

# **Impact environnemental du numérique**

## **Enjeux et méthodes d'évaluation environnementale**

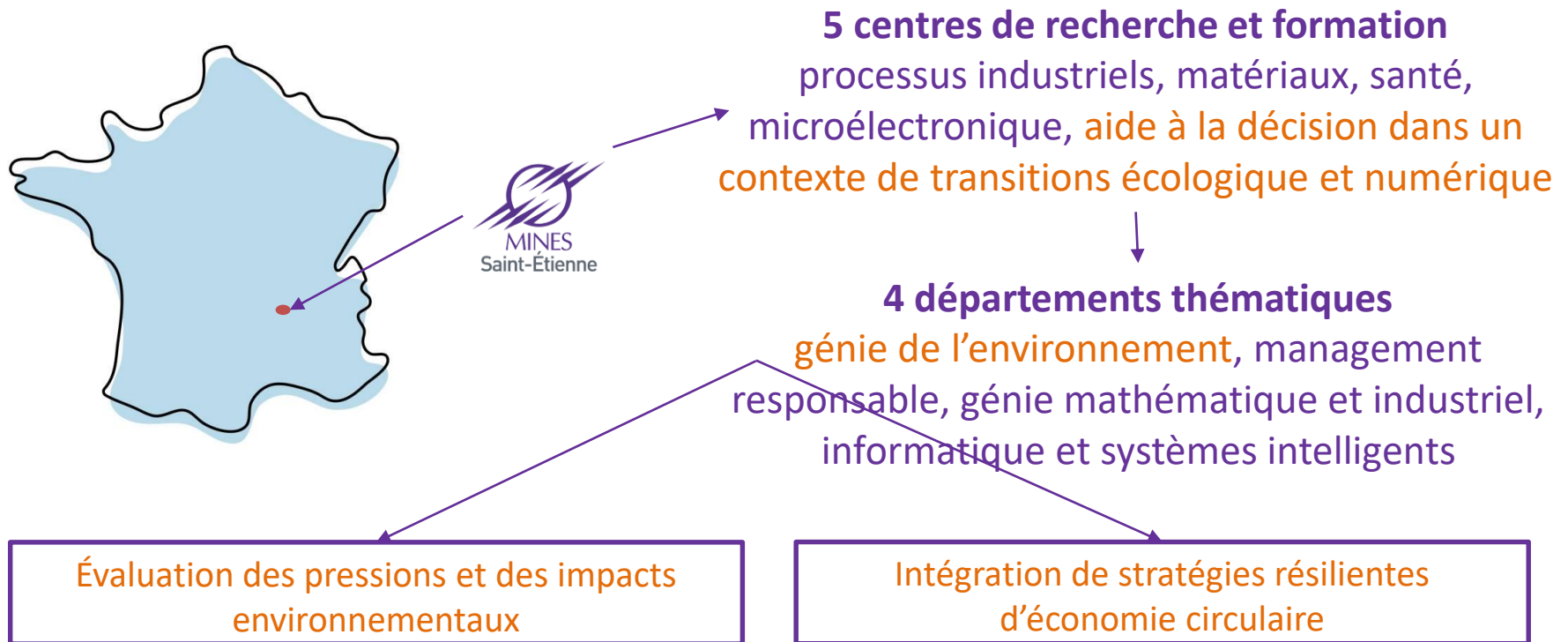
Audrey Tanguy

Enseignante-chercheure en évaluation environnementale et  
économie circulaire

NEC Loire 2025

13 juin 2025

## Avant- propos / Mines Saint-Etienne



- Développement et analyse de scénarios d'évolution de filières selon divers contextes technologiques (low-tech, high-tech)
- Adaptation de méthodes d'évaluation environnementale à l'échelon local (région)

## Déroulé

---

- I. Mise en contexte: numérique et impact environnemental
- II. Méthodes d'évaluation environnementale: philosophie générale et principes
  - I. Bilan des émissions de GES
  - II. Analyse du cycle de vie
  - III. Evaluation de la durabilité environnementale absolue (AESA)
- III. Application des méthodes aux services numériques : quels enseignements ?

## Numérique et Impact environnemental

Extraction et transformation des matières premières

Transport et fabrication des composants

Système de premier plan lié à l'usage

TERMINAUX  
FINAUX



CENTRES DE  
DONNEES

USAGE (*fonction*)



