

L'impact écologique du numérique

Quelques points de repères historiques

- 1969 : réels débuts de l'ère du numérique avec le réseau américain **Arpanet**, reliant entre eux des ordinateurs d'universités de Californie et de l'Utah
- 1971 : envoi du 1^{er} e-mail sur Arpanet --> entrée dans l'ère de l'immédiateté. Le réseau se déploie ensuite au cours des années 70 aux E.U., puis en Europe

1969



1974



- 1983 : élaboration du protocole TCP/IP, qui permet aux ordinateurs du monde entier de communiquer entre eux --> c'est la naissance d'**internet**

Bienvenue dans le monde numérique

Des chiffres qui donnent le tournis :

- 4,6 milliards : nombre d'utilisateurs du numérique dans le monde
- 34 milliards : nombre mondial d'interfaces numériques
- 800 millions d'équipements réseaux (routeurs, box, ADSL...)
- 15 milliards d'objets connectés en 2018, 46 milliards prévus pour 2030
- En 1 heure :
 - 8 à 10 milliards de mails échangés (hors spams)
 - 180 millions de recherches Google
- 15 000 km : distance moyenne parcourue par une donnée numérique (mail, téléchargement, vidéo, requête...)
- 9 : nombre d'équipements numériques par personne en 2021, en Europe occidentale (5 en 2016)
- 75% : part des Français qui ont un smartphone (98% pour les 18-24 ans)
- 18h : temps moyens passé par semaine sur internet, pour les 90% de Français équipés

Le numérique mobilise une part croissante des ressources terrestres :

- 41 % de l'antimoine (ignifugation)
- 70 % du gallium (circuits intégrés)
- 60 % de l'indium (écrans, notamment tactiles)
- 88% du terbium (aimants et éclairage)

A noter que le rejet des produits chimiques nécessaires à l'extraction de ces métaux rares a un impact sur la qualité de l'eau, et participe à la pollution largement invisible générée par le numérique.

Exemple pour les téléphones, en nombre de matières premières utilisées :

- vieux téléphone à cadran circulaire des années 60 : **10**
- téléphone plus sophistiqué des années 90 : **29**
- smartphone actuel (malgré sa taille bien plus réduite) : **54**

==> Le numérique a fait exploser notre empreinte matière.

Il ne suffit pas d'être « bas-carbone » pour être écologique, il faut aussi être « basses-ressources ».

Le numérique : avantages/inconvénients

- Avantages :
 - Gain de temps
 - Réduction des déplacements
 - Facilite la communication
 - Accès facile et rapide à de nombreux services
 - Démocratise et facilite l'accès au savoir
 - Gestion plus efficace des habitations, des villes, ...
- Inconvénients :
 - Destruction d'emplois dans certains secteurs
 - Consommation accrue d'électricité et d'autres ressources (minéraux...)
 - Multiplication des équipements
 - Création de comportements addictifs, avec risque de désocialisation
 - Entraîne un abus d'écrans
 - Atteintes à la vie privée (et donc à la démocratie)

Virtualisation du monde : le malentendu

Monde virtuel, immatériel, « cloud » (nuage) --> donne une impression d'évanescence, d'absence de contraintes physiques ou d'impact matériel sur le monde réel.

Spotify et Deezer ne vendent pas des disques, mais de la musique. On propose de la mobilité plutôt que des voitures, des services d'impression plutôt que des photocopieuses.

Mais la réalité est toute autre, l'empreinte écologique (énergie, matériaux, eau) de l'industrie numérique mondiale est très importante : ≈ 3 fois celle de la France. Et elle est en croissance rapide. En 2025, elle :

- mobilisera 20% de l'électricité produite dans le monde
- rejettera 7 à 8% des émissions de GES, soit approximativement le niveau de la viande bovine ou de la voiture individuelle



