

Invia

Le numérique
est-il
soutenable ?

*Une introduction aux enjeux du numériques
face aux limites planétaires*

Inria

Qui suis-je ?

Benjamin Ninassi

- Ingénieur de Recherche spécialisé dans les technologies web, et l'écoconception de services numériques
- Adjoint au responsable du programme Numérique et Environnement d' INRIA.
- Contributeur au GDS EcoInfo
- Contributeur à la Mission Numérique Ecoresponsable (minu_meco)
- Contributeur à The Shift Project
- Membre de Boavizta
- Contributeur à l'Institut du Numérique Responsable (INR)
- Ex "Sustainability and Technology Manager" chez Accenture
- Ancien membre de « European Green Digital Coalition »
- Ancien membre de « Green Software Foundation »



Évaluation de la situation mondiale

Le changement climatique n'est qu'une des 9 limites planétaires

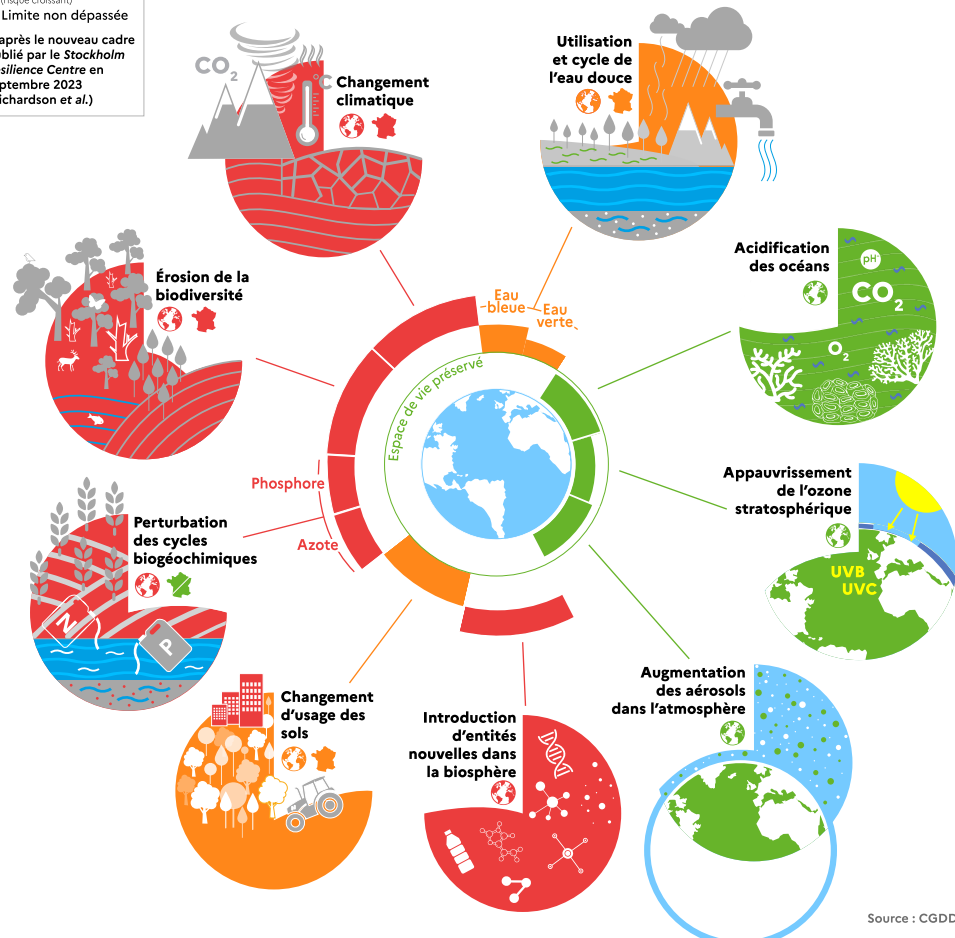
⇒ Leur franchissement augmente les risques de transformation des écosystèmes imprévisibles et irréversibles

⇒ À ajouter l'épuisement de ressources naturelles nécessaires à notre développement

Les 9 limites planétaires

■ Limite dépassée (risque élevé)
■ Limite dépassée (risque croissant)
■ Limite non dépassée

D'après le nouveau cadre publié par le Stockholm Resilience Centre en septembre 2023 (Richardson et al.)



2,5% (France) à 4% (Europe/Monde) des GES selon les sources et le périmètre == Aviation Civile

01/2022

Périmètre FRANCE

16,9 MtCO₂e/an

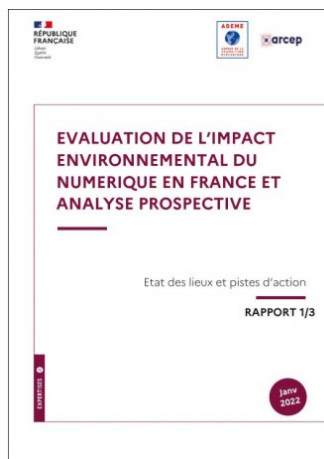
2,5% empreinte carbone

253 kgCO₂e/français.an*

48,7 TWh/an

10% consommation électrique annuelle

* Autant que 1300 km en voiture, soit 6,3 km par jour 200 jours par an



12/2021

Périmètre EUROPE

185 MtCO₂e/an

4,2% empreinte carbone

40% d'un budget soutenable climatique et en ressources minérales et métalliques

361 kgCO₂e/habitant.an*

283 TWh/an

9,3% consommation électrique annuelle

* Autant que 1800 km en voiture, soit 9 km par jour 200 jours par an



Une demande en forte croissance

- **3.9** milliards de personnes connectées en 2018
51% de la population mondiale (**66%** en 2023)

