



Impact environnemental des données de recherche (numériques)

CDGA – Formation doctorale – 27 mai 2025



- 1. Contexte : l'anthropocène**
- 2. L'impact environnemental du numérique**
- 3. Études au niveau du mésocentre grenoblois**
- 4. Des pistes d'actions**
- 5. Conclusions**



Que vous évoquent les termes suivants ?

1. changement climatique / anthropocène
2. numérique et impacts environnementaux
3. impacts des données de la recherche



Est-ce qu'il y a un thème en particulier qui vous intéresse ?

Est-ce que vous avez des questions ? Que voulez-vous savoir ?



Contexte : l'anthropocène





« Proposition d'époque géologique qui aurait débutée quand **l'influence de l'être humain** sur la géologie et les écosystèmes est devenue **significative à l'échelle de l'histoire de la Terre.** »

[Wikipedia - Anthropocène](#)

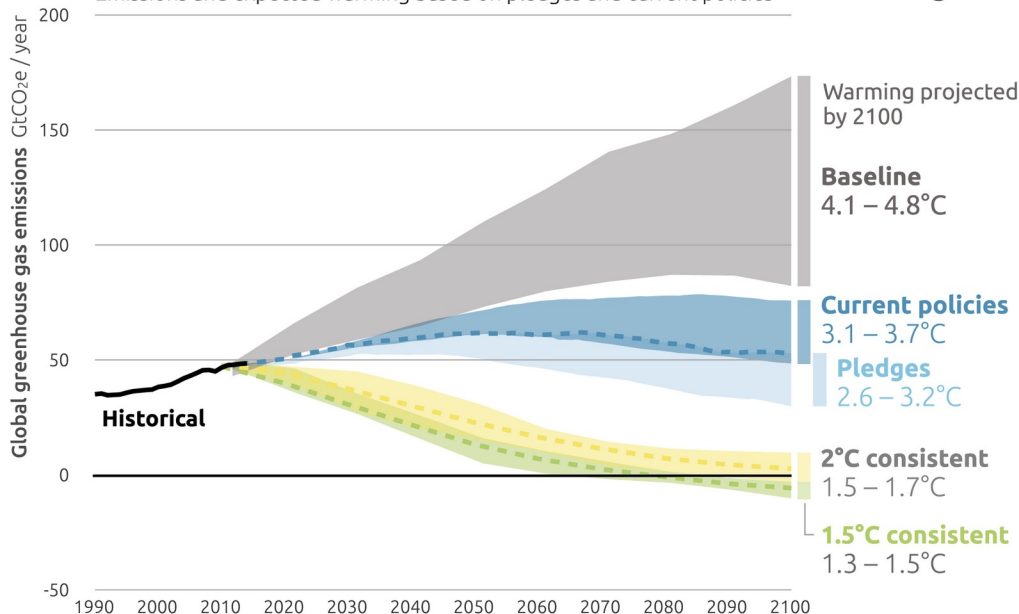
Le changement climatique



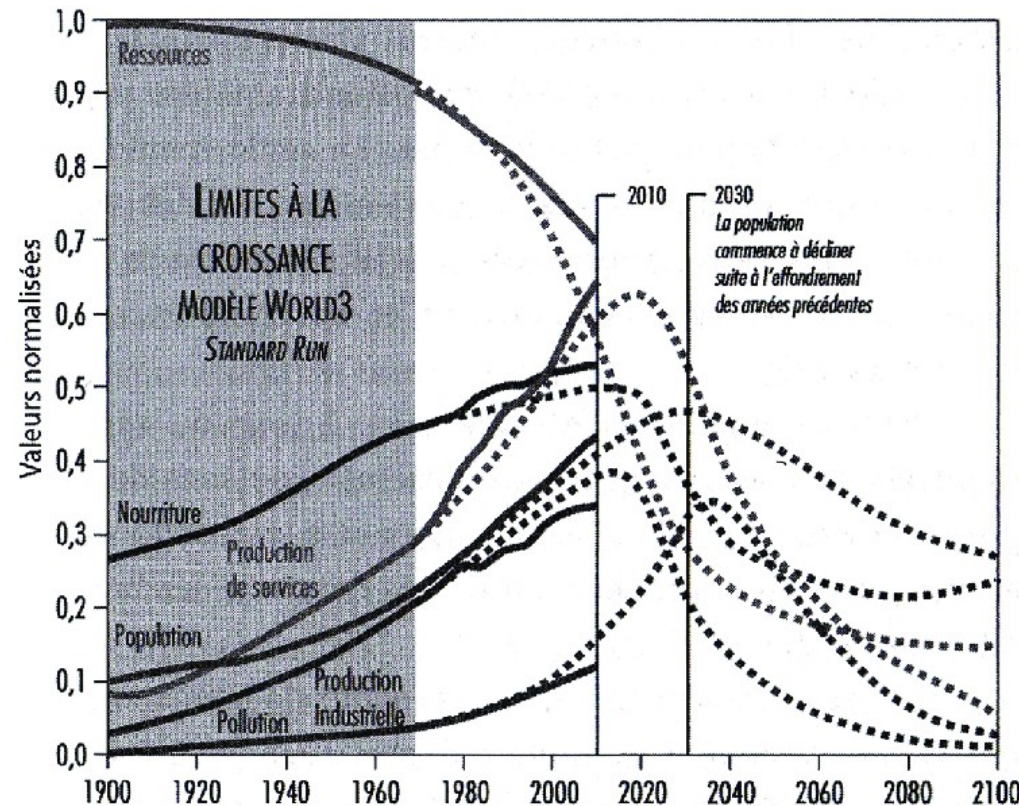
- **Rapports du GIEC (depuis 1990)** : consensus scientifique et politique international - le réchauffement de l'atmosphère, l'océan et les terres est dû à l'activité humaine.
- Une situation critique reconnue depuis le **rapport Meadows en 1972**.