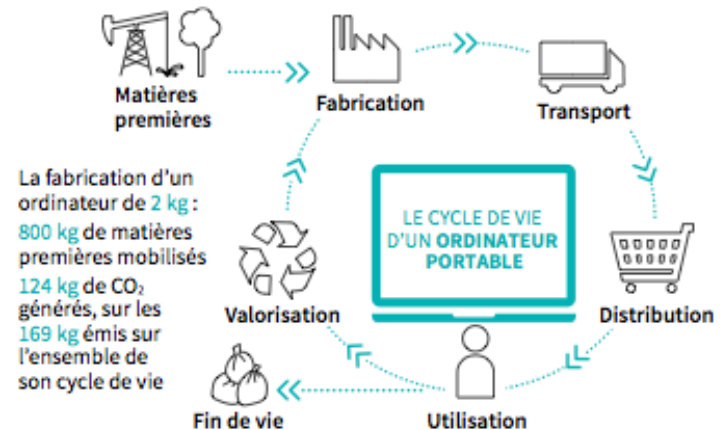
Les aspects bien matériels du numérique

Le **MIPS** (Material input per service unit), ou « **sac à dos écologique** », est la quantité de ressources nécessaire à la fabrication d'un produit ou d'un service. Le MIPS est bas pour les produits usuels, mais il grimpe dès qu'une technologie est impliquée.

- MIPS d'un ordinateur portable : 400

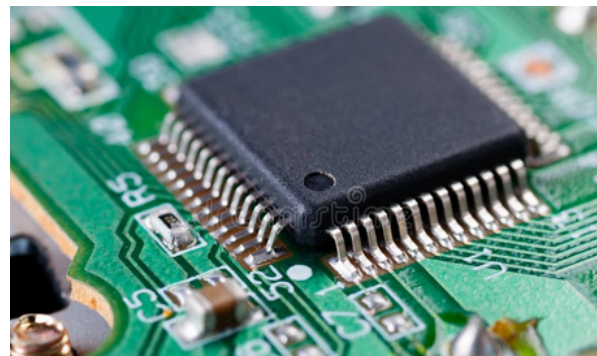
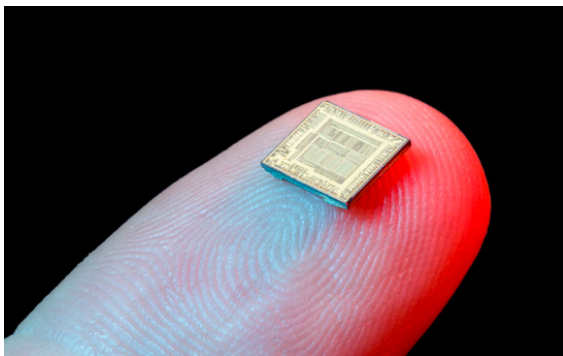


LE CYCLE DE VIE D'UN ORDINATEUR



- MIPS d'un smartphone : 1200 --> un smartphone pesant 150 g aura nécessité 180 kg de ressources (combustibles, minéraux, produits chimiques)

- MIPS d'une puce électronique : 16 000 !! (\approx 60 matières premières).



- Les puces électroniques sont au cœur d'un immense gâchis environnemental. Pour rendre nos téléphones plus performants, il a fallu démultiplier leur puissance, sans pour autant augmenter leur taille (un simple smartphone est plus puissant que les meilleurs ordinateurs d'il y a 30 ans).

- Les puces électroniques sont le symbole de la mondialisation, et de l'effroyable consommation d'énergie qui va avec : les 500 étapes de la chaîne de fabrication d'un circuit intégré vont faire intervenir des milliers de sous-traitants dans des dizaines de pays à travers le monde.

- La seule extraction du silicium rejette pas moins de 280 kg de produits chimiques pour 1kg de silicium produit.

- Les quantités d'eau (potable) nécessaire sont également énormes, notamment pour le nettoyage répété des plaques.

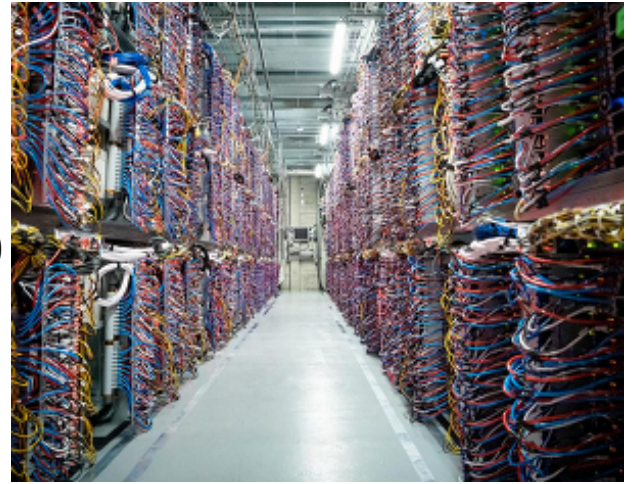
Les aspects bien matériels du numérique

Les datacenters, ou centres de données ou fermes de données

- Infrastructures constituées d'ordinateurs en réseau et d'espaces de stockage
- Lieux de transit, de stockage et de traitement de l'information
- Ce sont les rouages de base essentiels de l'ère numérique. Chaque jour, nous en mobilisons en moyenne une centaine, répartis dans une dizaine de pays différents
- Ce sont souvent des bâtiments quelconques ou des entrepôts. Mais comme ils deviennent toujours plus volumineux, ils sont de plus en plus relégués en périphérie des villes.
- Certains sont gigantesques, comme celui de Facebook à Primeville dans l'Orégon