- **19.4** milliards d'appareils
33% d'entre eux sont des IOT

- **10% de croissance annuelle**

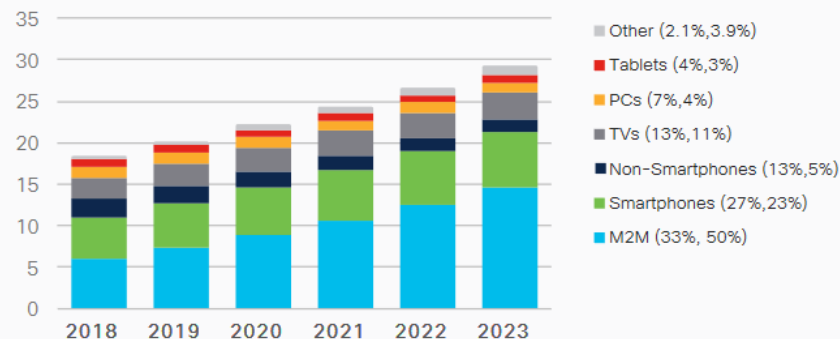
⇒ **30 milliards** d'objets en 2023

⇒ **75.44 milliards** en 2025 (Freitag et al.)
(déploiement massif de l'IOT)

⇒ ADEME : **34 milliards** en 2019, **75 milliards** en 2025

10% CAGR
2018-2023

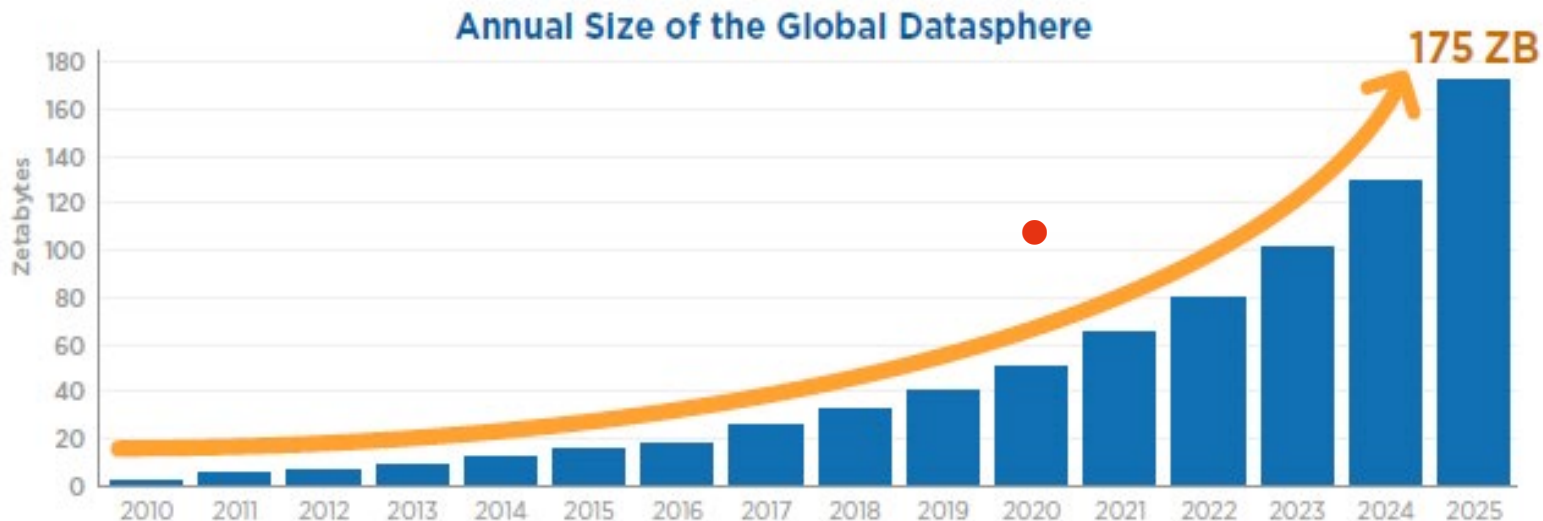
Billions of
Devices



* Figures (n) refer to 2018, 2023 device share

Source: Cisco Annual Internet Report, 2018-2023

Une ↗ de la datasphere imprévisible

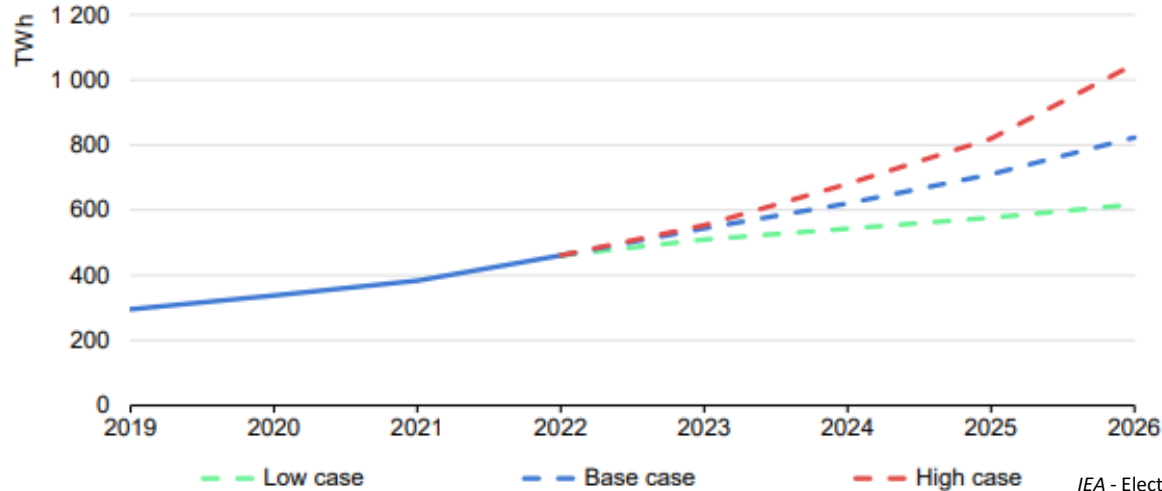


Source: Data Age 2025, sponsored by Seagate with data from IDC Global DataSphere, Nov 2018