2100 WARMING PROJECTIONS

Emissions and expected warming based on pledges and current policies

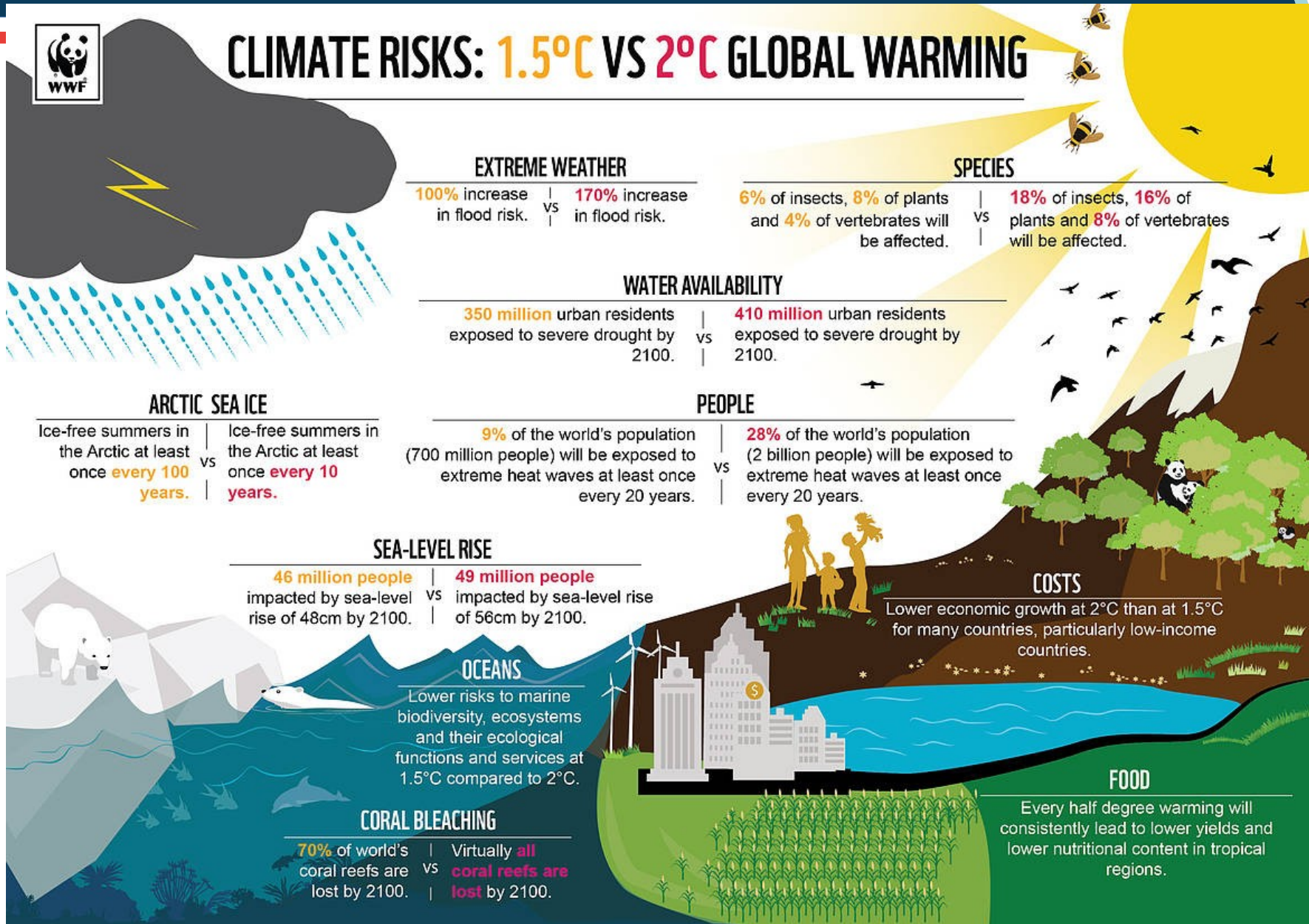


Projection de l'émission des gaz à effet de serre pour 2100 (2017) - [Climate Action Trackers](#)



