/Actualite/Economie-Entreprises/Economie/Les-mines-le-nouveau-terrain-des-geants-de-l-eau-2014-04-11-1134782>

<https://www.youtube.com/watch?v=LXuE0mg6NBQ&t=1680s>

<https://www.iris-france.org/154681-les-pressions-sur-leau-face-ignoree-de-la-transition-energetique/>

Pour en savoir plus : <https://tseb.be/transition-energetique-et-metaux-rares-veritable-issu-ou-impasse-totale/>

« La principale victime de la mine, c'est l'eau (la mine génère des quantités considérables d'eau contaminée souterraine ou en surface), mais aussi les sols et l'air (poussières, émissions de gaz). »

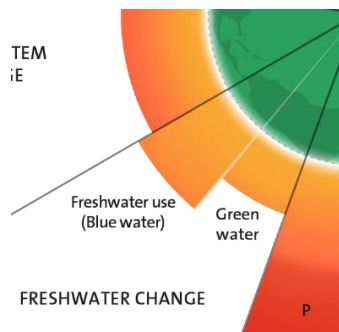
« Le secteur minier est également celui qui est à l'origine du plus de conflits socio-environnementaux et qui cristallise le plus les tensions, ainsi que du plus grand nombre de meurtres vis-à-vis des défenseurs des droits humains dans le monde (...) L'empreinte environnementale [et sociale] de cette production de métaux, elle est catastrophique à l'heure actuelle ! »

Pressions environnementales liées au numérique

Troisième limite liée au numérique:

l'eau douce → **Limite dépassée !**

- IA: Très consommatrice en eau!
- D'ici 2027, on estime que l'IA consommera 4,2 à 6,6 milliards de m³ d'eau (1/2 consommation annuelle du UK)
- Le data center de chez Google en Belgique (Saint-Ghislain) consomme l'équivalent de 10700 ménages wallons



Sources : <https://www.lecho.be/dossiers/intelligence-artificielle/l-ia-generative-va-t-elle-epuiser-les-reserves-d-eau-mondiales/10533740.html>

Pour donner un ordre de grandeur sur l'Intelligence artificielle, qui pour l'instant a le vent en poupe, d'ici 2027, la consommation d'eau qui lui sera imputable à l'échelle mondiale représentera la moitié de la consommation annuelle du Royaume-Uni !

Cela est dû au fait que de plus en plus d'eau est nécessaire pour refroidir les data centers, qui sont quant à eux de plus en plus gigantesques... Le plus grand DC actuel a une superficie équivalente à 223 terrains de football !

Pour donner un autre ordre de grandeur, le DC de chez Google implanté en Belgique (Saint-Ghislain) depuis 2007, consomme en eau l'équivalent de 10700 ménages wallons !

Sources :

<https://www.lecho.be/entreprises/technologie/a-mons-google-consomme-un-million-de-metres-cubes-d-eau-par-an-pour-son-data-center/10482351.html>

<https://www.tomshardware.fr/diapo-classement-des-plus-gros-data-center-de-la-planete/>

Pressions environnementales liées au numérique

Troisième limite liée au numérique: l'eau douce → **Limite dépassée !**



Figure 10 : Accidents majeurs sur le site minier de Norilsk, Russie ; (a) Pollution de la rivière *Daldykan* en septembre 2016 suite au débordement d'un parc à résidus miniers (© Alex Kokcharov · Twitter) ; (b)



Au-delà de la consommation d'eau, le secteur minier émet de grandes quantités de déchets, qui peuvent notamment polluer les lacs et nappes phréatiques !

Ici, on peut voir ce qu'a provoqué le débordement d'un parc à résidus miniers au niveau de la rivière Daldykan à Norilsk, en Russie.