- Global Datasphere in 2018 : 33 zettabytes (ZB)
- A total of 64.2 Zettabytes was created or replicated in 2020

Évolution de la demande d'électricité pour les DC (x2 d'ici 2026 ?)

Global electricity demand from data centres, AI, and cryptocurrencies, 2019-2026

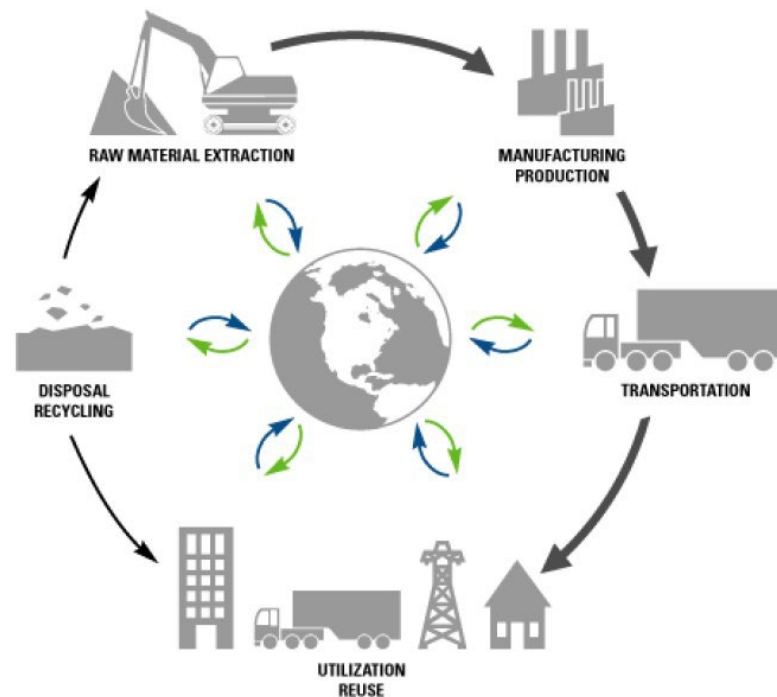


IEA - Electricity 2024, Analysis and forecast to 2026

Cycle de vie d'un produit

Impacts environnementaux

- Gaz à effets de serre (GES)
- Contribution au stress hydrique
- Acidification des sols
- Acidification des océans
- Emissions de particules fines
- Effondrement de la biodiversité
- Epuisement des ressources naturelles
- Artificialisation des sols
- Etc.