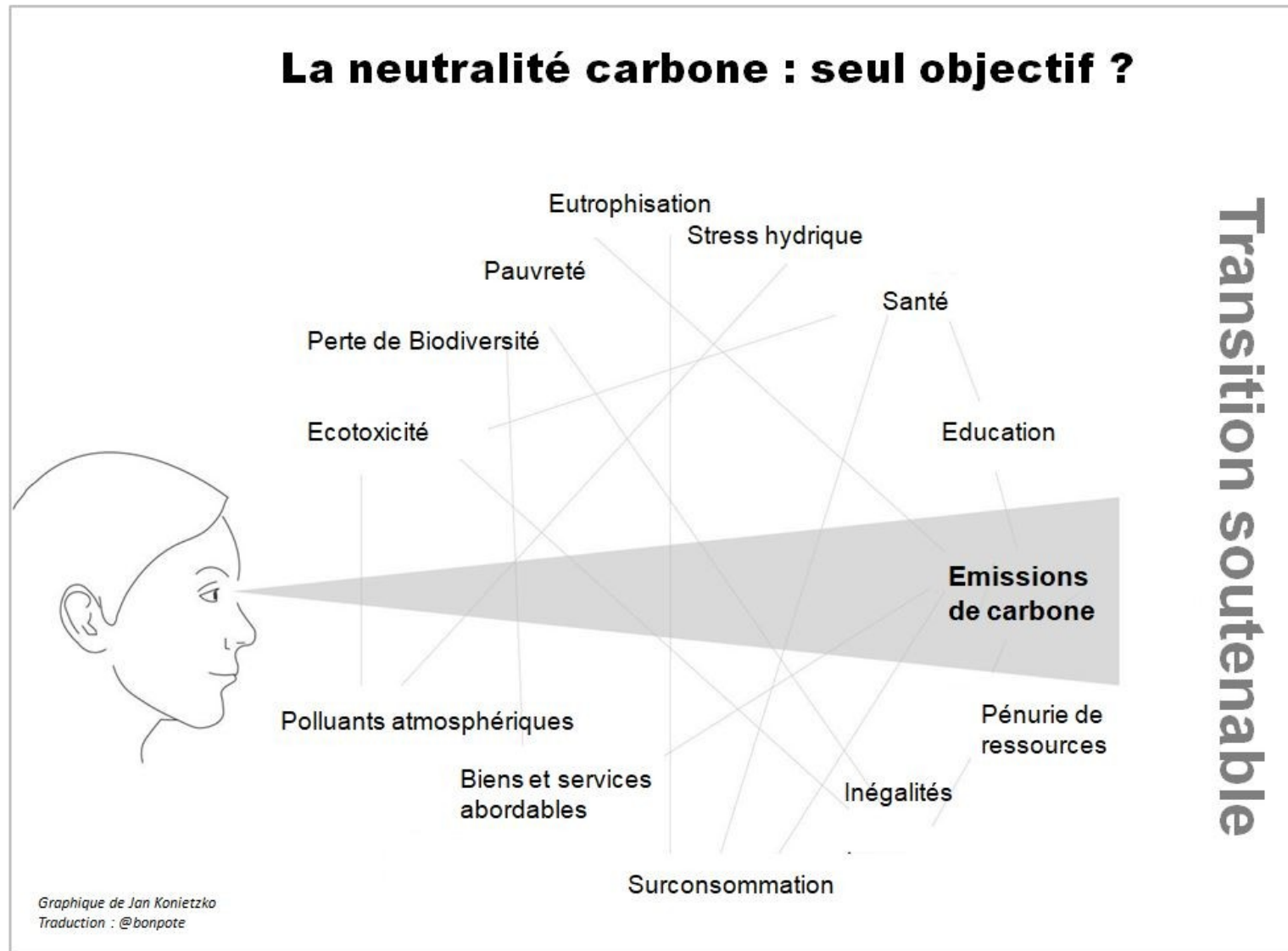
Modèle "Standard Run" (Rapport Meadows, 1972), mis à jour par [Graham M. Turner](#) (2012)

Chaque degré compte



WWF – Changement climatique : comparaison d'un réchauffement global de 1.5°C et 2°C