Articles sur les impacts de la mine sur l'eau :

https://www.systext.org/sites/all/documents/RP_SystExt_Controverses-Mine_VOLET-1_Nov2021_vf.pdf

<https://www.safewater.org/french-fact-sheets/2017/3/9/exploitation-mini%C3%A8re-pollution>

<https://outremers360.com/economie/nouvelle-caledonie-vale-prolonge-ses-discussions-avec-un-groupe-australien-pour-vendre-son-usine-de-nickel>

Pressions environnementales liées au numérique

Quatrième limite liée au numérique: les entités nouvelles (déchets) → **Limite dépassée !**

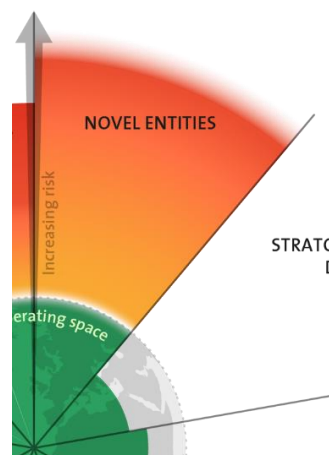
→ La mine, premier producteur de déchets solides/liquides/gazeux

→ Déchets numériques très peu recyclés

→ En 2013, l'ONU estimait que 75% des déchets numériques échappaient au recyclage



Sources : <https://www.greenpeace.fr/la-pollution-numerique/>



La dernière limite directement impactée par le numérique est la production de déchets. En effet, **la mine étant le plus grand producteur mondial de déchets à la fois solides, liquides et gazeux**, la dépendance du numérique vis-à-vis des activités minières fait qu'une partie des pollutions minières liées à l'extraction des matières premières, est imputable au numérique.

De plus, la plupart des appareils numériques sont relativement peu recyclés : en 2013, l'ONU estimait que 75% des déchets numériques échappaient au recyclage (c'est-à-dire qu'ils finissaient directement leur course dans l'environnement avant même d'être traités). Aujourd'hui, moins de 20% des déchets d'équipements électriques et électroniques sont collectés et recyclés dans le monde.

Sources :

<https://unctad.org/fr/press-material/onu-commerce-et-developpement-preconise-des-strategies-durables-et-equitables-pour>

<https://idverde.fr/actualites/recyclage-que-deviennent-nos-appareils-electriques-et-numeriques-usagers/>

<https://www.strategie.gouv.fr/publications/consommation-de-metaux-numerique-un-secteur-loin-detre-dematerialise>

<https://fr.statista.com/infographie/20134/dechets-electroniques-kilo-kg-par-habitant/>

<https://www.carbone4.com/analyse-risques-matieres-premieres-numerique>

<https://learninglab.gitlabpages.inria.fr/mooc-impacts-num/mooc-impacts-num-ressources/Partie2/FichesConcept/FC2.2.1-EmpreinteEnvironnementaleTerminal-MoocImpactNum.html>

Pressions environnementales liées au numérique

Quatrième limite liée au numérique: les entités nouvelles (déchets) → **Limite dépassée !**



Barrage à résidus de la mine nickel-cobalt
sur le plateau de Goro, en Nouvelle-Calédonie



Il y a de nombreuses techniques pour stocker les déchets miniers. L'une des plus répandues consiste en la fabrication d'un barrage à résidus en aval de l'exploitation minière. Les déchets miniers s'y déversent à mesure que les minerais sont extraits et séparés des rebus (tout ce qui est extrait mais non valorisable).

On peut voir ici le barrage à rebus de la mine nickel-cobalt située sur le plateau de Goro en Nouvelle-Calédonie.

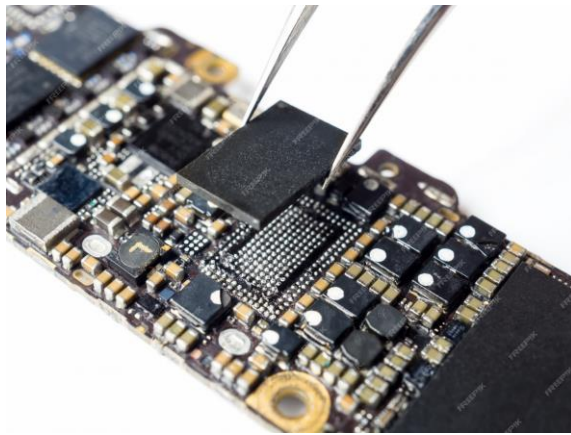
Source :

<https://www.youtube.com/watch?v=LXuE0mg6NBQ&t=1680s>

Pressions environnementales liées au numérique

Quatrième limite liée au numérique: les entités nouvelles → **Limite dépassée !**

→ Recyclage complexe dû au design (alliages, très petits composants)



Pourquoi un niveau de recyclage aussi bas ?