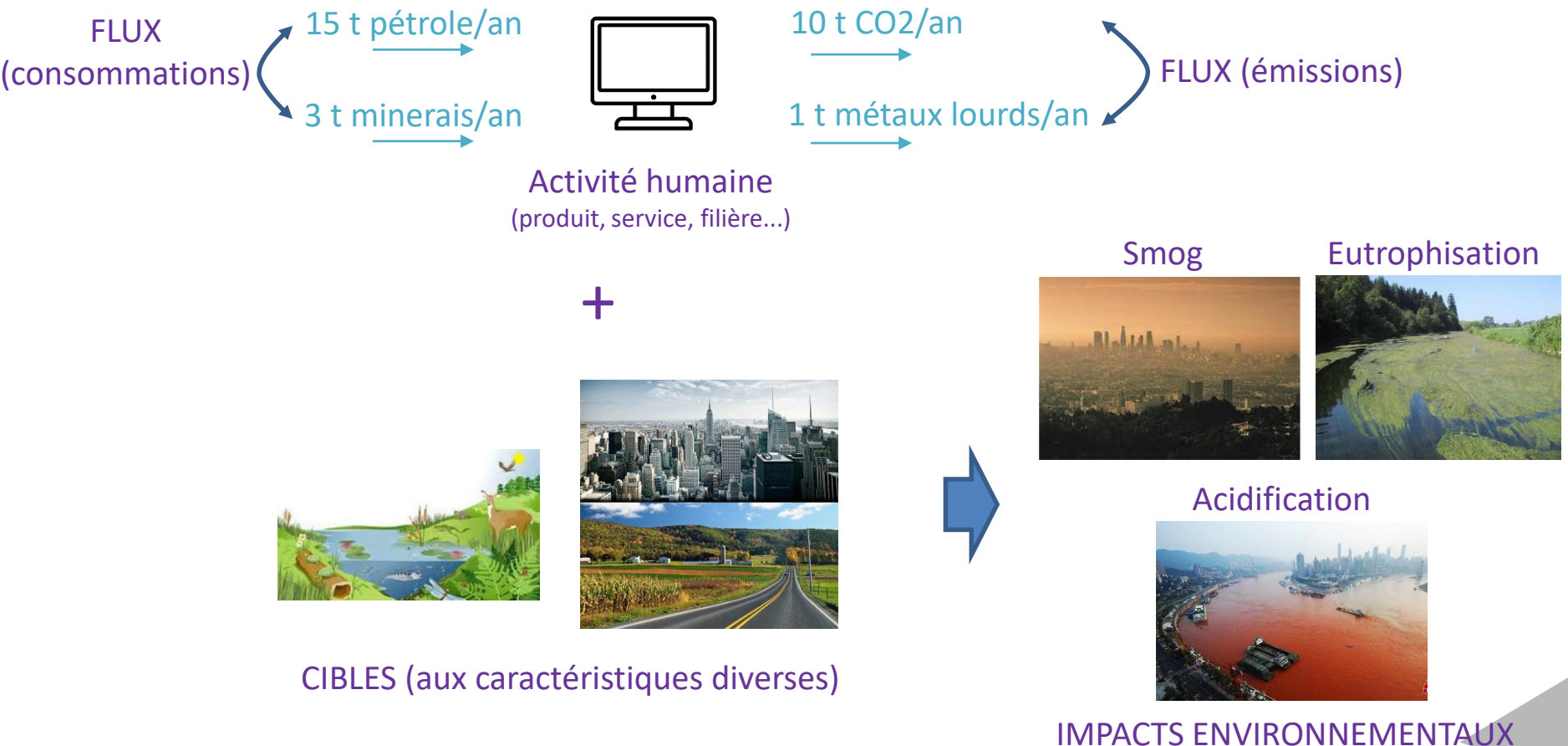
RESEAUX

Transport et fin de vie des composants

Cycle de vie

Activité génératrice d'impact environnemental

## Différence entre émission et impact



# Philosophie de l'évaluation environnementale



Substances  
émises par les  
filières



Mode de vie

$$Impact = \frac{Impact}{Emission} * \frac{Emission}{Production} * \frac{Production}{Besoin} * \frac{Besoin}{Population} * Population$$

D'une activité à  
l'échelle d'une  
société

Impact des  
substances émises  
dans  
l'environnement



Intensité  
technologique des  
filières



Démographie



## Mise en contexte

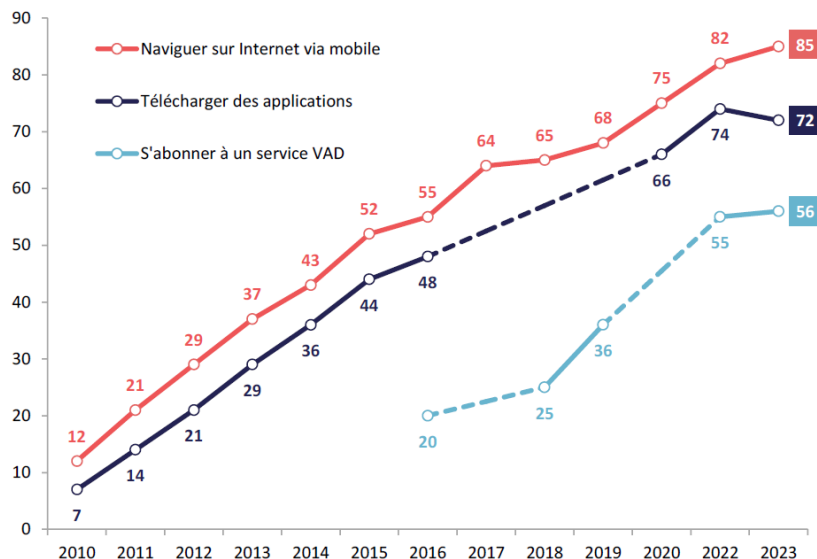
Equipement d'une famille typique  
composée de 4 personnes

2012	2017	2022
2 smartphones	4 smartphones	4 smartphones
2 PC	2 PC portables	2 PC portables
1 tablette	2 tablettes	2 tablettes
1 DSL/câble/fibre/ Wi-Fi + 3G	2 box + 4G	3 box + 5G
1 imprimante et scanner	1 imprimante et scanner	1 imprimante et scanner
1 console de jeux	1 console de jeux	2 consoles de jeux
	1 télévision connectée	3 télévisions connectées
	1 voiture connectée	1 caméra numérique
	1 paire de chaus- sures de sport connectée	2 voitures connectées
		3 terminaux de sport (e-watch)
		7 ampoules intelligentes
		1 terminal de santé connecté
		4 capteurs domestiques

## Enjeux « Mode de vie »

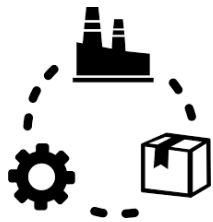


### Mode de vie



## Mise en contexte

# Enjeux « Intensité technologique »



Intensité  
technologique



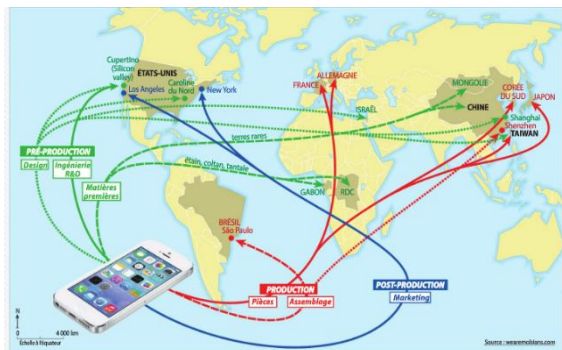
1970s



De nos jours

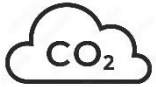
➤ Deux enjeux importants liés à l'évolution du système productif

- **La consommation d'énergie:** augmentation de la puissance de calcul, de la qualité de l'image... au détriment d'une consommation d'énergie accrue (appareils, réseaux et usines de fabrication), même si limitée jusqu'à présent par des gains en efficacité énergétique.
- **La consommation de matières,** et notamment de métaux, de plus en plus nombreux dans les appareils, difficilement récupérables après usage. Cette dépendance a aussi des conséquences sur les distances d'approvisionnement (et donc sur la conso. d'énergie des filières).