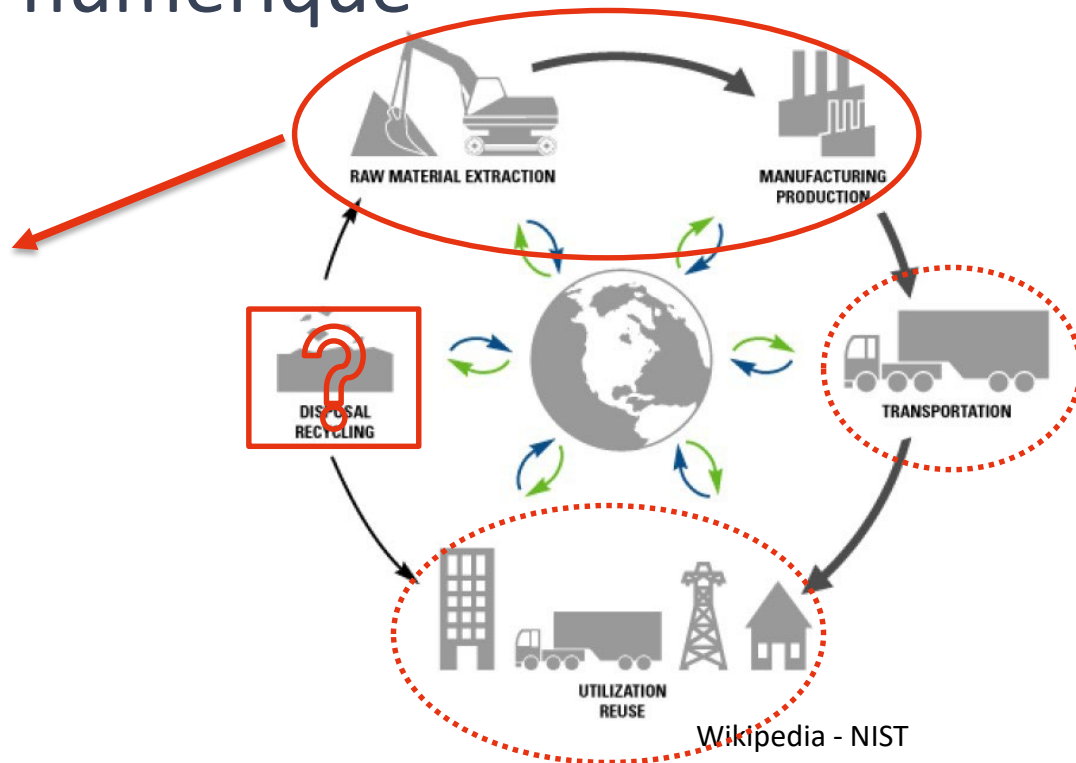


Wikipedia - NIST

Pour un produit numérique

Impacts environnementaux

- Gaz à effets de serre (GES)
- Contribution au stress hydrique
- Acidification des sols
- Acidification des océans
- Emissions de particules fines
- Effondrement de la biodiversité
- Epuisement des ressources naturelles
- Artificialisation des sols
- Etc.



Wikipedia - NIST

Production des Métaux (50+)

3 étapes majeures :

- Extraction du minerai
- Concassage et broyage
- Concentration/enrichissement du minerai

Impacts principaux :

- Consommation massive d'Énergie
 - > Évacuer la terre et les roches
 - > extraire le minerai à partir duquel le métal est extrait
- Consommation massive d'eau
- Pollution des eaux (sous-terrain et de surface)
- Pollution des sols et de l'air
- Impacts sociaux/humains => normes CIRGL



LA DÉPENDANCE DE LA FRANCE AUX MÉTAUX STRATÉGIQUES

Une grande partie de nos appareils numériques sont fabriqués à l'étranger et utilisent des métaux dont la production est limitée à certains pays. Cela rend la France extrêmement dépendante de la stabilité économique et politique de quelques pays qui concentrent une grosse partie de la production.

LA CHINE

est le 1^{er} producteur mondial de 15 métaux stratégiques (dont 7 en quasi monopole).

RUSSIE*

- Palladium (43 %)

CHINE*

- Gallium (98 %)
- Magnésium (88 %)
- Tungstène (84 %)
- Dysprosium (70 %)
- Néodyme (70 %)
- Praséodyme (70 %)
- Yttrium (70 %)
- Germanium (68 %)
- Silicium (68 %)
- Indium (59 %)
- Aluminium (58 %)
- Antimoine (54 %)
- Zinc (32 %)
- Étain (30 %)
- Or (11 %)

MEXIQUE*

- Argent (24 %)

CHILI*

- Cuivre (24 %)

COMMENT RÉDUIRE CETTE DÉPENDANCE ?

Une solution est de **garder le plus longtemps possible ses équipements** pour fabriquer moins d'objets neufs et diminuer la demande en métaux.

Réduire le rythme des évolutions technologiques et écoconcevoir les appareils permettrait aussi de favoriser le recyclage des métaux dès que les filières sont disponibles.

INDONÉSIE*

- Nickel (48 %)

AFRIQUE DU SUD*

- Manganèse (36 %)
- Platine (74 %)
- Ruthénium (90 %)

RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE DU CONGO*

- Cobalt (68 %)
- Tantale (43 %)

⚠ Zone de conflit armé

AUSTRALIE*

- Lithium (47 %)

* Les valeurs concernent la production mondiale de métaux en 2022.
Source : Cartographie mondiale de l'extraction des métaux stratégiques pour le secteur numérique (Deloitte, d'après diverses sources dont USGS).

Et le recyclage ?