Ne pas rester sur une vision centrée sur les gaz à effet de serre

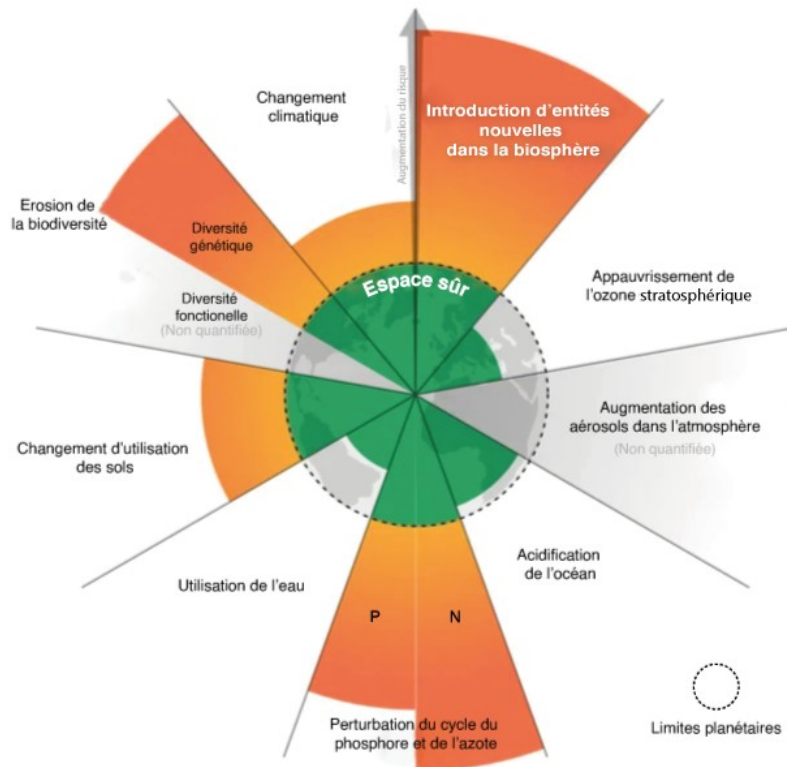


Graphique de Jan Konietzko, traduction bonpote.com

De plus en plus d'indicateurs alarmants



Limites planétaires : un nouveau dépassement



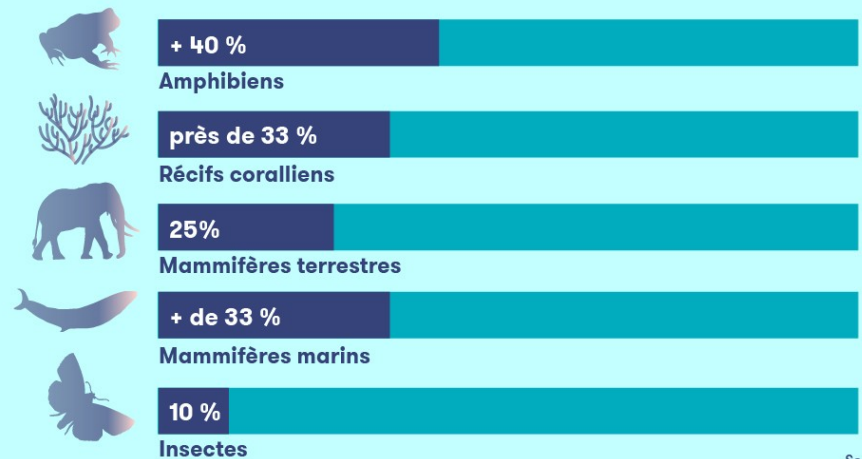
La limite planétaire pour les pollutions chimiques (nouvelles entités) a été quantifiée pour la première fois. Elle rejoint les 4 autres limites déjà dépassées
crédit : Stockholm resilience centre/Azote
Trad : Sydney THOMAS

@BonPote

ESPÈCES MENACÉES D'EXTINCTION

Pourcentage moyen d'extinction dans de nombreux groupes d'espèces : **25%**

Environ **1 million** sur un total estimé de **8 millions**



Source: IPBES (2019)

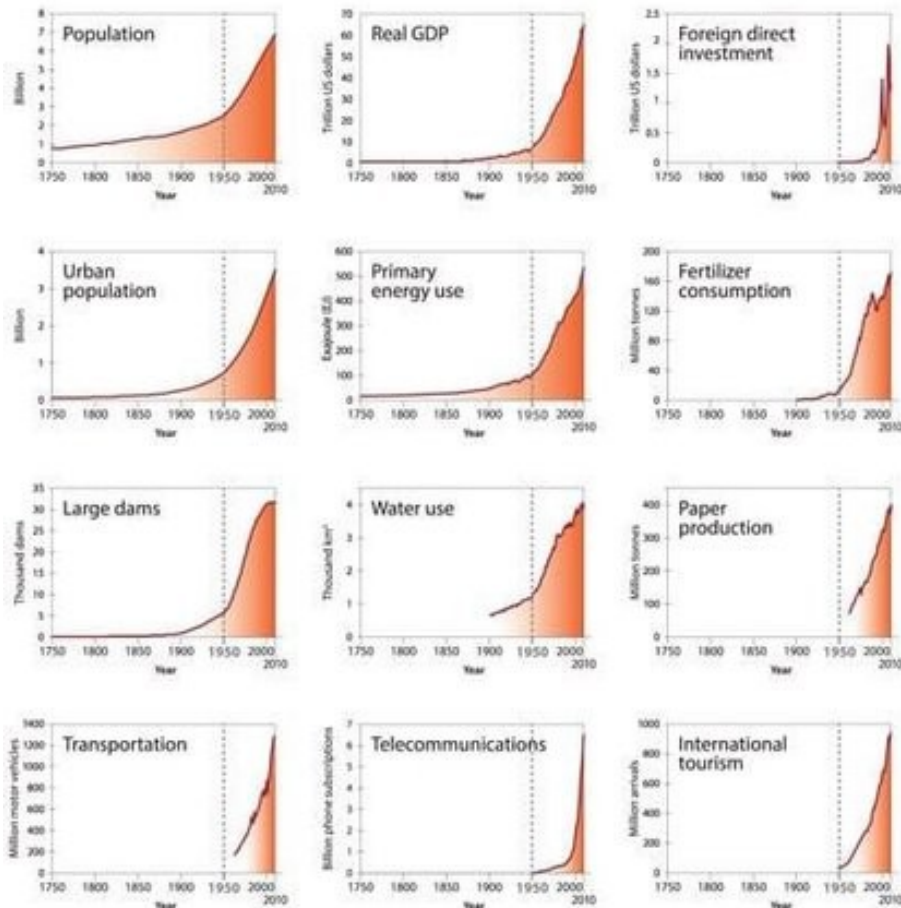
Rapport de la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES), 2019.