# Enjeux « Substances émises par les filières »



Substances  
émises par les  
filieres

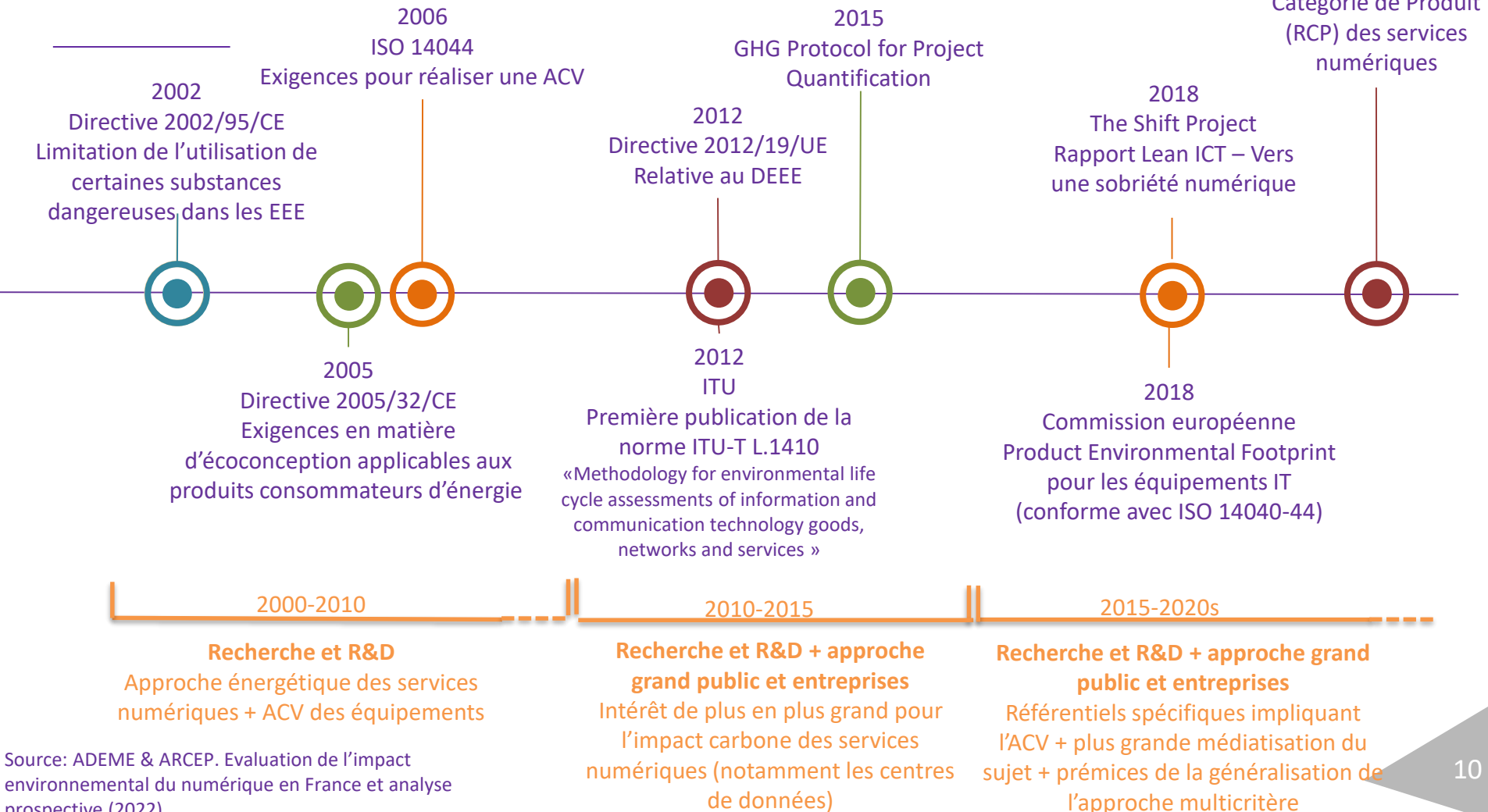


Mine de terres rares à ciel ouvert

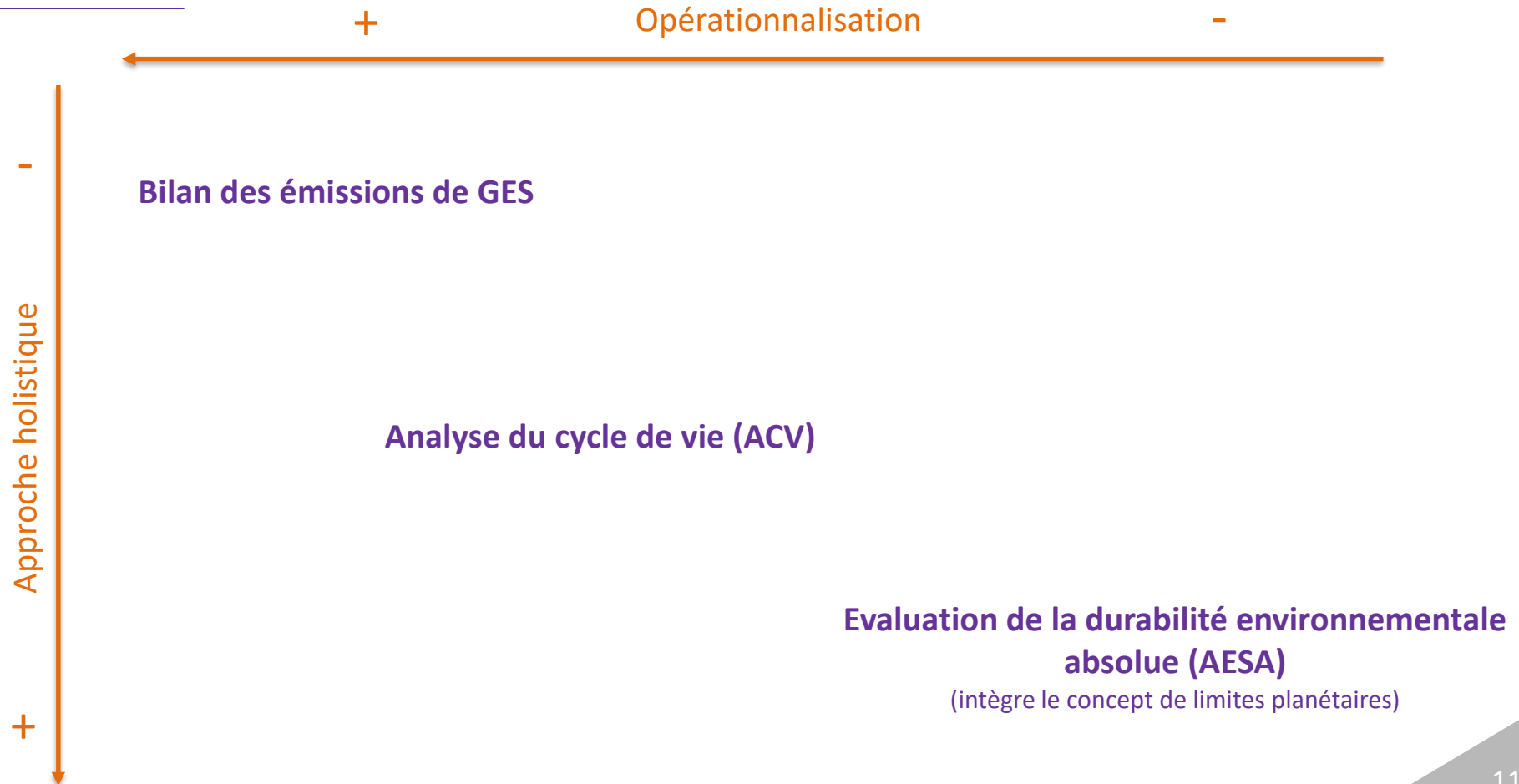
- Sur les terres rares
  - **La consommation d'énergie (fossile) liée à leur extraction** : des minerais peu concentrés (entre 1% et 5% selon le gisement)
  - **La production de déchets miniers, parfois radioactifs**
  - **Pollution chimique liée à leur extraction et traitement**