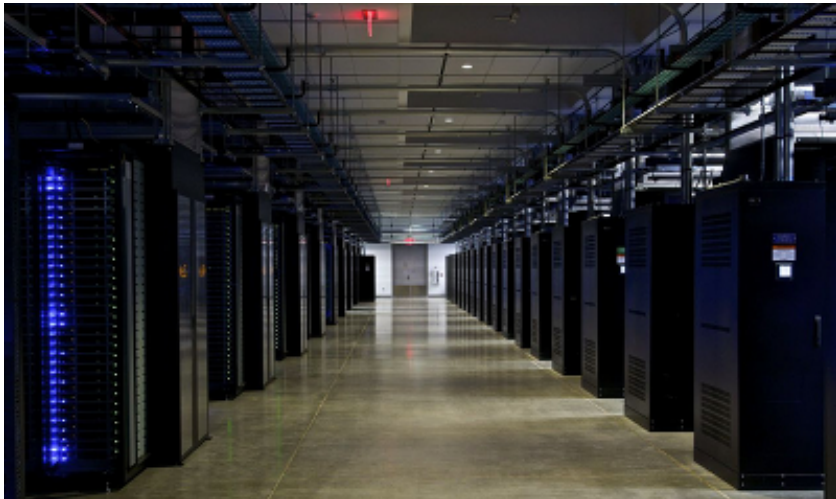


- Combien de centres de données dans le monde ?
 - < 500 m² : ≈ 3 millions
 - de taille intermédiaire (500 à 2000 m²) : 85 000
 - gros datacenters (plusieurs milliers de m²) : 10 000
 - datacenters géants (≥ 1 ha) : 500



- Pourquoi tous ces centres de données ?

Pour faire face au déluge quotidien de données : 5 exaoctets/jour, soit l'équivalent de toutes les données produites depuis le début de l'informatique jusqu'en 2003.



Le MareNostrum à Barcelonne



- Avec l'arrivée des objets connectés à la 5G, cette quantité de données va croître de façon exponentielle

**==> L'humanité est déjà en train de se noyer dans un océan de données.
Et ce n'est que le début. Le vrai tsunami est encore à venir...**

- Les données personnelles sont au centre des enjeux :
 - > elles sont monnayables aux annonceurs en vue de publicités ciblées
 - > pour aspirer davantage de données, on offre des services gratuits en échange de données
 - > le corollaire de la gratuité est une consommation accrue d'internet
 - > et donc une inflation des données.
 - Un des principes intangible d'internet est la continuité de service.
Une panne d'internet peut avoir d'énormes conséquences (ex : Google en 2016 – Heathrow en 2017 - Gmail en 2019)
Par ailleurs, quels que soient les enjeux, essentiels ou futiles, l'internaute ne tolère plus d'attendre. Et cela ne fera que s'amplifier avec les voitures connectées, les robots-traders, le e-commerce.
- ==> Pour un centre de données, l'engagement c'est : « toujours en fonction »**

- Pour tendre vers cette disponibilité absolue, les hébergeurs multiplient les précautions :
 - redondance des réseaux de distribution d'énergie (groupes électrogènes, grandes salles remplies de batteries au plomb...)
 - dédoublement des centre de données (la messagerie Gmail par ex. est dupliquée 6 fois) et serveurs zombies
 - surdimensionnement des infrastructures pour faire face aux pics de traficTout cela entraîne un énorme gaspillage d'électricité, qui peut aller jusqu'à 90% de l'électricité consommée pour des datacenter peu utilisés.
Or pour l'heure, les énergies fossiles, et notamment le charbon, sont les principales sources de production d'électricité dans le monde...



