

Impact environnemental du numérique

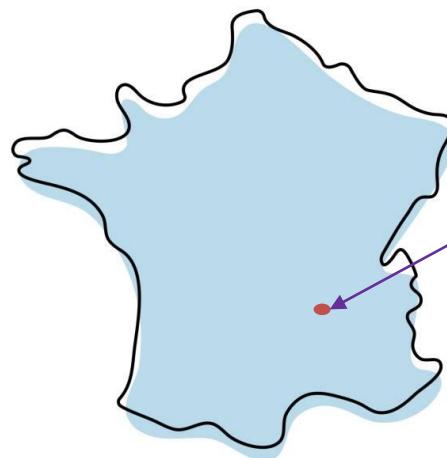
Enjeux et méthodes d'évaluation environnementale

Audrey Tanguy

Enseignante-chercheure en évaluation environnementale et
économie circulaire

NEC Loire 2025
13 juin 2025

Avant- propos / Mines Saint-Etienne



5 centres de recherche et formation
processus industriels, matériaux, santé,
microélectronique, aide à la décision dans un
contexte de transitions écologique et numérique

4 départements thématiques
génie de l'environnement, management
responsable, génie mathématique et industriel,
informatique et systèmes intelligents

Évaluation des pressions et des impacts
environnementaux

Intégration de stratégies résilientes
d'économie circulaire

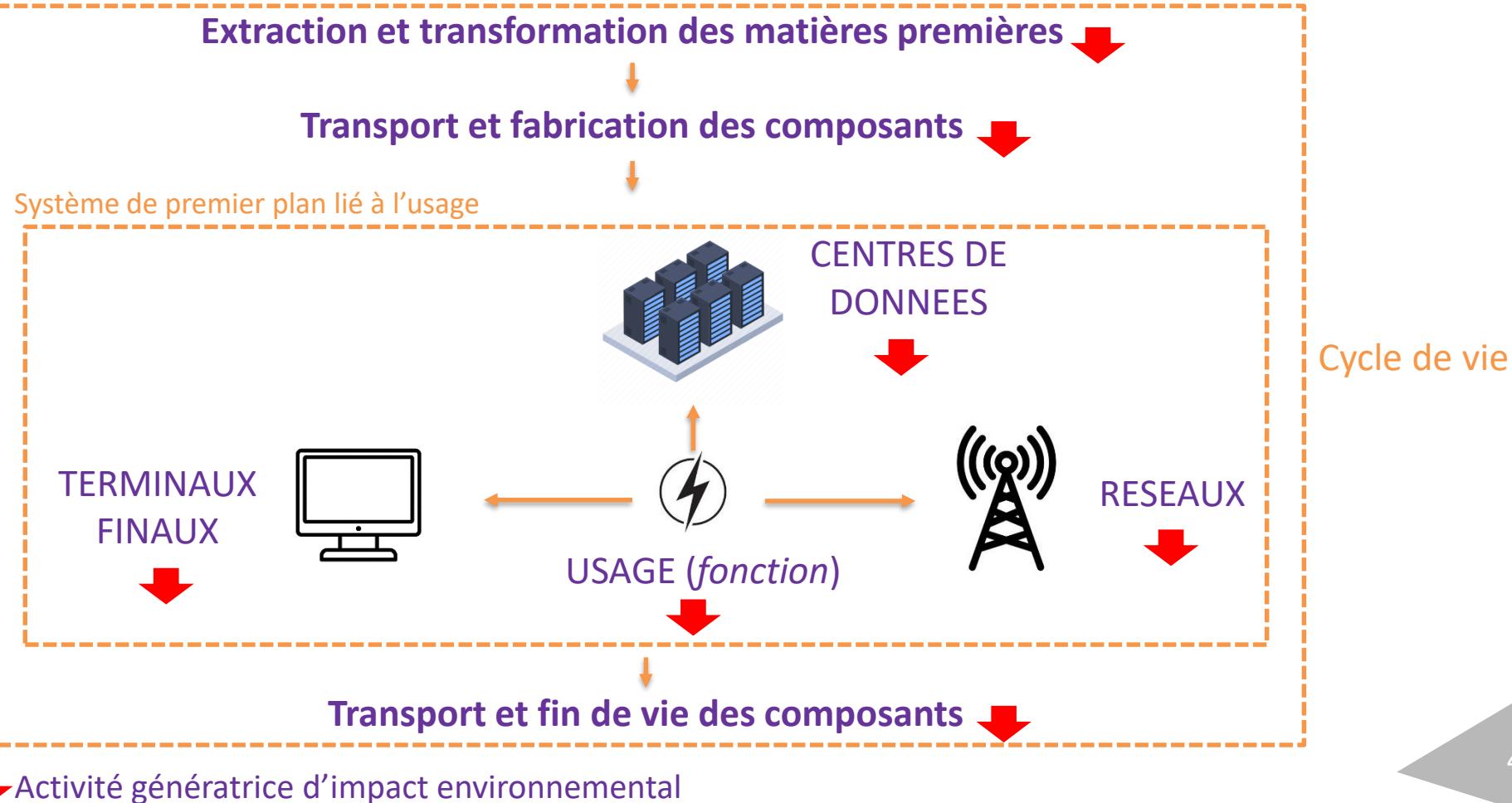
- Développement et analyse de scénarios d'évolution de filières selon divers contextes technologiques (low-tech, high-tech)
- Adaptation de méthodes d'évaluation environnementale à l'échelon local (région)