Les technologies du numérique regorgent de composants relativement petits, donc difficiles à séparer et récupérer du reste. De plus, ces composants contiennent souvent des alliages, c'est-à-dire des métaux mélangés pour booster certaines propriétés. Ainsi mélangés, la séparation de ces métaux est complexe et très énergivore !

Pressions environnementales liées au numérique

→ Numérique directement impliqué dans 4 des 6 limites planétaires dépassées (sur 9)

→ Pressions environnementales essentiellement liées aux opérations minières nécessaires à la fabrication des métaux, surtout utilisés dans les composants des appareils/terminaux



Pour résumer, le numérique est impliqué dans au moins 4 des 9 limites planétaires !

Comme on a pu le voir, **l'essentiel des pressions environnementales liées au numérique proviennent des opérations minières nécessaires à la production de métaux.**

Ces métaux sont surtout utilisés dans les appareils et terminaux, qui sont des consommables à faible durée de vie !

Par ailleurs, **la production de terminaux nécessite beaucoup de métaux différents dispersés en petite quantité. La grande majorité de ces métaux sont rares, c'est-à-dire peu abondants** (on ne peut pas en produire autant qu'on le voudrait).

Pressions environnementales liées au numérique

Plus un métal est rare, plus il est globalement difficile à produire et plus sa fabrication pollue !

Même si les métaux rares sont utilisés en faible quantité, leur empreinte écologique est loin d'être négligeable !

- l'empreinte écologique des métaux abondants est conditionnée par leur volume de production
- L'empreinte écologique des métaux rares est pilotée par leur accessibilité réduite (requiert ⚡ ⚡ NRJ et eau par tonne extraite)

Dans le cas du numérique, c'est surtout la rareté des métaux utilisés (plus que le volume total de production métallique) qui pèse !



Ainsi, il se trouve que le numérique **et en particulier les terminaux**, dépendent surtout des métaux rares (ils dépendent aussi de métaux moins rares comme le fer et le cuivre, mais pèsent encore peu dans leur volume total de production).

Plus un métal est rare (difficile d'accès), plus il est difficile à produire et plus sa production a une empreinte écologique importante ! Dans ce cas, il ne faut pas nécessairement de grandes quantités de métaux rares pour exercer des pressions environnementales conséquentes !

Au contraire, moins il est rare (par exemple le Fer), plus il est généralement facile à extraire et produire et plus il est (en général) abondamment utilisé. C'est donc son volume de production qui va avant tout conditionner son empreinte environnementale.

En conclusion, même si les volumes de production des différents métaux induits par les terminaux du numérique restent faibles, l'empreinte écologique du numérique n'est pas à négliger !

Source :

<https://ecoinfo.cnrs.fr/2014/04/11/les-materiaux-dans-les-equipements-terminaux/>

Pressions environnementales liées au numérique

→ Garder à l'œil également au niveau des infrastructures réseau et Data centers (empreinte surtout à l'utilisation)

- Energie et GES : env. 22% réseaux, 18% data centers
- Consommation d'électricité : 40% réseaux, 30% data centers
- Empreinte matière : 16% réseaux, 8% data centers
- Part sur l'eau douce réseaux et data centers pour l'instant négligeable (qq. % empreinte tot. numérique) MAIS (IA et objets connectés ↗ => data centers ↗ ↗ => usage eau ↗ ↗)



Enfin, l'empreinte écologique du numérique ne se limite pas à la production des terminaux. Il faut aussi garder un œil sur l'empreinte écologique des infrastructures réseau et data centers ! **Cette empreinte est essentiellement à la consommation et peu liée à la fabrication de ces infrastructures.** Mis ensemble, les DC et réseaux représentent :

- 1/5 des émissions de GES du numérique
- 2/3 de la consommation électrique du numérique
- ¼ de la consommation matières
- Comme on l'a vu précédemment, l'empreinte sur l'eau des DC est en croissance et cette croissance va s'accélérer avec l'avènement de l'IA et des objets connectés !