Le coût écologique pour avoir accès à tout, tout le temps et tout de suite est très lourd

- Les centres de données sont parmi les plus gros consommateurs d'électricité d'une agglomération :
 - 1/3 de l'électricité du Grand Paris dans un avenir proche
 - Les besoins d'Amazon Web Services (≈ 150 MW) sont ceux d'une ville de plusieurs millions d'habitants
- Un datacenter de taille moyenne peut consommer jusqu'à 600 000 m³ d'eau
 - source de conflits pour l'eau dans l'avenir (ex : datacenter de Meta à Talavera, en Espagne - 2023)
- Près de la moitié de l'énergie consommée dans un datacenter l'est pour son système de refroidissement, la température idéale pour un bon fonctionnement se situant **entre 20 et 27°C** (certains composants peuvent atteindre 60°)
- Par ailleurs, les systèmes de production de froid des datacenters consomment beaucoup de gaz fluorés, dont le pouvoir réchauffant est colossal : ≈ 2000 fois supérieur à celui du CO₂

Pour faire face à ce problème de refroidissement, et verdir leur image, les géants du numérique se tournent vers le Grand Nord (froid, énergie « verte » et bon marché des nombreux barrages hydroélectriques) et les mers froides

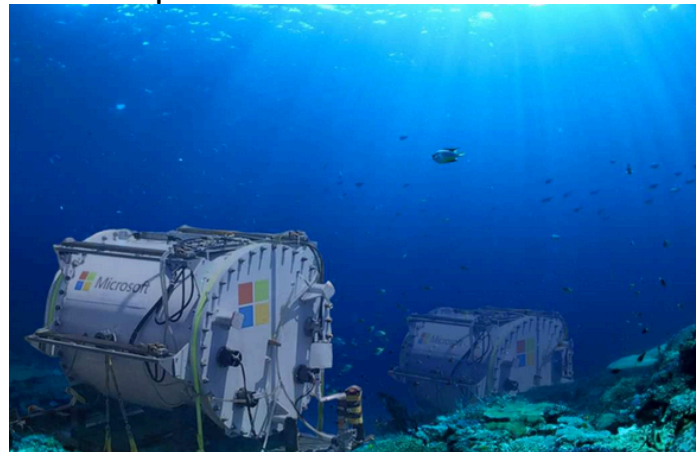
Datacenter de Facebook à Lulea, en Suède, à 100 km du cercle arctique



Datacenter en Laponie



Datacenter de Microsoft, immergé à 40m de profondeur au Nord de l'Ecosse



Déchets électroniques générés par le numérique

- Quand ils sont éliminés de façon inadéquate (incinérés ou jetés dans des décharges au lieu d'être recyclés), des substances toxiques comme le plomb, le cadmium ou le mercure, qui entrent couramment dans la composition des produits électroniques, peuvent contaminer le sol, l'eau et l'air, et sont dangereux pour la santé de ceux qui les manipulent.



- Mais le recyclage des ordinateurs et téléphones est complexe et onéreux, à cause du grand nombre de matériaux présents dans ces équipements.

- Au niveau mondial, le taux de recyclage des déchets électroniques est de 20% (en France : 75%).
- L'Europe exporte illégalement \approx 350 000 tonnes de déchets électroniques chaque année, qui échappent donc au recyclage.
- Mais l'Europe profite aussi d'une faille dans la législation pour exporter légalement (principalement vers l'Afrique) des déchets électroniques, en les expédiant en tant qu'équipements usagés, destinés sur le papier à la revente. En réalité, la plupart ne sont ni réparés, ni revendus, mais déversés dans des décharges sauvages comme celle d'Agbogbloshie au Ghana. Si elles font vivre des milliers de personnes, elles constituent aussi un grave risque pour leur santé et leur sécurité.

La décharge géante de produits électroniques d'Agbogbloshie au Ghana



==> Il y a de grosses marges de progrès pour le recyclage des déchets électroniques

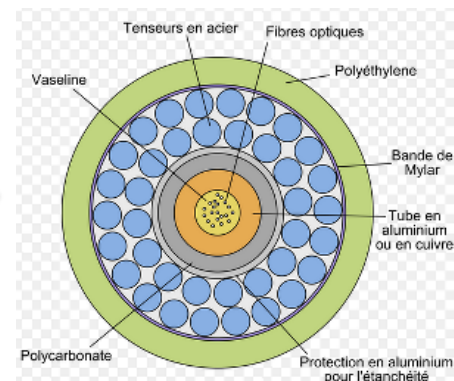
Les autoroutes de l'information

L'explosion des données s'accompagne de solutions technologiques pour permettre leur circulation : **les câbles sous-marins** sont de véritables autoroutes de l'information.