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 (AES)
- III. Application des méthodes aux services numériques : quels enseignements ?

Mise en contexte

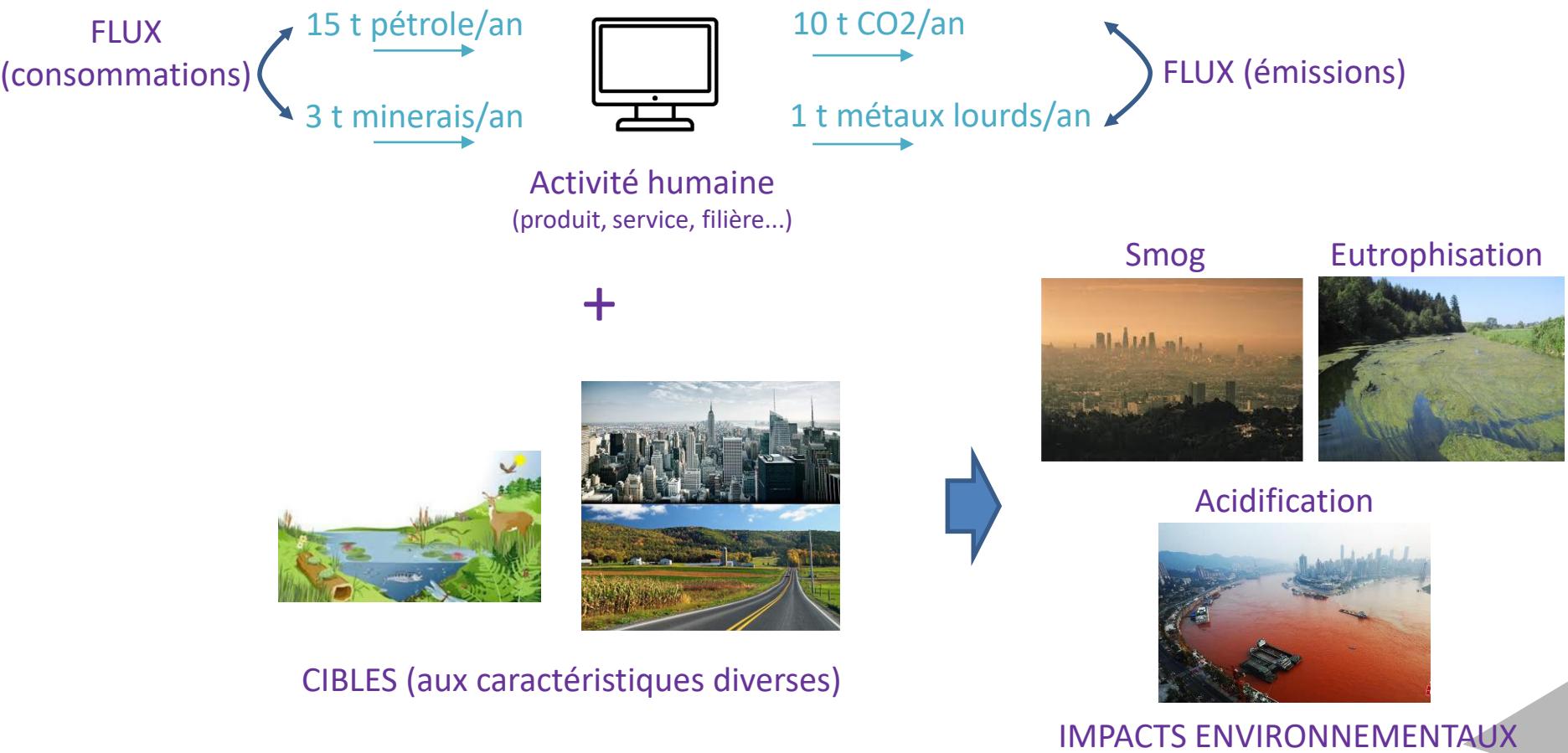
Numérique et Impact environnemental





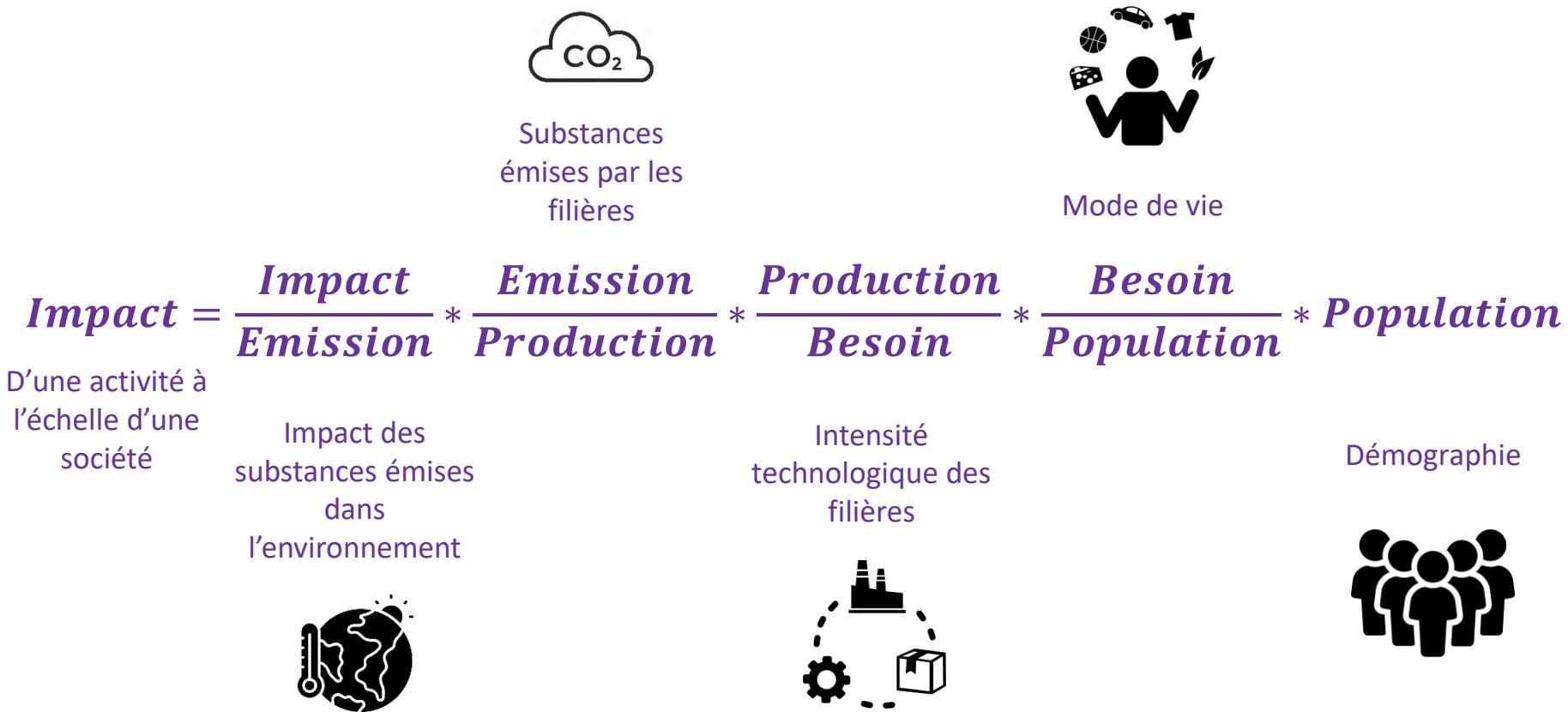
Mise en contexte

Différence entre émission et impact



Mise en contexte