Sources :

<https://greenly.earth/fr-fr/blog/actualites-ecologie/empreinte-carbone-numerique>

<https://www.arcep.fr/la-regulation/grands-dossiers-thematiques-transverses/lempreinte-environnementale-du-numerique.html>

<https://www.greenit.fr/etude-empreinte-environnementale-du-numerique-mondial/>

Pressions environnementales liées au numérique

Métaux nécessaires à la fabrication des équipements numériques
: **ressources finies (nous n'en disposerons pas éternellement) !**

(et comme on l'a vu, recyclage limité...)

« En nombre d'équipements, la taille de l'univers numérique va quintupler entre 2010 et 2025. Cette expansion se traduit par 2 à 3 fois plus d'impacts environnementaux en 15 ans » (GreenIT)

Augmentation des déchets, mais aussi **augmentation de la consommation des matières premières !**



Cette augmentation de l'empreinte écologique du numérique, est intimement liée à l'expansion de la taille du secteur numérique (annoncé : x5 entre 2010 et 2025), et notamment de la croissance du nombre d'appareils et infrastructures numériques, qui a un impact sur la quantité de matières premières produites !

En d'autres termes, croissance du numérique = conso croissante de matières premières = augmentation des pressions environnementales du numérique !

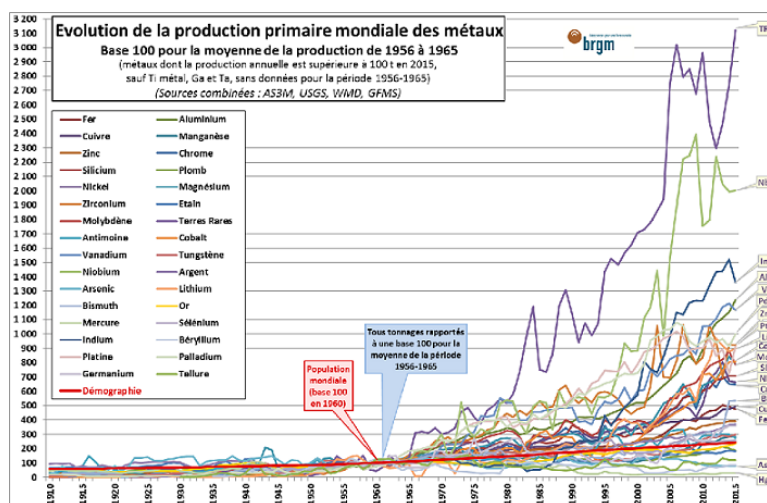
Encore une fois : le numérique **EST TOUT SAUF IMMATÉRIEL !!!!**

A toutes fins utiles, rappelons que ces matières premières sont des ressources FINIES : **il n'en existe pas de façon illimitée sur Terre !**

Source :

<https://www.greenit.fr/etude-empreinte-environnementale-du-numerique-mondial/#volution-de-2010--2025>

Pressions environnementales liées au numérique



On pourrait consommer dans les 30 prochaines années, autant de métaux que de l'Antiquité jusqu'à nos jours !

Cette dynamique de croissance du numérique s'inscrit déjà dans un contexte d'explosion de la demande en métaux, évoluant globalement de façon exponentielle !

la consommation de cuivre a été multipliée par 5 entre la fin des années 1950 et 2015 (celle de l'aluminium par plus de 10 !), et « on assiste depuis les années 1960 à une croissance généralisée des besoins en métaux dans le monde, cette croissance étant bien plus rapide que celle de la population mondiale » !