Numérique mélangé aux DEEE

Seulement 22%* collectés (monde) en 2022

- Métaux majeurs et précieux > 50% recyclés
- Métaux mineurs (dont terres rares) < 1% recyclés
- Plastiques & autres brûlés

Trafics illégaux dans le collimateur d'Interpol :

- Pollution de l'air
- Pollution des sols
- Pollution des eaux
- Impacts humains

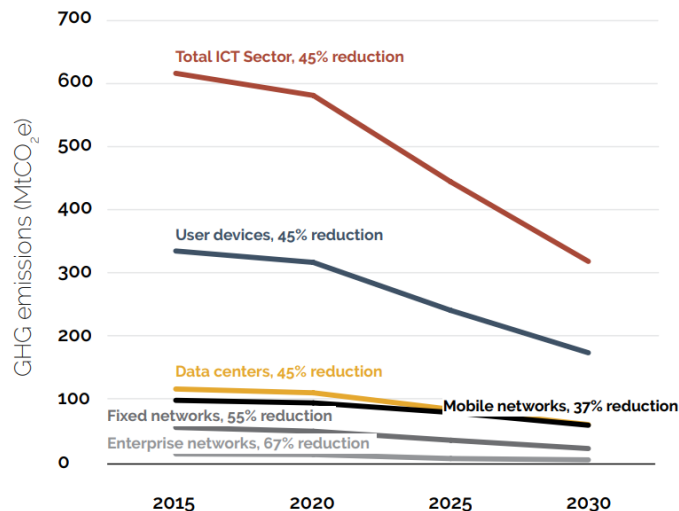
*<https://ewastemonitor.info/the-global-e-waste-monitor-2024/>



Accord de Paris : Trajectoire SBTi pour le numérique

Figure 1: Summary of ICT sector and sub-sector trajectories including embodied emissions and operation

ICT Sector emissions trajectories 2015-2030
(with percent reductions from 2020 to 2030)



-45% objectif mondial de décarbonation de la filière numérique (SBTi, 2020)

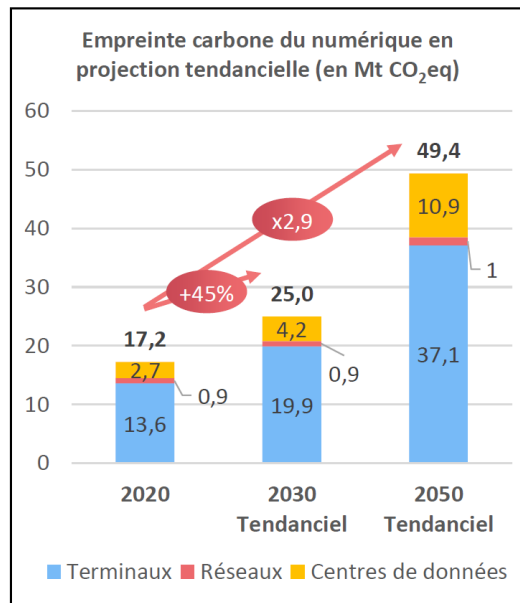
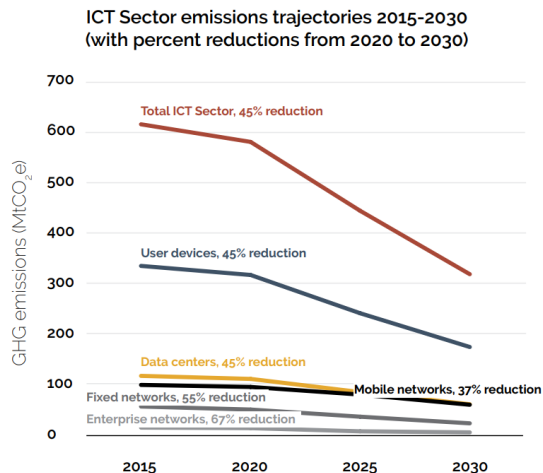
Arcep https://www.arcep.fr/fileadmin/reprise/communiqués/communiqués/2023/slides-conf-presse-PNS_05_04_2023.pdf
SBTi - Guidance for the ICT sector – 02/2020 (ITU, GeSI, GSMA, SBTi) <https://sciencebasedtargets.org/sectors/ict#project-participants>

Incompatibilité des scénarios d'évolution des émissions de la filière numérique (pour la France)

-45% objectif mondial de décarbonation de la filière numérique (SBTi, 2020)

+45% scénario tendanciel France (Arcep, 2023)

Figure 1: Summary of ICT sector and sub-sector trajectories including embodied emissions and operation



Arcep https://www.arcep.fr/fileadmin/reprise/communiqués/communiqués/2023/slides-conf-presse-PNS_05_04_2023.pdf

SBTi - Guidance for the ICT sector – 02/2020 (ITU, GeSI, GSMA, SBTi) <https://sciencebasedtargets.org/sectors/ict#project-participants>

Paradoxe de Jevons

Le progrès technologique qui accroît l'efficacité avec laquelle une ressource est utilisée ou produite peut entraîner une augmentation du taux de consommation de cette ressource en raison d'une demande croissante!

- Datacenters
- Stockage de données
- Débits réseaux
- Tailles et résolutions des écrans
- Besoins en GPU pour les jeux vidéos
- Crypto monnaies, Métavers, IA, etc.
- Etc.