Philosophie de l'évaluation environnementale

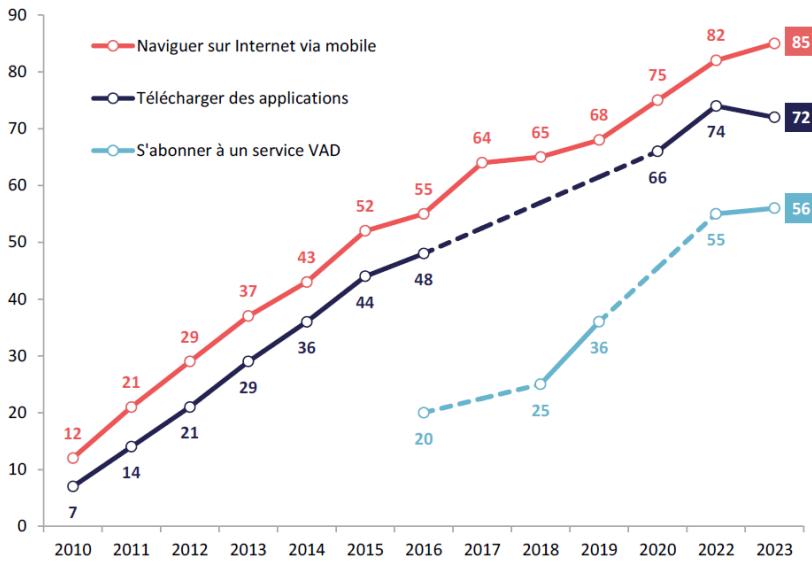


Mise en contexte

Enjeux « Mode de vie »



Mode de vie



Source: Baromètre du numérique 2024

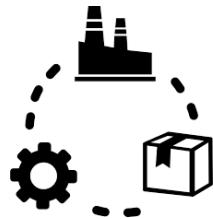
Equipement d'une famille typique composée de 4 personnes

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 chaussures de sport connectée	2 voitures connectées
		3 terminaux de sport (e-watch)
		7 ampoules intelligentes
		1 terminal de santé connecté
		4 capteurs domestiques

Source: Flipo, F. La numérisation du monde. Un désastre écologique (2023)

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).



Source: Flipo, F. La numérisation du monde. Un désastre écologique (2023)

Mise en contexte

Enjeux « Substances émises par les filières »