- Le premier câble optique sous-marin a été posé en 1988 entre les E.U. et l'Europe (il permettait 40 000 appels simultanés, alors que les câbles les plus récents pourraient en supporter 5 milliards).
- Il y a actuellement plus de 500 câbles optiques (pour $\approx 1,5$ millions de km) qui tapissent le fond des océans, où les données circulent à 200 000 km/s.



- Les accidents de câble sont fréquents, et des navires câbliers passent leur temps à les réparer pour maintenir le trafic internet mondial.
- Du fait des évolutions techniques, de nombreux câbles deviennent obsolètes et sont désactivés → il y a près de 1 million de km de câbles zombies, dont très peu sont recyclés par leur propriétaire. Mais l'impact sur le monde marin reste minime.
- Leur véritable impact vient tout d'abord de leurs capacités techniques à faire exploser le trafic des données.



Le monde numérique de demain

Les 3 grandes étapes du numérique :

1. Les entreprises du Net (AOL, IBM, Microsoft) avaient édifié les infrastructures permettant aux ordinateurs de se connecter entre eux.
2. Les géants du Net (Google, Facebook) ont créé les moteurs de recherche et les réseaux sociaux permettant aux internautes de se relier entre eux.
3. La 3^e vague en cours est celle de « l'internet de tout » qui verra l'interconnection de tout ce qui pourra être équipé d'un capteur, êtres vivants et objets.

L'internet des objets, qui en constitue le début, est déjà une réalité : il existe des milliards d'objets connectés, qui vont des plus utiles (ex : transmission de données corporelles en temps réel pour des personnes à risque) aux plus futiles (jeux vidéos).

L'explosion des données qui en résulte est indissociable de la 5G, qui permet de transférer 10 x plus de données en 10 x moins de temps que la 4G.

- Les possibilités de la 5G vont entraîner de nouveaux modes de consommation numérique, gourmands en bande passante (jeux en réalité virtuelle, vidéos très haute définition) qui vont faire exploser le flux de données.
- L'espace sera truffé d'antennes 5G (plus puissantes mais au rayon d'action plus limité que la 4G), sans qu'on connaisse les risques pour notre santé des ondes électromagnétiques qu'elles émettent (l'OMS les a classé en 2011 parmi les cancérigènes potentiels)
- La voiture autonome, bardée de capteurs et caméras, est emblématique de cette inflation des données à venir : elle devra échanger en direct un important volume de données avec son environnement :
 - elle générera jusqu'à 1 Go de données/sec
 - il faudra des datacenters de proximité pour réduire la latence au minimum
 - elle consommera plus d'électricité --> batteries plus volumineusesLibérés de la contrainte de la conduite, les passagers pourront ... consommer davantage de services numériques (réseaux sociaux, Netflix, ...) ! 😊

Les bonnes pratiques

La sobriété numérique

- Faire durer les équipements : le geste le plus efficace (résister aux modes, aux promotions – don, troc, vente d'occasion en cas de remplacement – privilégier la réparation au remplacement en cas de panne)
- S'équiper léger, avec du matériel adapté à ses besoins
- Ne pas multiplier les matériels : préférer les appareils multifonction
- Limiter les consommations d'énergie : éteindre plutôt que laisser en veille, désactiver le Wifi si on ne s'en sert pas, utiliser le plus possible le mode économie d'énergie, brancher les équipements sur une prise à interrupteur
- Optimiser les impressions : noir et blanc, recto-verso, 2 pages par face
- Avoir recours à des sites web sobres et épurés (ex : Wikipédia)
- Recycler : seuls 20% des déchets électroniques mondiaux sont recyclés
- **Limiter au maximum le visionnage de films et de vidéos en ligne**