## Mise en contexte

### Prise en compte des enjeux



# Les méthodes d'évaluation environnementale



## Les méthodes d'évaluation environnementale



Substances  
émises par les  
filières



Mode de vie

$$Impact = \frac{Impact}{Emission} * \frac{Emission}{Production} * \frac{Production}{Besoin} * \frac{Besoin}{Population} * Population$$

Impact des substances  
émises dans  
l'environnement



Intensité  
technologique des  
filières



Démographie



Apport des méthodes d'évaluation environnementale

Considéé comme figé mais peut être compliqué à établir

## Bilan des émissions de GES (ou Bilan Carbone ou empreinte carbone)

Rend compte de la contribution des filières à **un** enjeu environnemental, le changement climatique

$$\text{Impact (kg CO}_2\text{eq)} = \sum \left( F(\text{kg CO}_2\text{eq/g)} * \text{Emission GES (g)} \right)$$

5<sup>ème</sup> rapport d'évaluation du GIEC (2013)

Pouvoir de réchauffement global (PRG) à 100 ans des principaux GES par rapport à 1 kg de CO<sub>2</sub>

**1**



CO<sub>2</sub>

Dioxyde de carbone

**28**



CH<sub>4</sub>

Méthane

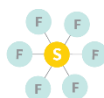
**265**



N<sub>2</sub>O

Protoxyde d'azote

**23 500**



SF<sub>6</sub>

Hexafluorure de Soufre

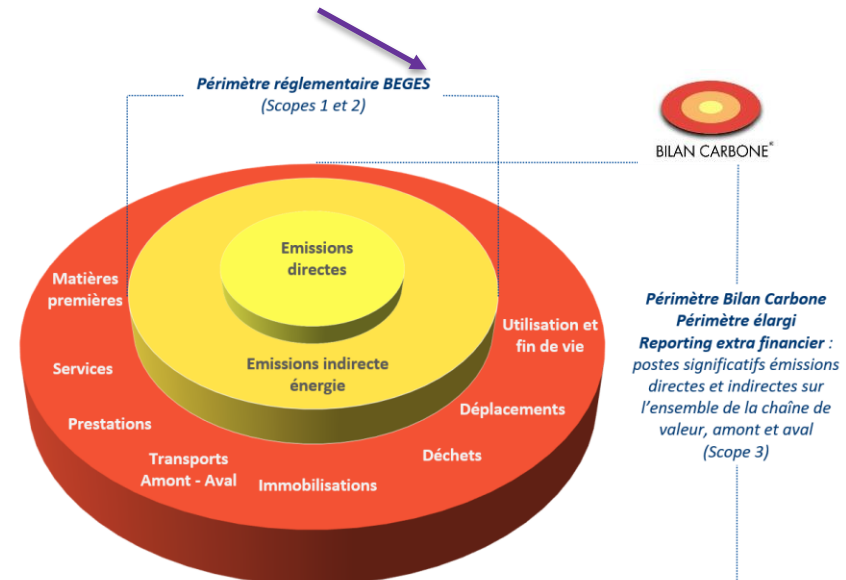
**Le CO<sub>2</sub> : gaz de référence**

L'équivalent dioxyde de carbone (équivalent CO<sub>2</sub>) est l'unité de mesure utilisée pour comparer les émissions des gaz à effet de serre sur la base de leur « **potentiel de réchauffement global** » (PRG), en tenant compte de la durée pendant laquelle ils restent actifs dans l'atmosphère.

Le CO<sub>2</sub> est considéré comme le gaz de référence, son PRG est fixé arbitrairement à 1.