Substances
émises par les
filières

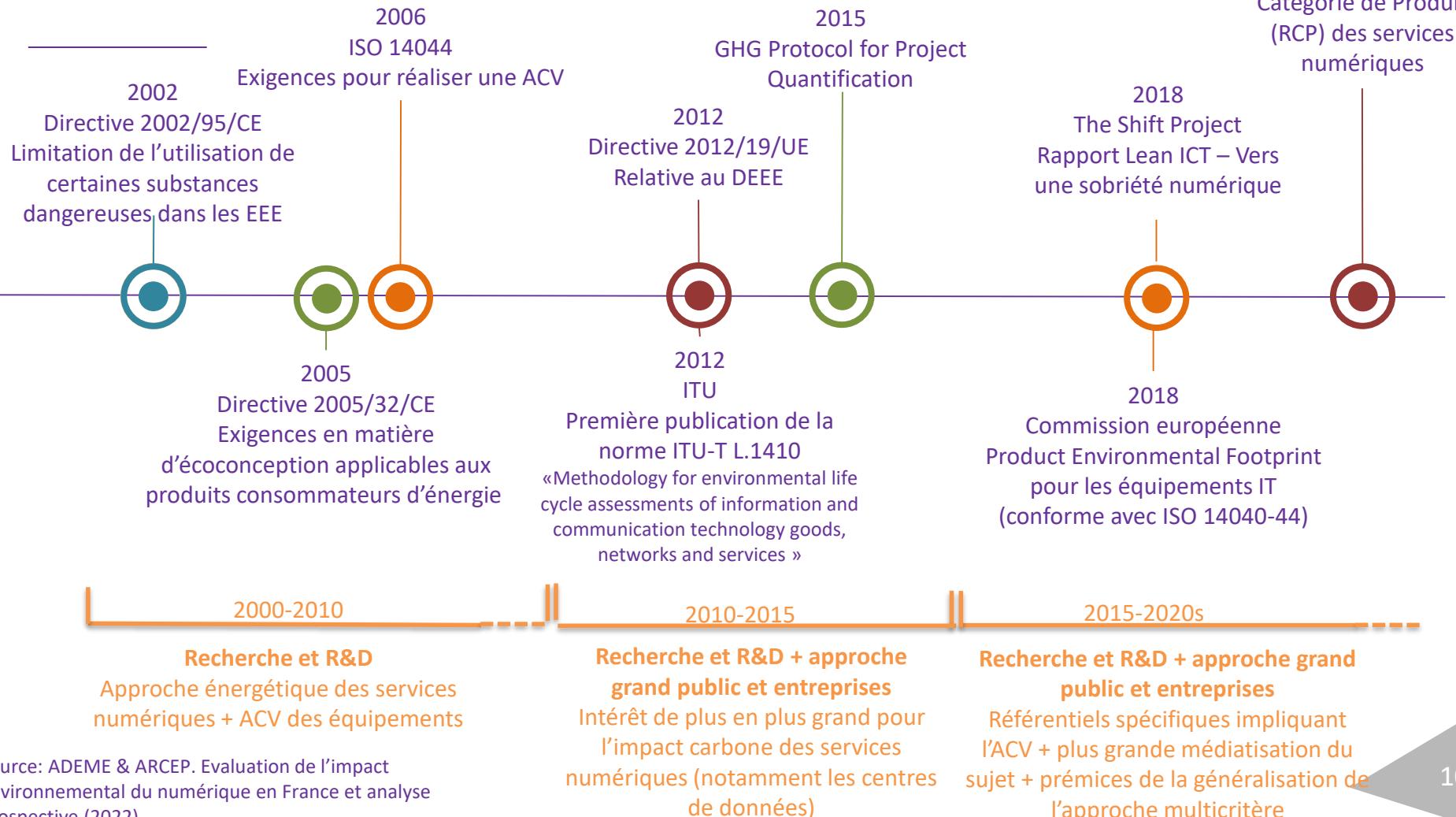


Mine de terres rares à ciel ouvert

- 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

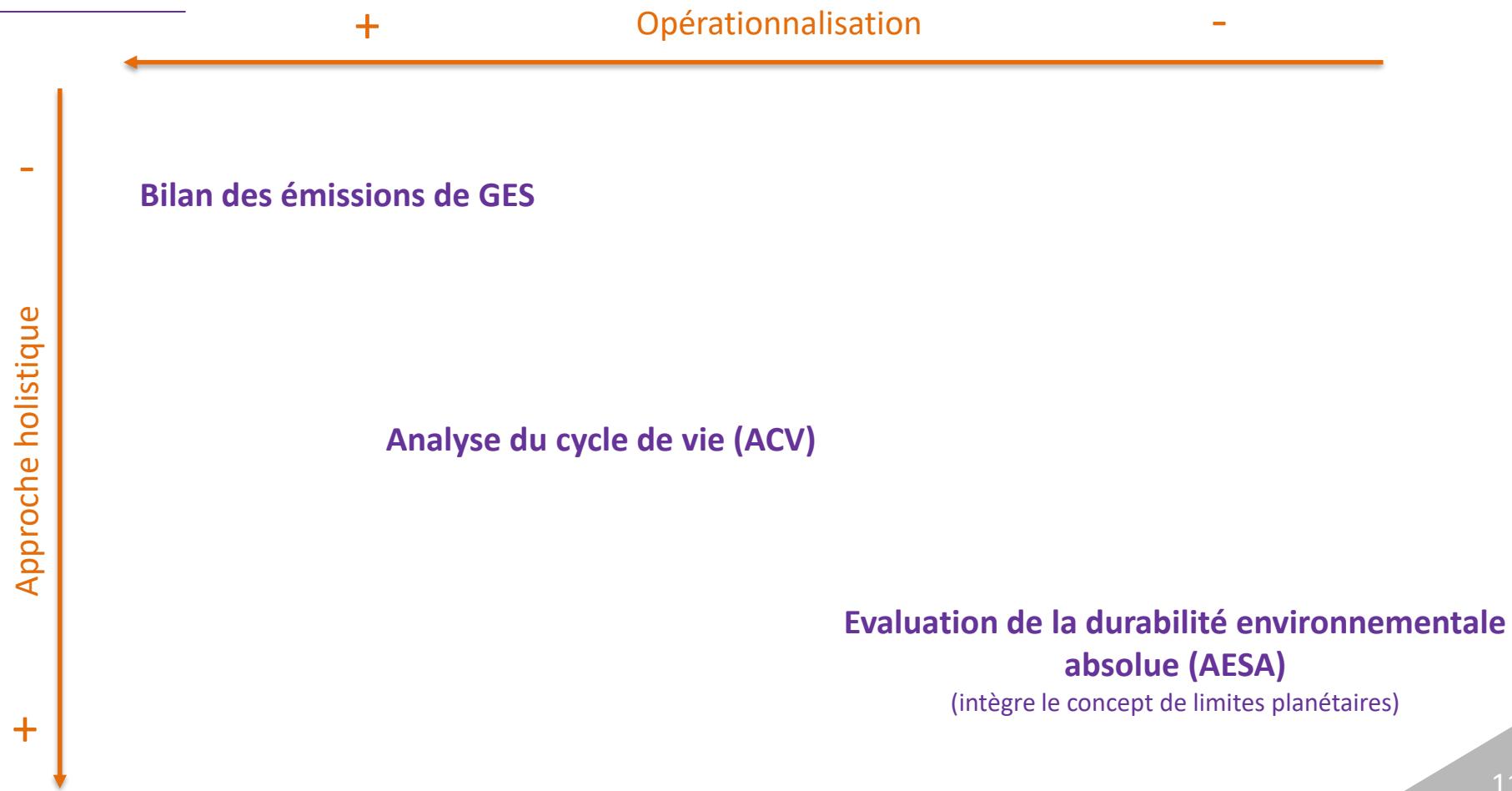
Mise en contexte

Prise en compte des enjeux



Méthodes

Les méthodes d'évaluation environnementale



Méthodes

Les méthodes d'évaluation environnementale



Substances
émises par les
filières