« Entre 1900 et 2009, la population a augmenté par 4 mais la consommation de métaux a été multipliée par 30 »

Lien utile : <https://gauthierroussilhe.com/articles/comprendre-la-consommation-de-metaux-dans-le-numerique>

Sources :

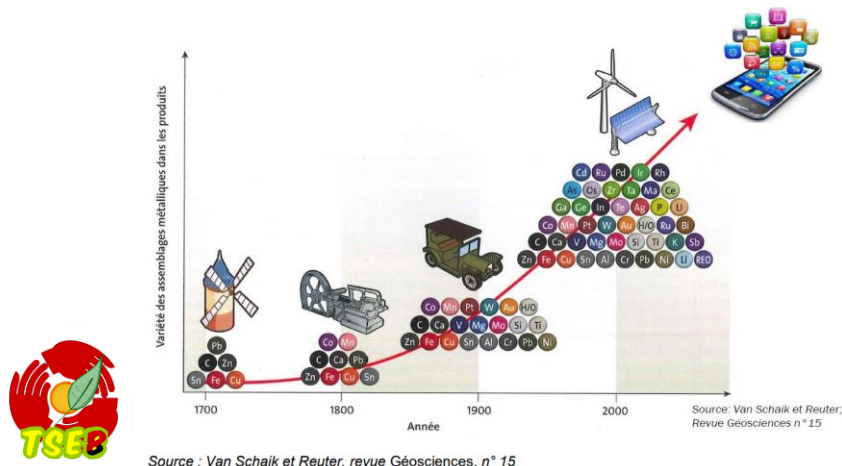
<https://tseb.be/transition-energetique-et-metaux-rares-veritable-issue-ou-impasse-totale/>

<https://www.youtube.com/watch?v=LXuE0mg6NBQ&t=2843s>

Pressions environnementales liées au numérique

- fin du XIXe siècle : économie reposant sur moins de 10 métaux
- 21^e siècle : économie sollicitant une soixantaine de métaux

Figure 1 – Illustration de l'augmentation du nombre de métaux utilisés selon l'évolution technologique



Croissance en volume/quantité... Mais aussi croissance du nombre de métaux différents consommés ! **A l'heure actuelle, nous consommons plus de 60 métaux différents au niveau mondial, soit la quasi-totalité du tableau de Mendeleïev ! Et jusqu'à preuve du contraire, nous n'avons pas encore découvert d'autres métaux miraculeux !**

Source : <https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/fs-2020-dt-consommation-metaux-du-numerique-juin.pdf>

Lien utile : <https://gauthierroussilhe.com/articles/comprendre-la-consommation-de-metaux-dans-le-numerique>

Pressions environnementales liées au numérique

Les concentrations diminuent : exemple du cuivre (en 1 siècle, division par 3 de la teneur moyenne des gisements)

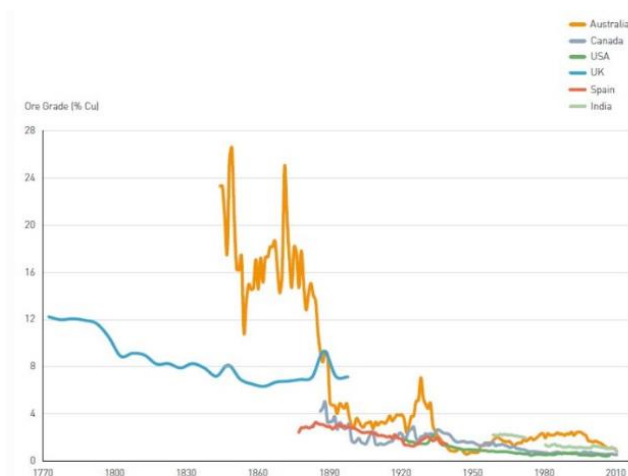


Fig. 2 Évolution de la concentration du minéral de cuivre dans divers pays [1];

Parallèlement à cette consommation exponentielle, la teneur en minerais diminue pour certains métaux stratégiques (cuivre, nickel,...) et les nouveaux gisements seront toujours plus difficiles d'accès, un peu comme ce que l'on peut observer avec les ressources fossiles.