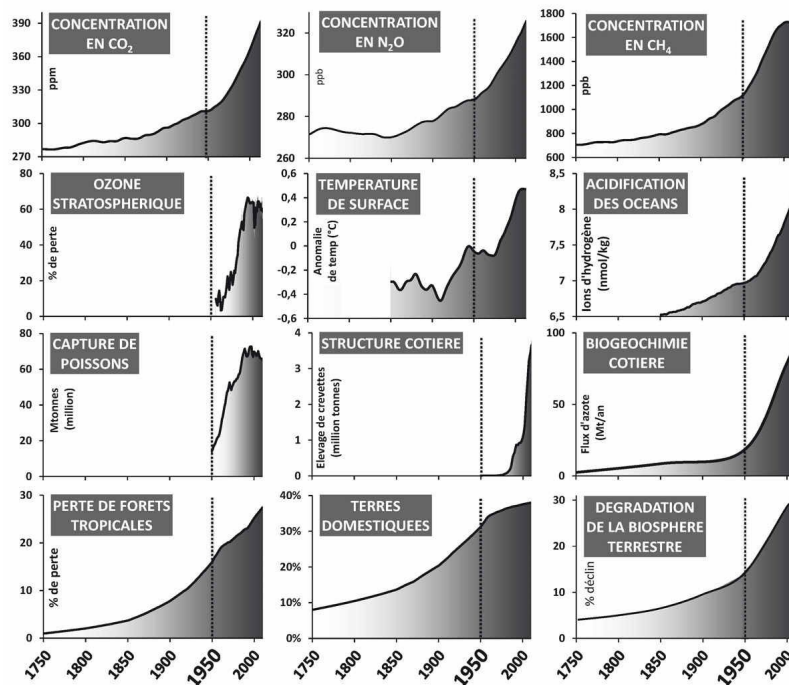


Le numérique : un catalyseur

TENDANCES DU SYSTÈME-TERRÉ

Tech4good & Tech4bad

- Automatisation – Asservissement
 - E-commerce – Plateformes logistiques +
 - Emancipation – Cybercriminalité
 - Décarbonation – Industrie fossile +
 - Désenclavement – Illectronisme
 - Assistants IA – Travailleurs du clique
 - Gratuité d'accès – Données personnelles
- ⇒ **Ethique ? Utilité sociétale ?**



Les travaux du SGPE – Secrétariat Général à la Planification Ecologique montre la nécessité de hiérarchiser les usages

Proposition de hiérarchisation des usages de la biomasse locale

Usages prioritaires		Volume actuel
Alimentation humaine	Enjeu de souveraineté alimentaire	+15MtMS
Alimentation animale	Enjeu d'autonomie protéique - à hauteur des besoins de la consommation intérieure de protéines animales	+110MtMS
Puits de carbone – produits bois et forêts	A hauteur des besoins déterminés par la SNBC pour assurer le bouclage GES?	+40MtMS
Fertilité des sols (retour au sol des résidus végétaux)	A hauteur des besoins pour conserver le rendement?	+80MtMS
Industrie – chaleur haute °C et non-énergétiques	Pas d'alternatives décarbonées	-0
Réseaux de chaleur	Peu d'alternatives pour décarboner le mix de chaleur – réinterroger le potentiel géothermie basse énergie?	+1.5MtMS
Consommations énergétiques de l'agriculture	Peu d'alternative – circuit court – question sur le vecteur (GNV vs. B100?)	+1.5MtMS
Usages à interroger		
Trafic aérien (domestique et international)	Alternative via e-fuel également contrainte – Possibilité de réduire le trafic (signal prix, report modal, sobriété)	-0
Soutes maritimes	Alternative e-fuel également contrainte – proposition de resouter pour limiter l'empreinte carbone – trafic?	-0
Export alimentaire et bois brut	Enjeu géostratégique variable des exportations (e.g. céréales méditerranée vs. nord europe)	+30MtMS
Transports – VP, PL, bus et cars	Possibilité d'électrifier davantage (y compris via H2) – faut il maintenir deux infrastructures (H2 et GNV) – souveraineté énergétique	+5MtMS
Industrie – chaleur basse température	Existence d'alternatives décarbonées (PAC, solaire thermique, RCU...)	+4MtMS
Résidentiel et tertiaire – chauffage et ECS	Possibilité de prioriser l'usage de la biomasse sur les appareils performants (après 2005) et très performants (après 2015) et qui remplacent des équipements fossiles (fioul/GPL) en zone rurale.	+1MtMS
Production d'électricité en ZNI	Enjeu sur la durabilité de l'importation de biomasse de métropole dans les OM; structuration de filières locales soutenables	+1MtMS
Usages à réduire		
Production d'électricité Métropole	Privilégier l'H2 pour assurer la production thermique de pointe	-5MtMS
Bâtiments – chauffage et ECS	Réduire l'usage des appareils peu performants (installés avant 2005) en finançant leur remplacement	-9MtMS
Résidentiel et tertiaire – cuisson	Alternative électrique (induction notamment) plus efficace	-1MtMS

12/06/2023



Travail à mener pour préciser ces orientations et les traduire opérationnellement

15

Exemple de la biomasse :

1. Usages prioritaires

2. Usages à interroger

Ex. Biocarburant
 aérien = pas assez =
 réduire le trafic

3. Usages à réduire

Référentiel Général d'Ecoconception de Services Numériques

Complément des RGAA, RGPD, RGSSI (=> Evolution réglementaire)

- Questionner l'utilité – techno discernement - **RGESN** – critère 1.1 :
Le service numérique a-t-il été évalué favorablement en termes d'utilité en tenant compte de ses impacts environnementaux ?
- Quelle mise en œuvre ?
 - > les 17 objectifs de développement durable (ODD) de l'ONU
 - > les 9 limites planétaires
 - > la Taxonomie européenne sur les activités vertes
 - > la Directive CSRD – Corporate Sustainability Reporting Directive, etc.