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

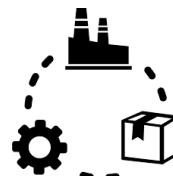
Impact des substances
émises dans
l'environnement



Mode de vie

$$\frac{Production}{Besoin} * \frac{Besoin}{Population} * Population$$

Intensité
technologique des
filières



Démographie

Apport des méthodes d'évaluation environnementale

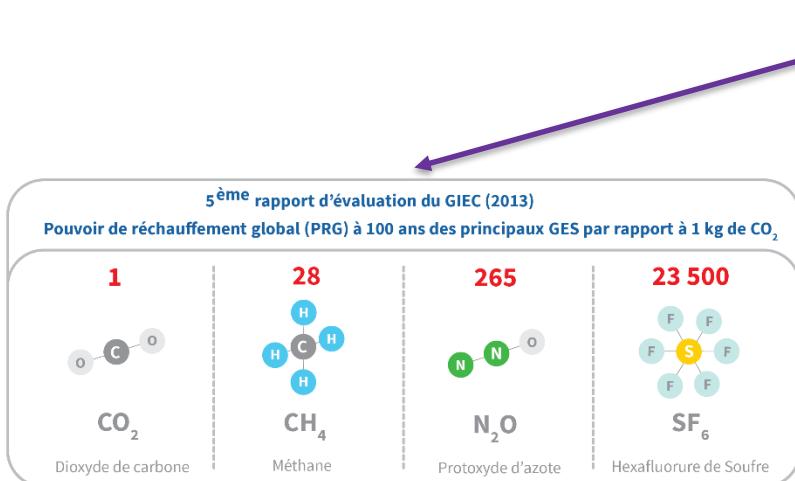
Considéré comme figé mais peut être compliqué à établir