Les bonnes pratiques

La sobriété numérique

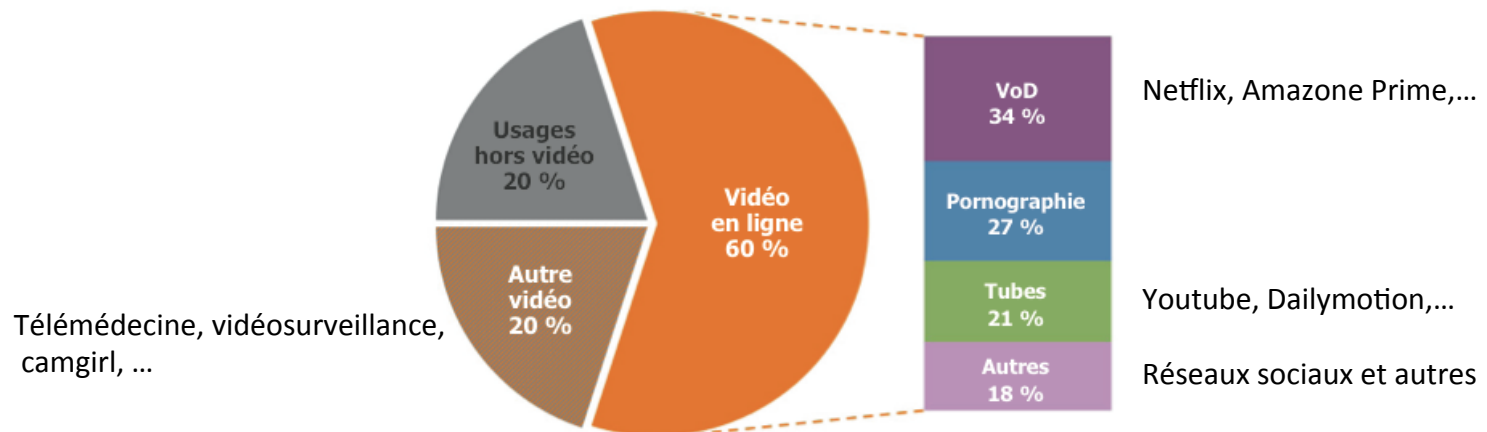
Les vidéos en ligne : le poids lourd des usages numériques

--> 60% du flux mondial de données

--> 1% des émissions mondiales de CO₂ en 2019 (≈ 300 millions de tonnes)

--> 10h de film haute définition, c'est plus de données que l'intégralité des articles en anglais de Wikipédia

--> 27% du trafic vidéo en ligne = vidéos pornographiques (80 MtCO₂), autant que l'habitat en France



Les bonnes pratiques

La gestion des données

==> Alléger les e-mails (un e-mail simple \approx 4g de CO₂), dont l'impact dépend du poids des pièces jointes, du nombre de destinataires (nb x 10 = impact x 4) et du temps de stockage sur le serveur :

- cibler les destinataires
- nettoyer les listes de diffusion
- supprimer les pièces jointes des messages réponses
- optimiser la taille des fichiers joints (compression, basse définition...)
- pour les gros fichiers, utiliser les sites de dépôts temporaires et les clés USB
- nettoyer régulièrement sa boîte mail, sa dropbox
- se désinscrire des listes de diffusion qui ne nous intéressent pas
- préférer le téléphone au mail

Les bonnes pratiques

La gestion des données (suite)

==> Raccourcir les recherches web :

- taper directement l'adresse d'un site (= émission de GES divisée par 4)
- utiliser l'historique
- créer des favoris dans le navigateur
- utiliser des mots-clés précis et cibler la demande
- vider régulièrement le cache de l'ordinateur

La consommation d'une recherche dépend du matériel : une recherche sur

internet d'une minute =

- 100W sur un ordinateur fixe
- 20 W sur un ordinateur portable
- quelques Watts sur une tablette
- encore moins sur un téléphone

Une connection filaire consomme moins que le Wifi.

Les bonnes pratiques

La gestion des données (suite)

==> Optimiser le stockage des données :

- ne conserver que ce qui est utile (serveurs, cloud, équipements perso)
- stocker et utiliser le maximum de données en local
- ne stocker que le nécessaire sur le cloud (pour alléger les datacenters)

Le numérique fait désormais partie de nos vies.

Se pose alors inévitablement la question de la place qu'il devra occuper.

Il y aura des choix sociétaux à arbitrer.

Aurons-nous la sagesse de nous limiter aux usages numériques réellement nécessaires ?

« La transition numérique telle qu'elle est actuellement mise en œuvre participe au dérèglement climatique plus qu'elle n'aide à le prévenir. »

The Shift Project

« Au XIXe siècle, ne pas choisir n'est plus une option viable »

The Shift Project

Sources

- Guillaume PITRON : L'enfer numérique - éditions LLL (Les Liens qui Libèrent)
- Site de l'Ademe : <https://www.ademe.fr/>
- Site de The Shift Project : <https://theshiftproject.org/>
- Wikipédia : https://fr.wikipedia.org/wiki/Wikipédia:Accueil_principal