+ Afnor Spec IA Frugal, NZI4IT, CEST ...



La Mesure L'évaluation

- Fondement de toute démarche scientifique
- Nécessaire de s'appuyer sur des unités de références :
 - > universelles
 - > reproductibles
 - > uniformes
 - > le plus exact possible
 - > pérennes dans le temps



RCP ADEME (Règles de Catégorie Produit)

- ⇒ Fourniture d'Accès à Internet
- ⇒ Réseaux LAN et Téléphonie
- ⇒ Datacenter et Services Cloud (SaaS, PaaS, etc.)
- ⇒ Systèmes d'Informations
- ⇒ *A venir : plateformes webs, applis mobiles, etc.*

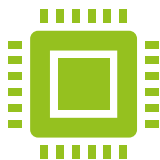
Deux leviers fondamentaux

Equipements

- Eviter d'introduire de nouveaux équipements
- Eviter de provoquer l'obsolescence matérielle
- Concevoir pour le maillon faible
- Penser la rétrocompatibilité
- **Penser et utiliser "low-tech"**
- ...

Consommation de ressources

- Limiter aux fonctionnalités nécessaires
- Réduire la charge sur les infrastructures
- Développer sous contraintes (ram, cpu, network...)
- Eteindre
- Choisir le bon hébergeur
- ...



ECO-CONCEPTION



Alt Impact : <https://altimpact.fr/>



Inria

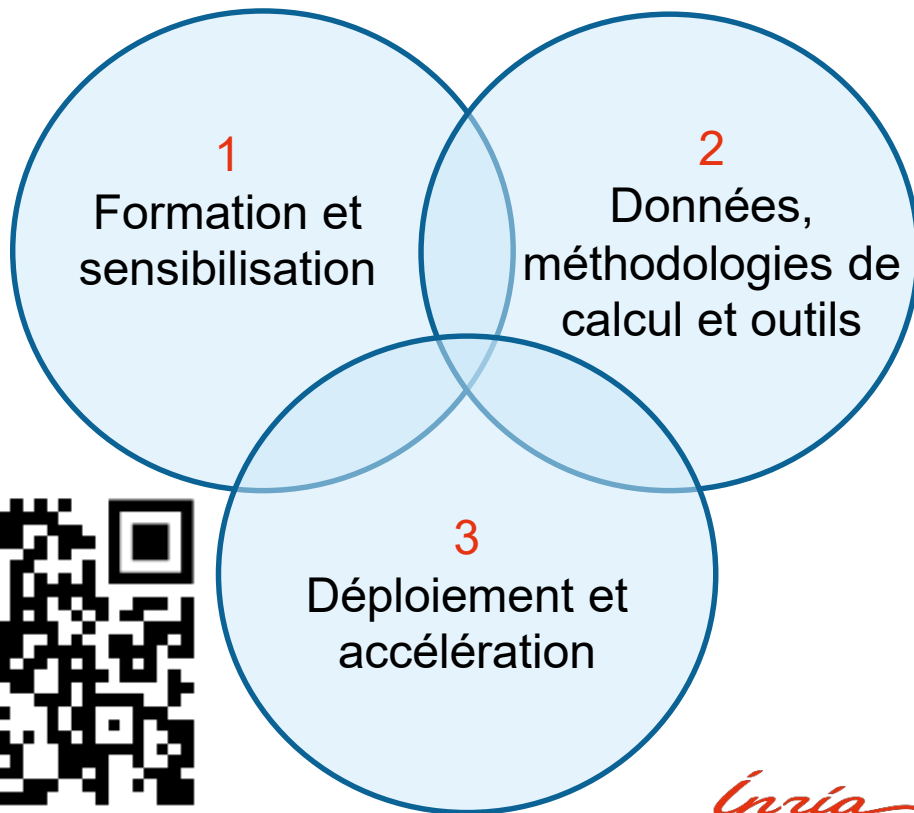


Sobriété numérique :

Démarche qui consiste, dans le cadre d'une réflexion individuelle et collective, à **questionner le besoin et l'usage des produits et services numériques**.

Cette démarche vise à **concevoir, fabriquer, utiliser et traiter la fin de vie** les équipements et services numériques en tenant compte des **besoins sociaux fondamentaux** et des **limites planétaires**.