Dépassement de la 5° limite planétaire (2022) - bonpote.com

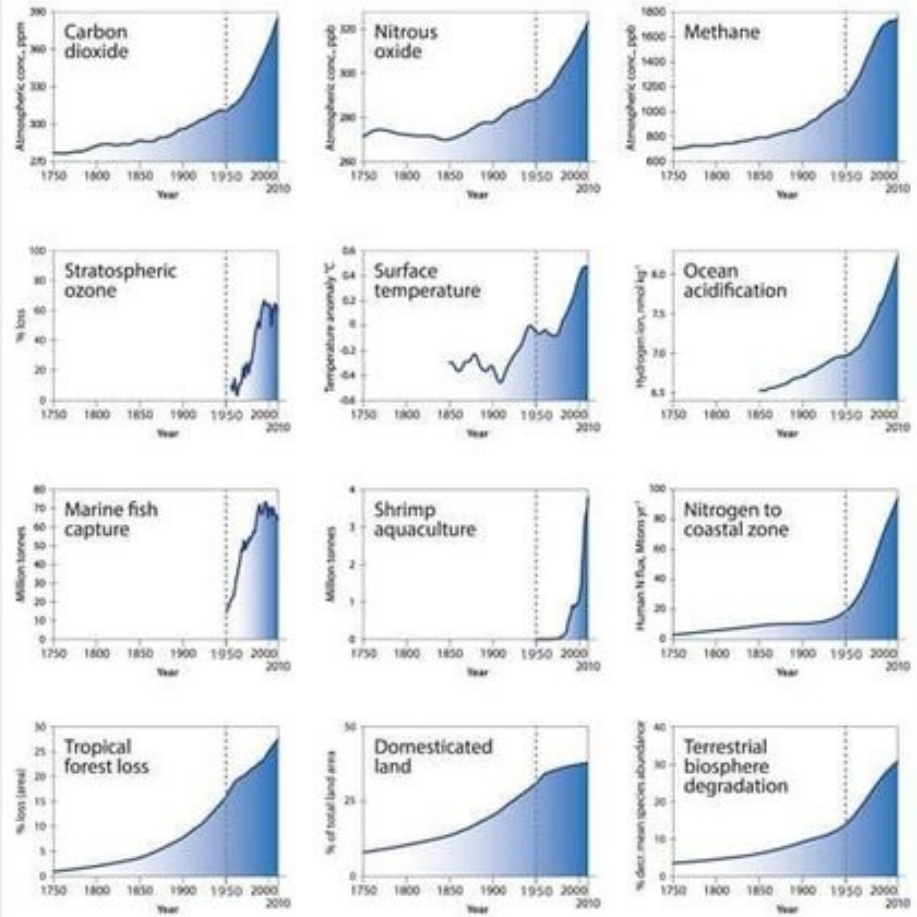
Un système qui accélère fortement



Socio-economic trends



Earth system trends



Updated Great Acceleration Graphs

Source: Will Steffen et al. "The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration." The Anthropocene Review, March 2015

The Great Acceleration (Steffen et al., 2015b)



L'impact environnemental du numérique





- Le numérique, c'est simplement l'utilisation de machines pour traiter de l'information, de la donnée.
- **Il y a un lien fort entre :**
 - Matériel : contient, transfère, permet le traitement des données
 - Logiciel : traite, manipule les données
 - Données : contiennent de l'information à exploiter
- L'augmentation d'utilisation d'un de ces points implique l'augmentation de l'utilisation des 2 autres.

Un numérique pas « immatériel »



Les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) :

- ~ 4 % des émissions de GES : comparable à l'aviation civile
- ~ +6 % par an, soit x2 en 12 ans