**Durée de vie des GES**

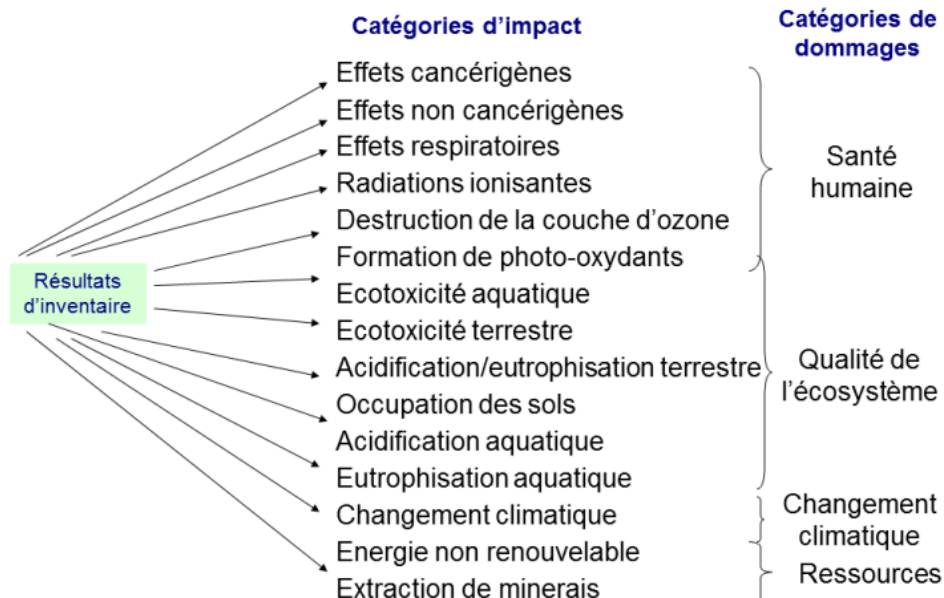
Le temps nécessaire à la disparition de la moitié de la quantité présente d'un gaz donné est appelé « **durée de vie** » de ce gaz. Le CO<sub>2</sub> a une durée de vie variable entre 50 et 200 ans, le méthane, 12 ans et certain gaz, plusieurs siècles... Ainsi, même en cas d'arrêt d'émission immédiat, les effets des GES mettront des décennies voire des siècles à s'estomper...



## Analyse du cycle de vie

Rend compte de la contribution des filières à **plusieurs** enjeux environnementaux, sur tout leur cycle de vie (= multi-critère, multi-étape)

$$\text{Impact}_j (\text{unité-eq}) = \sum_i \left( \text{FC}_{ij} (\text{unité-eq/g}) * (\text{Emission ou consommation})_i (\text{g}) \right)$$



Impacts potentiels

Permet d'éviter les transferts d'impact

# Analyse du cycle de vie

---

L'ACV est normalisée ISO :



- **ISO 14040 - Analyse du Cycle de Vie - Principes et cadre, 2006**
- **ISO 14044 - Analyse du Cycle de Vie – Exigences et lignes directrices, 2006**

Des référentiels existent pour guider la pratique de l'ACV et fixer certains choix méthodologiques dans le cas des services numériques:

- **La norme de l'International Telecommunication Union (ITU) – Série L**
- **Le cadre « Environmental Footprint » du Joint Research Center (pour les équipements IT)**
- **Le référentiel par catégorie de produit (RCP) des services numériques publié par l'ADEME**

# Analyse du cycle de vie

+

Opérationnalisation

-



### ACV Screening

Evaluation de cadrage  
pour évaluer  
rapidement les enjeux  
environnementaux  
(données de sources  
non homogènes)

### ACV Simplifiée

Evaluation simplifiée  
car phase rapide de  
collecte des données  
(données homogènes  
mais secondaires)

### ACV Complète

« Complète » car  
collecte de données  
primaires, itérations  
entre les différentes  
étapes d'analyse



# Exemples de données à collecter pour ACV classique

### TERMINAUX



Caractéristiques des équipements  
Configurations  
Consommation électrique

Profils d'utilisateurs  
Part achats neufs /  
reconditionnés  
Durées de vie ...

### CENTRES DE DONNEES



Equipements et données  
associées  
Consommation électrique  
Localisation

Durées de vie  
Applications hébergées ...

### RESEAUX



Types de réseaux  
Technologies  
Nombre de sites  
Nombre d'équipements  
Nombre d'utilisateurs...

### Bases de données et logiciels disponibles

---



Base de données nationales de l'ADEME regroupant un certain nombre de données collectées par différentes structures: consortium NegaOctet, ecosystem...  
Flux et impacts



Base de données d'inventaire générique  
Grand nombre de jeux de données disponibles, dans tous les secteurs. Compatible avec les logiciels ACV

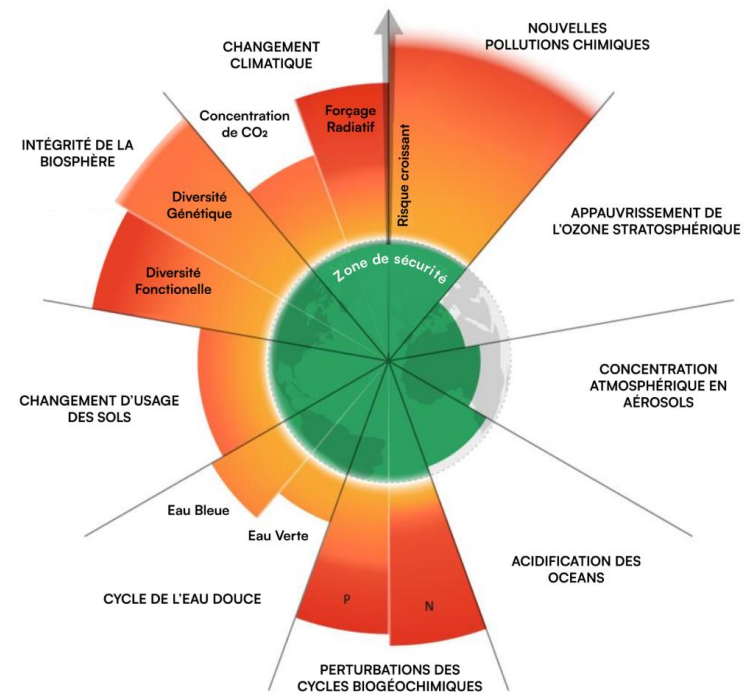
### Principaux logiciels ACV



## Evaluation de la durabilité environnementale absolue (AESA)

Le cadre des limites planétaires →  
intègre les capacités de charge des  
écosystèmes

2023 : 6 Limites dépassées



Source : Stockholm Resilience Center

Traduction : Bon Pote

## Evaluation de la durabilité environnementale absolue (AESA)

Méthode ACV basée sur les limites planétaires

- Propose des facteurs de normalisation qui représentent la capacité de charge à ne pas dépasser pour un.e habitant.e de la Terre

Exemple: 883 kg CO<sub>2</sub>eq/pers.an pour le changement climatique (2019)

- Ce « budget climatique » doit être alloué entre les différents services utilisés par la personne

$$\beta_j = \frac{\text{Impact}_j}{\text{Capacité de chargé allouée}_j} > 1 \rightarrow \text{système non soutenable}$$

- La grande question: quel facteur d'allocation entre « gestion des déchets », « services de santé » et « mobilité » ? → considérations sur l'*utilité* du système

# Evaluation environnementale des services numériques: quels enseignements ?

## Des études à différentes échelles, aux différents objectifs

### France

- Quel est l'impact de l'utilisation des services numériques en France ?
- Quelle part de cet impact vis-à-vis du score national ?
- Quels sont les principaux contributeurs à l'impact ?