Objectif : réduire les impacts environnementaux du numérique, de façon absolue



Inria

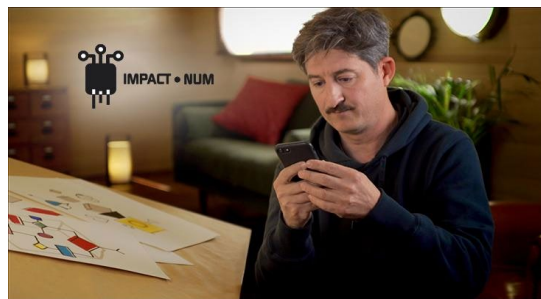


Mooc Impact'Num

- 2 Moocs ouverts sur une longue durée
 - > En français depuis le 16 Novembre 2021
 - > En anglais depuis le 7 Avril 2022
- Conditions d'utilisation : Licence CC-BY 4.0

Inria

<Class'Code>



FUN MOOC



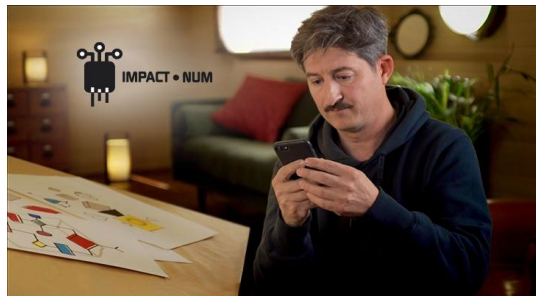


SPOC Impacts environnementaux du Numérique

- Des sessions de formation continue en mode hybride sur 5 semaines
 - > Contenus en autonomie asynchrone
 - Vidéos, fiches concepts, quizz, activités...
 - > Webinaire de 2h toutes les semaines



Inria





Phone Impact

- Jeux sérieux, en print & play
 - > Liens entre smartphone, métaux et activité extractive
 - > Parties de 45 min, tout public
- Conditions d'utilisation : Licence CC-BY-NC-SA 4.0



Découvre l'impact des composants de ton smartphone



Thank you!

Benjamin Ninassi
benjamin.ninassi@inria.fr



Inria

Les discours de l'inaction

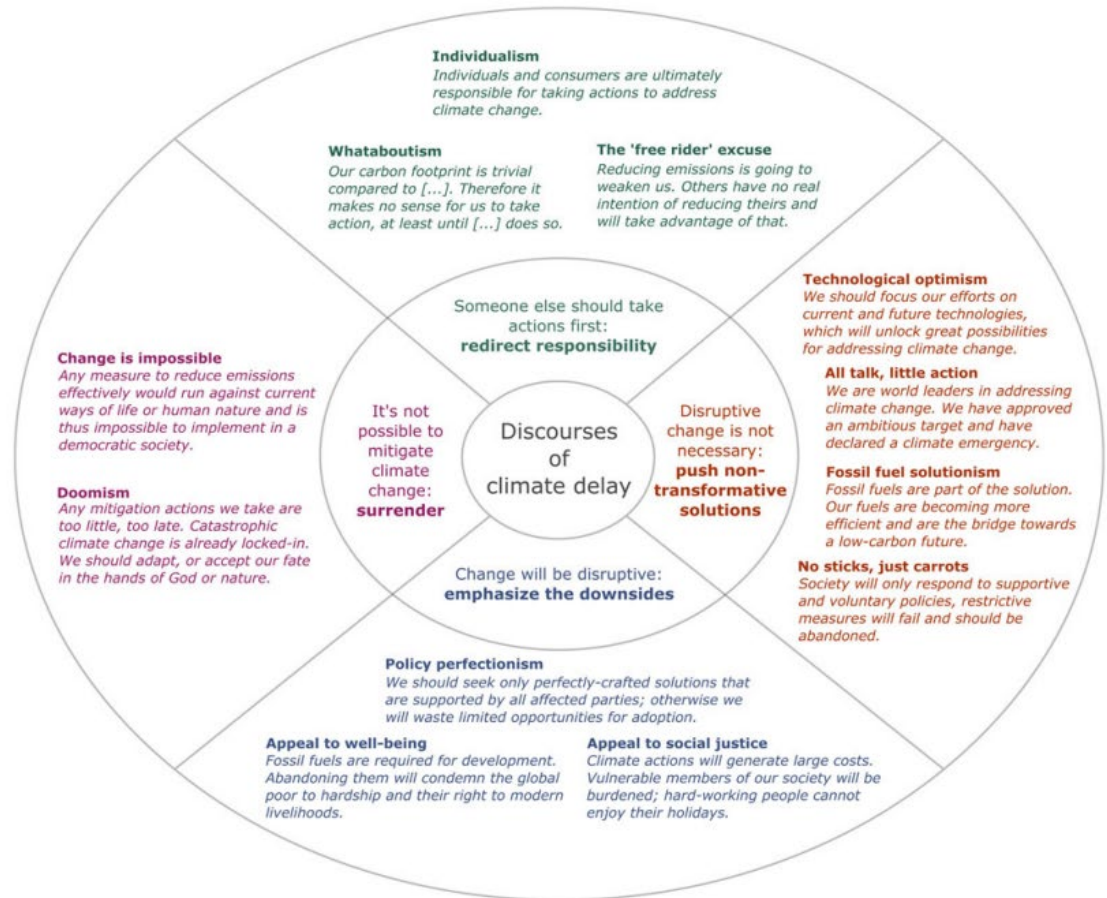


Fig. 1. A typology of climate delay discourses.

Discourses of climate delay, 2020 : <https://www.cambridge.org/core/journals/global-sustainability/article/discourses-of-climate-delay/7B11B722E3E3454BB6212378E32985A7>