Des Ghanéens travaillant dans la décharge d'Agbogbloshie, au Ghana

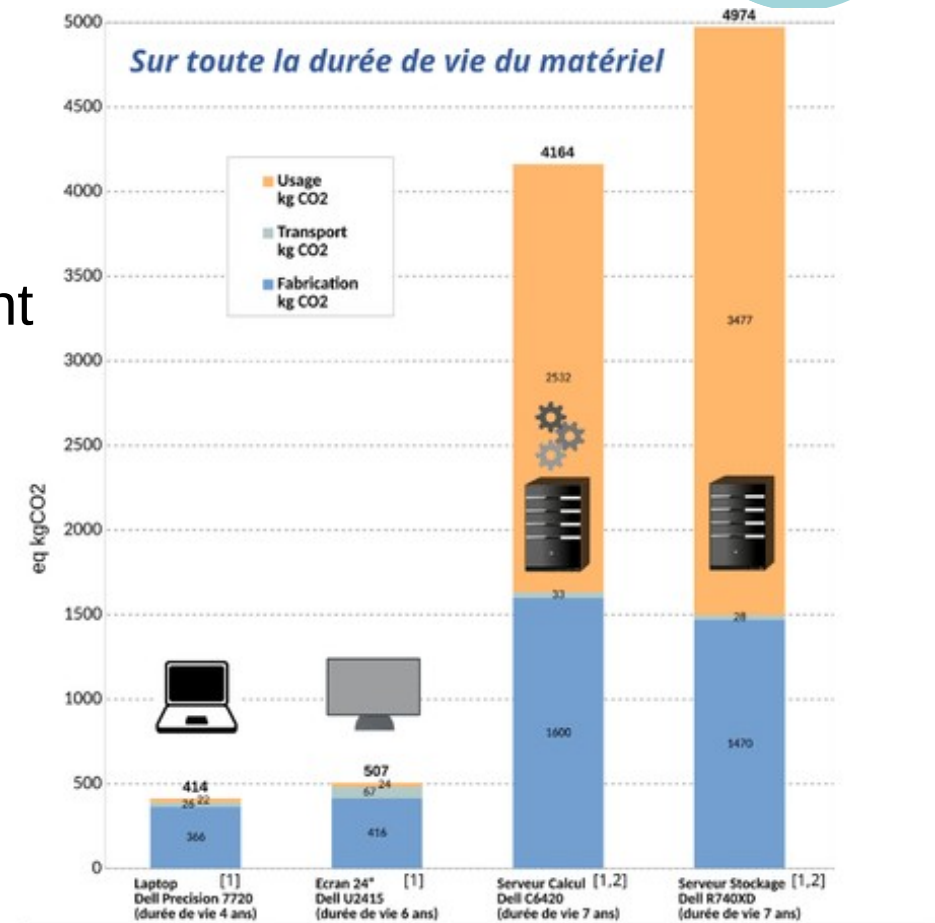
LE CYCLE DE VIE D'UN ORDINATEUR



La face cachée du numérique - Ademe



- Des impacts tout au long du cycle de vie du matériel numérique :
- **extraction** :
 - pollutions (sols, air, eaux), épuisement des ressources, travail d'enfants, conflits armés, viol comme arme de guerre
- **transport** :
 - pollutions directes
- **fabrication** :
 - pollutions chimiques (sols, air), exploitations humaines
- **gestion des déchets** :
 - 20 % seulement des DEEE sont récoltés (50 % en France)
 - décharge et trafic illégaux, pollutions chimiques, exploitation humaine



[1] Données Fiches Dell (usage corrigé pour usage FR) :

(https://www.dell.com/learn/us/en/uscorp1/corp-comm/environment_carbon_footprint_products)

[2] Usage à partir de la consommation moyenne (Berthoud et al. 2020) d'un noeud = 275W (C6420), 375W (R740XD) (<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02549565>)

[3] <https://eco-calculateur.dta.aviation-civile.gouv.fr/>

Comparatif sur les émissions de CO2
(Jérémy Wambecke et Carole Plasson, 2019 ; Laurent Bourgès, 2020)



Un premier élément plus difficile à saisir, mais avec de nombreux impacts.

- **Consommation énergétique :**
 - le matériel étant rapidement plus puissant, pas ou peu d'optimisation du logiciel
 - augmentation continue de la taille des logiciels et de leur consommation
- **Dépendances logicielles :**
 - fragilité du code basé sur des librairies évoluant rapidement, non compatibles, non mises à jour
- **Course au matériel :**
 - intelligence artificielle
 - véhicule autonome
- Et des **problèmes sociétaux et éthiques :**
 - publicités
 - manipulation de l'information / des personnes (addiction, biais cognitifs)
 - violation de la vie privée (surveillance de masse)

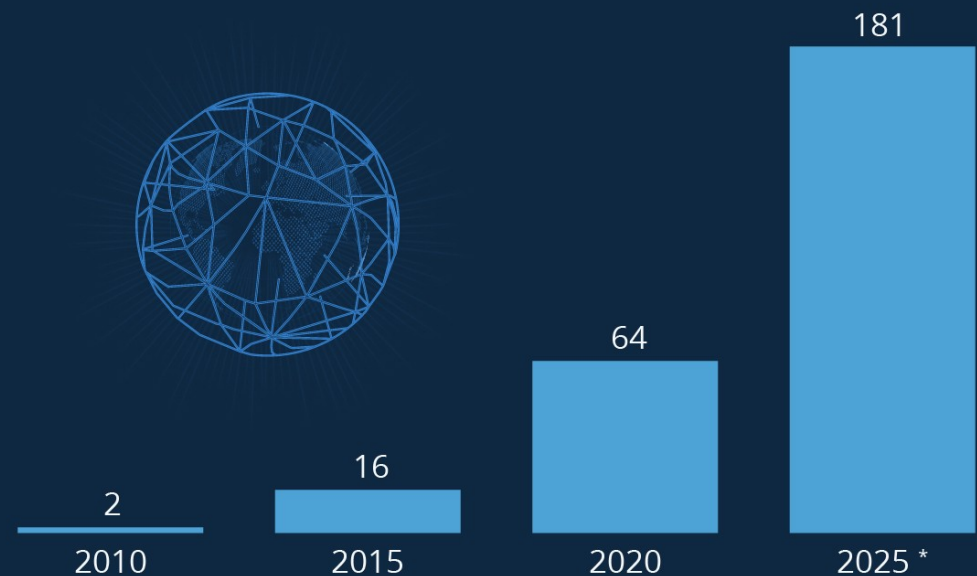


Un volume de données en croissance exponentielle, à cause :

- des usages : vidéos, IA, santé, objets connectés, etc.
- du matériel disponible : fibre optique, 5G, large démocratisation des smartphones

Le Big Bang du Big Data

Estimation du volume de données numériques créées ou répliquées par an dans le monde, en zettaoctets



Un zettaoctet équivaut à mille milliards de gigaoctets.

* Prévision en date de mars 2021.