### Filière

- Quelle réduction/augmentation d'impact en fonction de l'approvisionnement et/ou de la fin de vie (neuf vs reconditionné) ?
- Quelle distance d'approvisionnement maximum ?

### Entreprise

- Quel est l'impact environnemental du SI ? Quelle contribution de chaque poste ?
- Quels leviers / bonnes pratiques (sobriété numérique) ?

### Produit ou service numérique

- Quel est l'impact du mail / stockage cloud etc. dans l'activité d'un collaborateur ?
- Quel est l'impact d'un serveur à 50% de charge ?

# ACV pour l'analyse d'un secteur: étude de ADEME & ARCEP (2022)

---

## Objectifs

- Etablir un diagnostic quantitatif
- Identifier les principaux contributeurs d'impact
- Identifier les leviers d'amélioration pertinents

« Utiliser les équipements et systèmes basés en France liés aux équipements et infrastructures numériques sur un an »

Unité fonctionnelle

## Quels enseignements ?

# ACV pour l'analyse d'un secteur: étude de ADEME & ARCEP (2022)

Extraction et transformation des matières premières

Transport et fabrication des composants

En France



CENTRES DE  
DONNEES

TERMINAUX  
FINAUX



USAGE



RESEAUX

Transport et fin de vie des composants

Périmètre

Activité génératrice d'impact environnemental

## Quels enseignements ?

# ACV pour l'analyse d'un secteur: étude de ADEME & ARCEP (2022)

---

2,5%

Contribution de 1 an de services numériques à l'**impact carbone** de la France (en 2020)

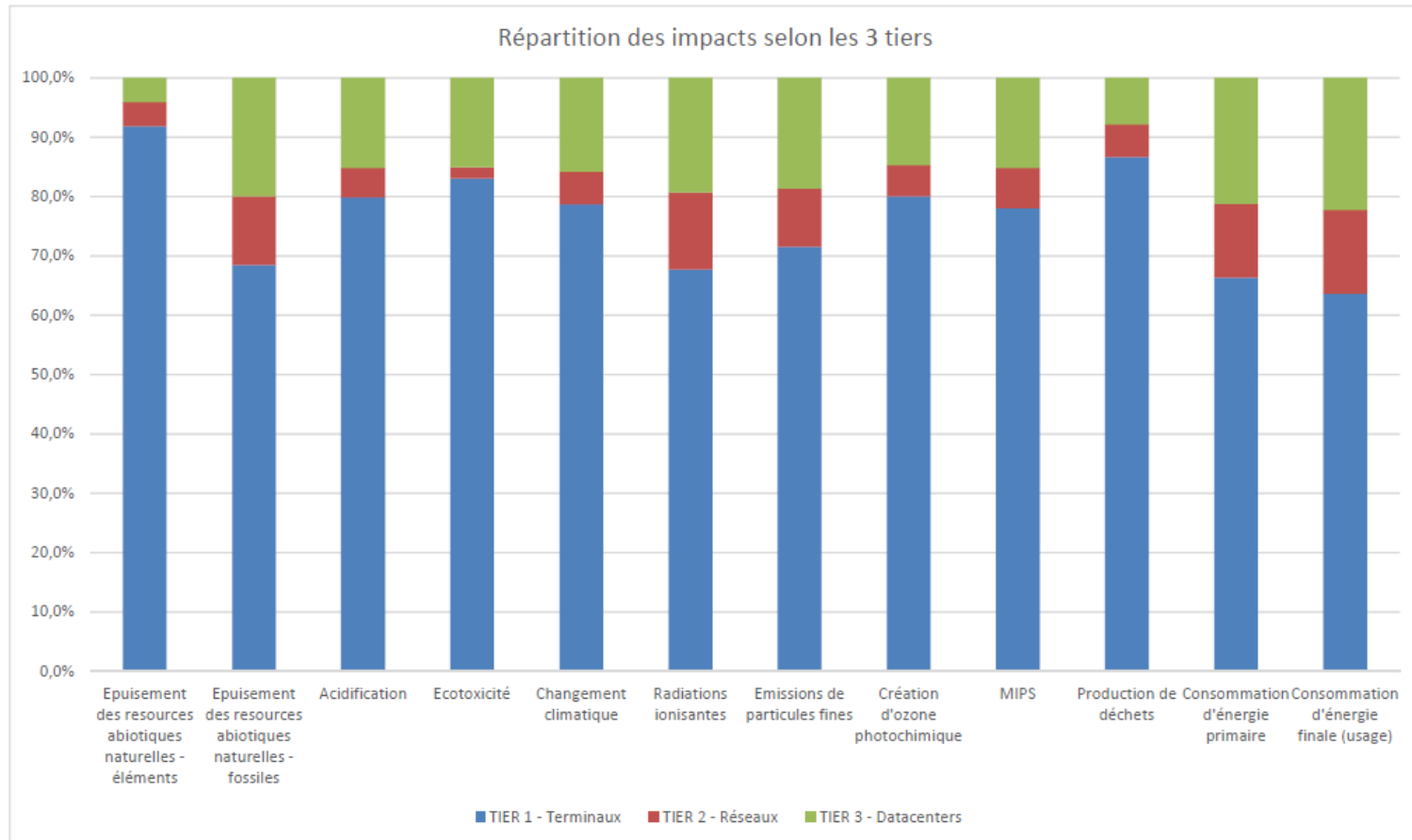
79%

Contribution des terminaux à l'**impact carbone** correspondant à 1 an de services numériques en France (en 2020)