On peut notamment constater que « La concentration du cuivre était autour de 1.7% – 1.8% il y a une centaine d'années. Aujourd'hui on est autour de 0.5% – 0.6% [0.6g de cuivre pour 100 kg de terre/roche extraite !]. En l'espace de 100 ans, on a donc diminué la concentration par plus de 2 !

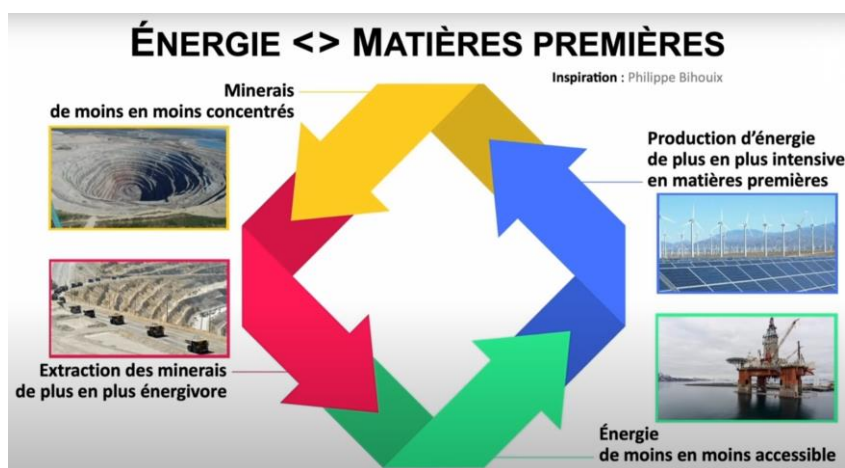
Cela signifie que quoi qu'on fasse, à mesure que nous aurons épuisé les gisements les plus accessibles, il faudra de plus en plus de ressources pour exploiter de nouveaux gisements !

Est-il sincèrement raisonnable de laisser le numérique croître sans limite ?

Source :

<https://ecoinfo.cnrs.fr/2014/03/11/1-epuisement-des-ressources-naturelles/>

Pressions environnementales liées au numérique



Pour résumer :

Si la consommation d'énergie pour l'extraction augmente (et elle ne cessera visiblement pas de le faire à mesure que nous consommerons toujours plus de métaux), l'énergie sera de moins en moins disponible pour le reste de l'économie, ce qui nécessitera le développement de nouvelles infrastructures énergétiques elles aussi de plus en plus difficiles à produire (puisqu'il sera toujours plus difficile de produire de nouvelles matières premières) !

Pressions environnementales liées au numérique

« En plus de cette augmentation de notre consommation d'équipements numériques, le numérique est un accélérateur du temps et de l'économie, il nous pousse à consommer plus » (Frédéric Bordage)



**Dynamique d'accélération des pressions environnementales,
liée à une multiplication des usages numériques !**



Source :

https://www.educode.be/doku.php/numerique_et_enjeux_societaux/impacts_du_numerique_mondial

Partie 4 : L'optimisation pour réduire l'impact environnemental?



L'optimisation pour réduire l'impact?

« Sur la question du charbon » (1865):

Plus on optimise les machines à charbon...

Plus on utilise de charbon!

→ Paradoxe de Jevons (= effet rebond)



William Stanley Jevons



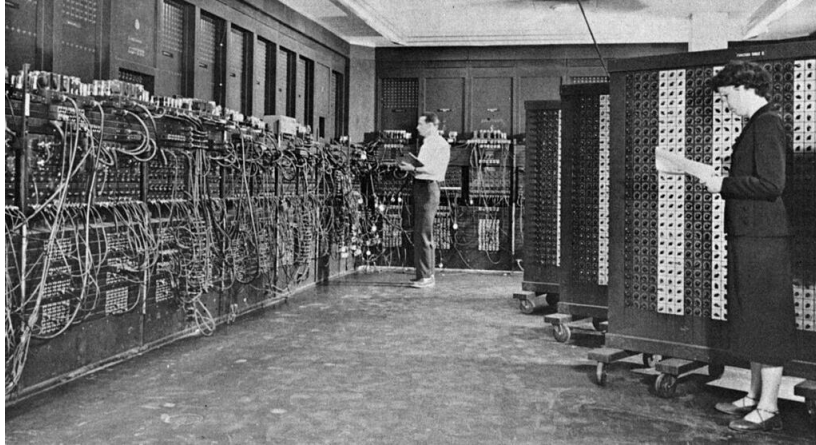
Sources :