Sources : IDC, Seagate, Statista



statista



Études au niveau du mésocentre grenoblois





- **Plateforme de calcul DAHU (2019)**
1 heure.coeur de calcul ~ 4.7 g CO₂e
2019 : 8 millions d'heures.coeur ~ 40 t CO₂e
- **Plateforme de stockage Bettik (2019)**
1 Go.an de stockage ~ 12.3 g CO₂e
2019 : 1.4 millions Go.an ~ 17 t CO₂e

Remarque :

- 1 t CO₂e ~ 4 à 6 mois de budget carbone suivant les accords de Paris



Périmètre des études :

- **Fabrication et transport** : serveurs de calcul et de stockage, équipement réseau, bâtiment (pour l'étude sur le stockage uniquement)
- **Usage** : serveurs de calcul et de stockage, équipement réseau
- **Maintenance (personnel)** : déplacements domicile-travail, déplacement professionnels, équipements, énergie du bâtiment



- **Augmentation de la durée de vie des équipements.**
- Adéquation du dimensionnement des infrastructures et des usages.
- Amélioration de l'efficacité énergétique des data centres.
- Utiliser une électricité bas carbone.



Ces leviers ne remettent pas en cause les raisons d'utiliser ces ressources.

On reste sur une vision d'opulence : les ressources numériques sont là, que puis-je faire avec ?



Des pistes d'actions





- **Lors de l'achat :**
 - origines équitables, recyclés, durées de garantie
 - utilisation du marché MatInfo
 - adapter l'infrastructure aux besoins
- **Lors de l'usage :**
 - conserver le matériel le plus longtemps possible
 - mutualiser
- **Lors de la fin de vie :**
 - don, recyclage (filière labellisée et responsable)



- **Éco-conception** de :
 - **services numériques**
 - maîtrise des fonctionnalités, de la consommation,
 - sobriété numérique
- Attention à l'optimisation :
 - une diminution unitaire induit une augmentation globale
 - ▶ **effet rebond**



- **limiter l'utilisation des données :**
 - réfléchir aux besoins
 - réfléchir aux finalités
- **Utiliser des solutions techniques institutionnelles mutualisées :**
 - solutions libres et open source
- **Garantir la réutilisation des données :**
 - principes FAIR, science ouverte



Conclusions





- **(Prendre le temps de) Réfléchir :**
 - accepter le caractère complexe du problème
 - intégrer une pensée systémique
 - mesurer et questionner les besoins et les finalités
 - identifier les leviers d'actions principaux
 - suivre l'évolution des mesures dans le temps
- **Ralentir :**
 - nécessaire pour réfléchir
 - **slow science**