## Quels enseignements ?

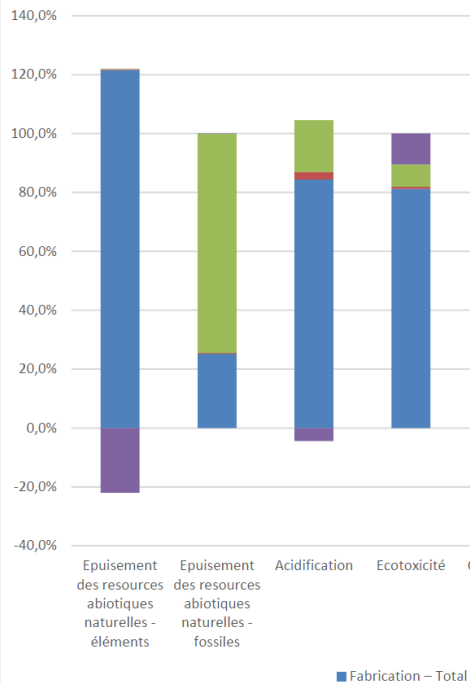
# ACV pour l'analyse d'un secteur: étude de ADEME & ARCEP (2022)



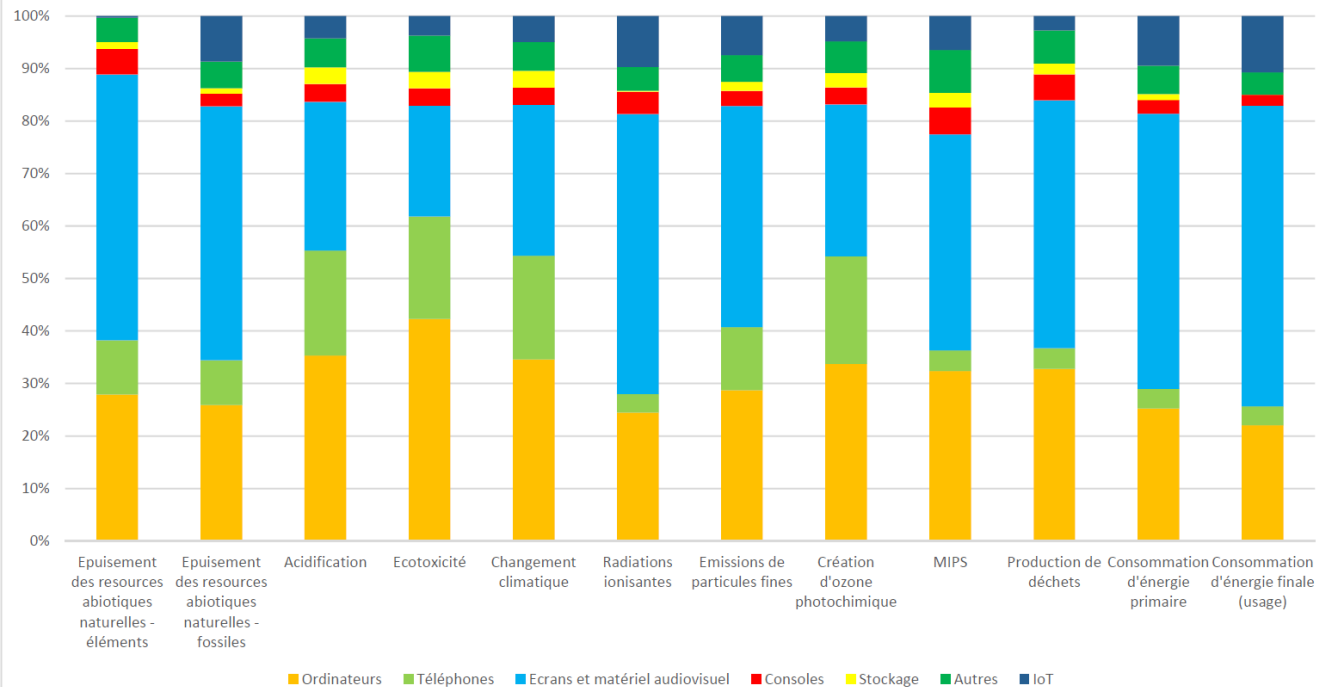
## Quels enseignements ?

# ACV pour l'analyse d'un secteur: étude de ADEME & ARCEP (2022)

Répartition des impacts selon les phases du cycle de vie



Répartition détaillée des impacts - Focus sur les terminaux



## ACV pour l'analyse d'un secteur: étude de ADEME & ARCEP (2022)

---

### Principales recommandations identifiées



- Usages responsables des équipements
- Bonnes pratiques liées à la consommation de contenu et aux pratiques logicielles
- Et, donc, sensibilisation, conduite au changement etc.

## Quels enseignements ?

### Enjeux méthodologiques soulevée par cette étude

- Modélisation du système et collecte des données
  - Multi-composants
  - Dispersé géographiquement
  - Accès aux données difficile (multitude d'acteurs impliqués)
- La problématique de la fin de vie des équipements, peu visible avec l'ACV
- Le choix de la fonction du système n'est pas neutre
  - Fonction « Utiliser » → Recommandations pour les utilisateurs
  - Fonction « Fournir, déployer... » → ?
- Le choix de la méthode n'est pas neutre non plus (ex de l'AESA qui peut ouvrir un débat sur un budget écologique à attribuer à certains services)