<https://bonpote.com/propos-5-paradoxe-de-jevons-et-effet-rebond/>

https://fr.wikipedia.org/wiki/Paradoxe_de_Jevons

L'optimisation pour réduire l'impact?

Les premiers ordinateurs (exemple ENIAC):



139m², 150kW de consommation...

Pas pratique à prendre en cours pour prendre des notes!

Source : <https://fr.wikipedia.org/wiki/ENIAC>

Numérique : de quoi parle-t-on ?

Aujourd'hui, après optimisation:

- Environ 200W → 0,1% de la consommation de l'ENIAC
- 2/3 des personnes ont accès à internet (chiffre 2022)
- 34 milliards d'équipements informatiques
- Consommation mondiale d'électricité multipliée par plus de 10 millions!

→ L'optimisation a permis de faire exploser le nombre d'équipements (et leur consommation)



Sources : https://www.lemonde.fr/pixels/article/2022/09/17/en-2022-un-tiers-de-la-population-mondiale-n-a-toujours-pas-acces-a-internet_6142058_4408996.html
<https://www.greenit.fr/etude-empreinte-environnementale-du-numerique-mondial/>
https://www.durable.uliege.be/cms/c_17824224/fr/durable-quel-est-l-impact-environnemental-du-numerique

Sources supplémentaires :

https://www.lemonde.fr/pixels/article/2022/09/17/en-2022-un-tiers-de-la-population-mondiale-n-a-toujours-pas-acces-a-internet_6142058_4408996.html

<https://hardware.developpez.com/actu/313991/La-base-installee-des-appareils-informatiques-dans-le-monde-atteindra-6-2-milliards-d-unites-en-2021-poussee-par-le-travail-a-distance-et-hybride-selon-les-previsions-de-Gartner/>

<https://www.wwf.fr/agir-au-quotidien/numerique>

<https://wearesocial.com/fr/blog/2023/01/digital-report-levolution-du-numerique-en-2023/>

Effets rebond et accélération, quels risques ?

Autre exemple: la 5G

→ Amélioration de l'efficacité

→ Création de nouveaux besoins

- Appareils connectés (IoT)
- Voitures autonomes

→ Augmentation de la consommation totale



Sources :

https://i1.wp.com/www.lemonde.fr/blog/fredericjoignot/wp-content/uploads/sites/7/2016/01/Industrial_robots-chine-940x619.jpg?fit=940%2C619&ssl=1

<https://media.lesechos.com/api/v1/images/view/653a4cfe51a0607f6f18420f/1280x720-webp/352689-intelligence-artificielle-vers-l-entreprise-augmentee-web-tete-0901733887588.webp>

https://fr.wikipedia.org/wiki/V%C3%A9hicule_autonome

Exemples d'effets rebond :

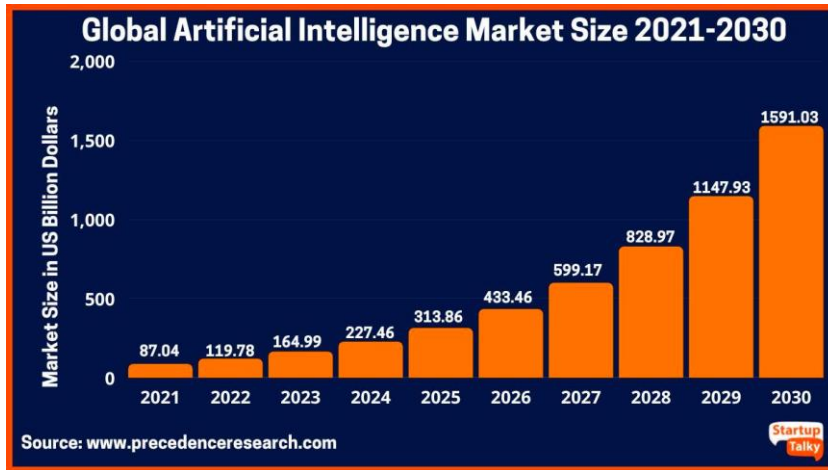
https://www.sciencesetavenir.fr/high-tech/intelligence-artificielle/ia-generative-sa-surconsommation-energetique-par-rapport-a-une-simple-requete-internet-a-ete-chiffree-et-elle-est-considerable_180779