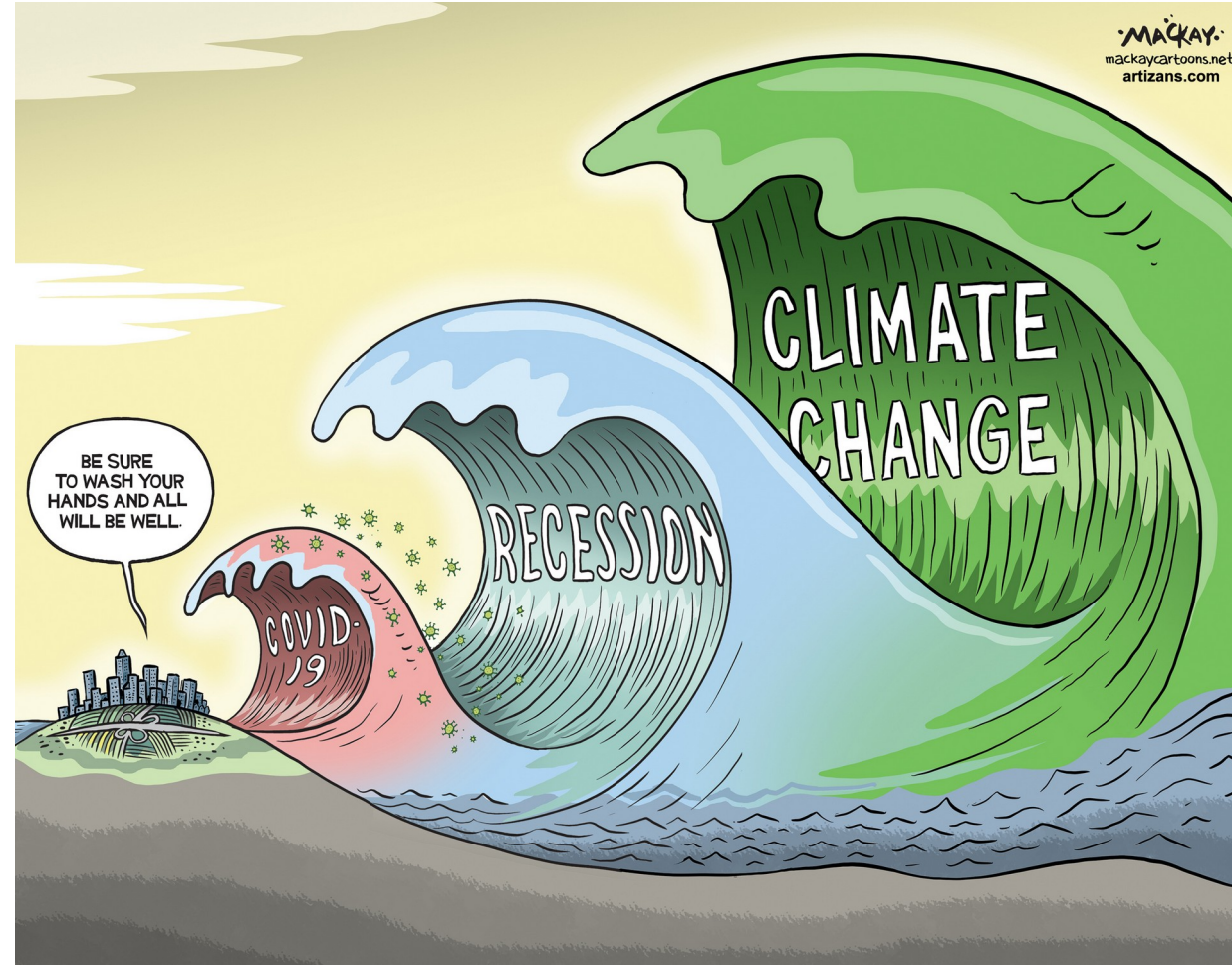


- **Sobriété et résilience :**
 - réaliser le minimum nécessaire, sans créer de nouveaux besoins
 - réfléchir / s'adapter à un environnement contraint



- EcoDiag : pour un parc informatique
<https://ecoinfo.cnrs.fr/ecodiag-calcul/>
- GES 1point5 : pour un laboratoire
<https://www.labos1point5.org/ges-1point5>

- À toutes les étapes du cycle de vie d'un projet de recherche
- **Question du délai d'action** par rapport à la crise climatique.



Dessin humoristique de Graeme MacKay, 2020



FAIRE SA PART ?

POUVOIR ET RESPONSABILITÉ DES INDIVIDUS, DES ENTREPRISES ET DE L'ÉTAT FACE À L'URGENCE CLIMATIQUE

- Tout ne doit pas reposer sur le niveau individuel.
- C'est un système entier à repenser.
- Il est important de travailler au niveau collectif.

2019

11 t CO₂ éq.

Aujourd'hui, en 2019, l'**empreinte carbone moyenne** d'un Français est d'environ **11 tonnes de CO₂ équivalent par an**.

2050

2 t CO₂ éq.

Pour respecter l'**Accord de Paris**, cette empreinte doit être réduite à **2 tonnes de CO₂ éq. par an** d'ici à 2050, soit **une baisse de 80 %**.

QUELLES ACTIONS POUR L'INDIVIDU ?

- 25 %

Les **changements de comportement individuel significatifs** (devenir végétarien, privilégier le vélo, ne plus prendre l'avion...) permettent de **réduire l'empreinte de 25 %** au mieux.

+

- 20 %

Les **actions avec investissement** (rénovation thermique, changement de chaudière, remplacement d'un véhicule à essence ou diesel par un véhicule électrique) **complèteraient la réduction de 20 %**.

=

- 45 %

L'engagement individuel permettrait donc en principe d'engendrer **une baisse de l'empreinte carbone moyenne de près de 45 %**.

N.B. : Au-delà de leur potentiel rôle pédagogique, les « petits gestes du quotidien » (faire le tri, éteindre la lumière...) n'ont pas d'impact significatif sur l'empreinte carbone moyenne des individus.



Mais ces estimations se fondent sur un engagement personnel « héroïque » !

- 20 %

Un engagement individuel « modéré », plus réaliste, permettrait d'atteindre **une baisse de l'empreinte carbone d'environ 20 %** (tous types d'action confondus).

Une réduction qui correspond à **1/4** de l'effort nécessaire pour faire passer l'empreinte carbone de 11 à 2 tonnes de CO₂ équivalent par an.

ET LA PART RESTANTE ?

Notre empreinte carbone est fortement contrainte par l'**environnement social, technique et politique** dans lequel nous vivons.

- 60 %

- Décarbonation de l'industrie
- Décarbonation du système agricole
- Décarbonation du fret
- Décarbonation des services publics
- Décarbonation de l'énergie résiduelle consommée (chaleur, gaz, électricité)

Sur les **80 %** de baisse nécessaires, **60 %** ne pourront être réalisables que grâce à **une impulsion politique et collective**.

11 t CO₂ éq.

- 20 %

- 60 %

2 t CO₂ éq.

Gestes perso.

Action collective

1/4

3/4

Pour que l'empreinte carbone des Français diminue, **les entreprises et l'État** doivent donc aussi **se transformer en profondeur**.

Source : étude Carbone 4 (juin 2019) • www.carbone4.com



carbone4.com, 2019



Aux objectifs de la science ouverte, il est important d'associer les défis climatiques et sociétaux du siècle en cours.



Quelques ressources





- **Groupement de recherche et de services (GDRS) EcoInfo** : *Réduire les impacts environnementaux et sociétaux négatifs des technologies du numérique.*
- **Groupement de recherche (GDR) Labos 1Point5** : *Réduire l'empreinte de nos activités de recherche sur l'environnement.*
- **CAMPUS d'après Grenoble** : *collectif interdisciplinaire issu du milieu académique grenoblois.*
- Didier Mallarino, Sylvie Le Bras, Cyrille Bonamy. ***Les impacts environnementaux et sociétaux des données : un défi pour l'avenir.*** Congrès JRES : Les Journées Réseaux de l'Enseignement et de la Recherche, RENATER, May 2022, Marseille, France. [hal-03702208](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03702208)



Activité





- **En groupe :**

- Quelle sont vos sources d'impacts environnementaux ?
- Comment pouvez-vous les diminuer ?
- Quels sont les freins à ces changements ?

Restitution :

- Quelle sont les principales sources d'impacts environnementaux dans vos thèses ?
- Quels sont les leviers et freins principaux ?