## Quels enseignements ?

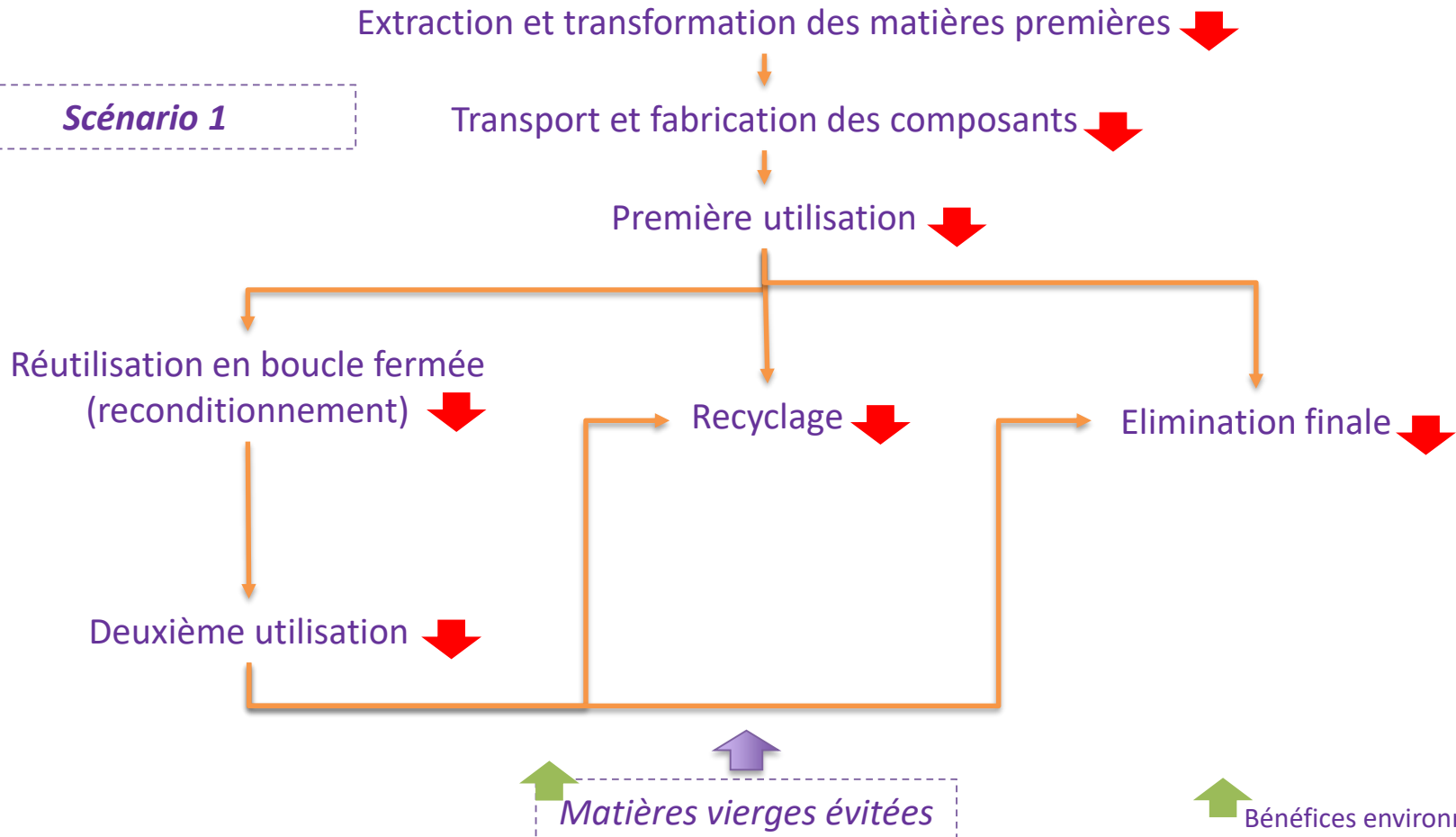
# **ACV pour comparer des alternatives : cas de la réutilisation de matériel informatique**

- Reconditionnement (réutilisation en boucle fermée)
  - 2 scénarios : 1) utilisation puis reconditionnement avec allongement de la durée d'usage de l'ordinateur et 2) utilisation puis recyclage de certains composants
  - Les deux scénarios remplissent la même fonction : « 1 an d'accès à un ordinateur » (même usage)

## Quels enseignements ?

# ACV pour comparer des alternatives : cas de la réutilisation de matériel informatique

### Scénario 1



## Quels enseignements ?

# ACV pour comparer des alternatives : cas de la réutilisation de matériel informatique

*Scénario 2*

Extraction et transformation des matières premières ↓

Transport et fabrication des composants ↓

Première utilisation ↓

Recyclage ↓

Elimination finale ↓

*Matières vierges évitées*

Bénéfices environnementaux

## Quels enseignements ?

# **ACV pour comparer des alternatives : cas de la réutilisation de matériel informatique**

### ➤ Principaux résultats:

- Le scénario avec reconditionnement présente une réduction d'impact par rapport au scénario sans reconditionnement, sur les 15 catégories d'impact évaluées (-28% à -50% selon la catégorie)
- Deux paramètres de modélisation semblent être décisifs : allongement de l'usage (nombre d'années d'usage en plus, taux d'ordinateurs reconditionnés) et le taux de recyclage

### ➤ Points de vigilance

- Hypothèse d'une fonctionnalité identique entre ordinateurs reconditionnés et neufs
- Réseau de redistribution des ordinateurs reconditionnés optimisé dans ce cas



## Quels enseignements ?

# **ACV pour comparer des alternatives : cas de la réutilisation de matériel informatique**

- Une autre étude a montré que:
  - Les avantages environnementaux de la réutilisation (et notamment en boucle ouverte) de matériel informatique ne sont pas systématiques
  - Paramètres influents: la durée de vie de l'équipement reconditionné par rapport au neuf, le poids, la composition, la distance d'approvisionnement, la consommation électrique spécifique
  
- Sur l'ACV
  - Ces études illustrent la nécessité de la collecte d'informations détaillées sur l'usage (ou, a minima, de faire des analyses de sensibilité)
  - Il faut être prudent sur les généralisations – des résultats à interpréter

## Conclusions

- L'évaluation environnementale de produits et services numériques est un exercice utile, même si complexe:
  - Permet de démêler, cartographier un système multi-composants, multi-acteurs, multi-pays ; le rendre plus lisible (même si simplifié)
  - Pose des chiffres sur l'impact des activités du secteur (qui s'inscrit fortement dans une économie thermo-industrielle)
  - Met en lumière des menaces de transferts d'impact (entre changement climatique et épuisement des ressources abiotiques, par exemple)
- Quelques points de vigilance
  - Des résultats qui restent toujours à interpréter en fonction des hypothèses posées et de la fonction définies au départ
  - L'ACV classique ne permet pas de raisonner sur:
    - Le but / finalité / utilité des systèmes qui sont évalués
    - La capacité du système Terre à absorber les impacts (même réduits au maximum) de nouveaux produits / services
    - Cela influe sur le type de recommandations proposées



**MINES**  
**Saint-Étienne**

Une école de l'IMT

**Merci beaucoup!**  
**[audrey.tanguy@emse.fr](mailto:audrey.tanguy@emse.fr)**



MINISTÈRE DE L'ÉCONOMIE  
ET DES FINANCES



**INSPIRING  
INNOVATION**  
SINCE 1816