<https://lejournel.cnr.fr/articles/la-5g-est-elle-soluble-dans-la-sobriete>

<https://fr.statista.com/infographie/23265/vitesse-fiable-de-telechargement-de-la-5g-comparee-a-la-4g/>

<https://www.youtube.com/watch?v=FcCN8vFPMz4&list=PLYVZKFwvg145GBm-5a2JPq6a1aY2UUyLc&t=6525s>

L'optimisation pour réduire l'impact?



→ Il va en falloir de l'optimisation pour compenser cette croissance!

L'optimisation pour réduire l'impact?

Qu'en dit ChatGPT?

Tu dois arbitrer un débat entre une personne pour et une personne contre l'IA. Une question du débat porte sur l'impact de l'IA sur l'environnement. Il faut un gagnant au débat. D'après toi, qui aura les arguments les plus convaincants?

En l'état actuel des choses, **le côté contre** pourrait probablement l'emporter dans un débat sur ce sujet, car les problèmes liés à la consommation d'énergie et à la gestion des déchets électroniques sont des enjeux cruciaux et immédiats. Toutefois, les technologies évoluent, et une gestion responsable de l'IA pourrait inverser cette dynamique dans l'avenir.



L'optimisation pour réduire l'impact?

Qu'en dit ChatGPT?

Après avoir testé plusieurs contextes, les conclusions sont généralement:

- L'IA apporte des gains pour l'instant hypothétiques
- L'IA fera très probablement partie du problème
- **Il faut réguler l'IA pour éviter les dérives**



L'optimisation pour réduire l'impact?

Jean-Marc Jancovici:

« L'IA – globalement – ne baissera donc pas les émissions sur Terre « juste parce qu'elle existe ». **Ce qui baissera les émissions, c'est de décider de le faire**, et à ce moment les acteurs du digital occuperont au mieux l'espace que la collectivité leur accordera »



Source : https://fr.linkedin.com/posts/jean-marc-jancovici_lintelligence-artificielle-va-t-elle-sauver-activity-7268940126662135808-B7u0

Conclusion



Conclusion

- 1) Le secteur du numérique, par sa croissance, implique une croissance des pressions exercées sur l'environnement
- 2) L'intérêt majeur actuel envers le numérique est un hypothétique découplage entre économie et émissions de CO2
- 3) Cela dit, le secteur du numérique implique une forte demande en matériaux divers



Conclusion

- 4) Le secteur du numérique est impliqué dans 4 des 9 limites planétaires, toutes les 4 dépassées
- 5) Les optimisations permises par l'IA et le numérique ne balanceront (probablement) pas l'augmentation de la pression environnementale liée à la croissance du secteur



Conclusion

Notre approche:

- Le problème est toujours le même: concilier croissance économique et décroissance des pressions environnementales
- La croissance des pressions environnementales, c'est de la physique tandis que la croissance économique, c'est une convention sociale
- Il semble plus simple de changer une convention sociale que les lois de la physique



Conclusion

Notre approche:

- Miser sur des solutions technologiques est contre-productif, alors que nous pourrions choisir collectivement de modifier la convention sociale qui nous envoie droit dans le mur
- Tant que nous n'aurons pas choisi de changer, rien ne changera
- Dans le numérique comme le reste, choisissons la sobriété!





Merci

Arnaud Claes et Antoine Defroidmont, Ing.

info@tseb.be