Méthodes

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

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



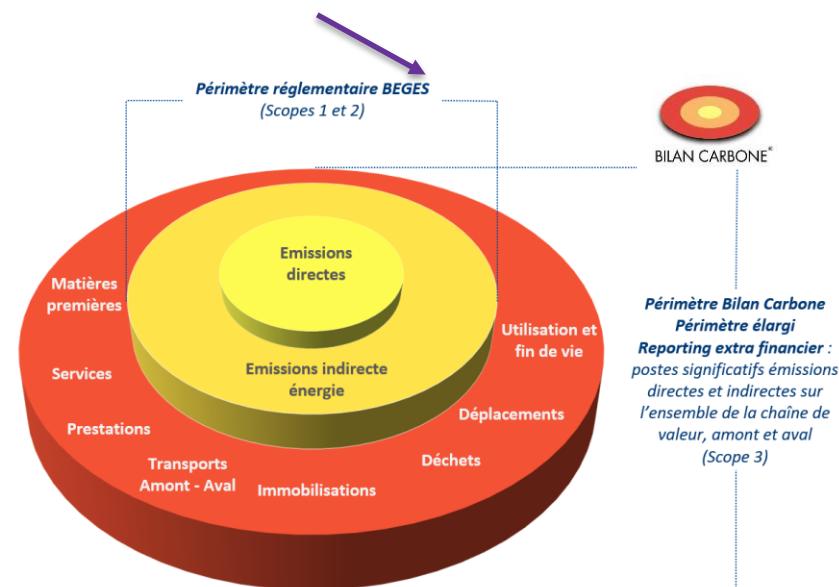
Le CO₂ : gaz de référence

L'équivalent dioxyde de carbone (équivalent CO₂) 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 CO₂ 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 CO₂ a une durée de vie variable entre 50 et 200 ans, le méthane, 12 ans et certains 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...

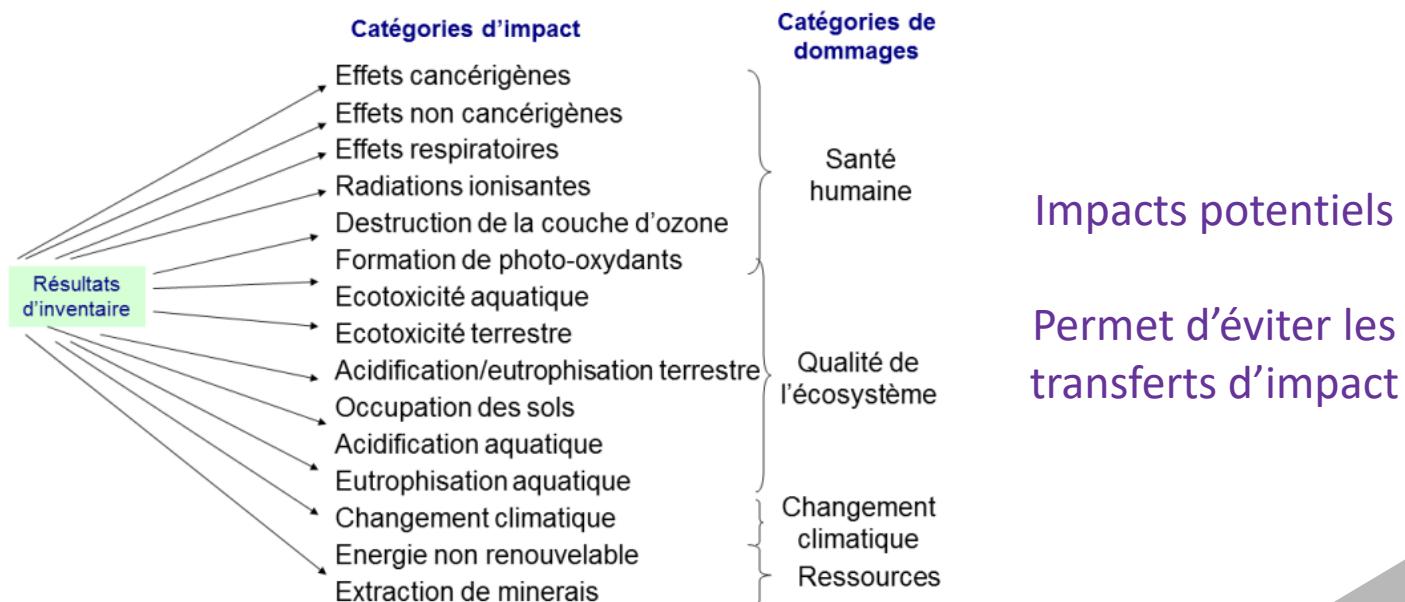


Méthodes

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)

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



Méthodes

Analyse du cycle de vie

L'ACV est normalisée ISO :



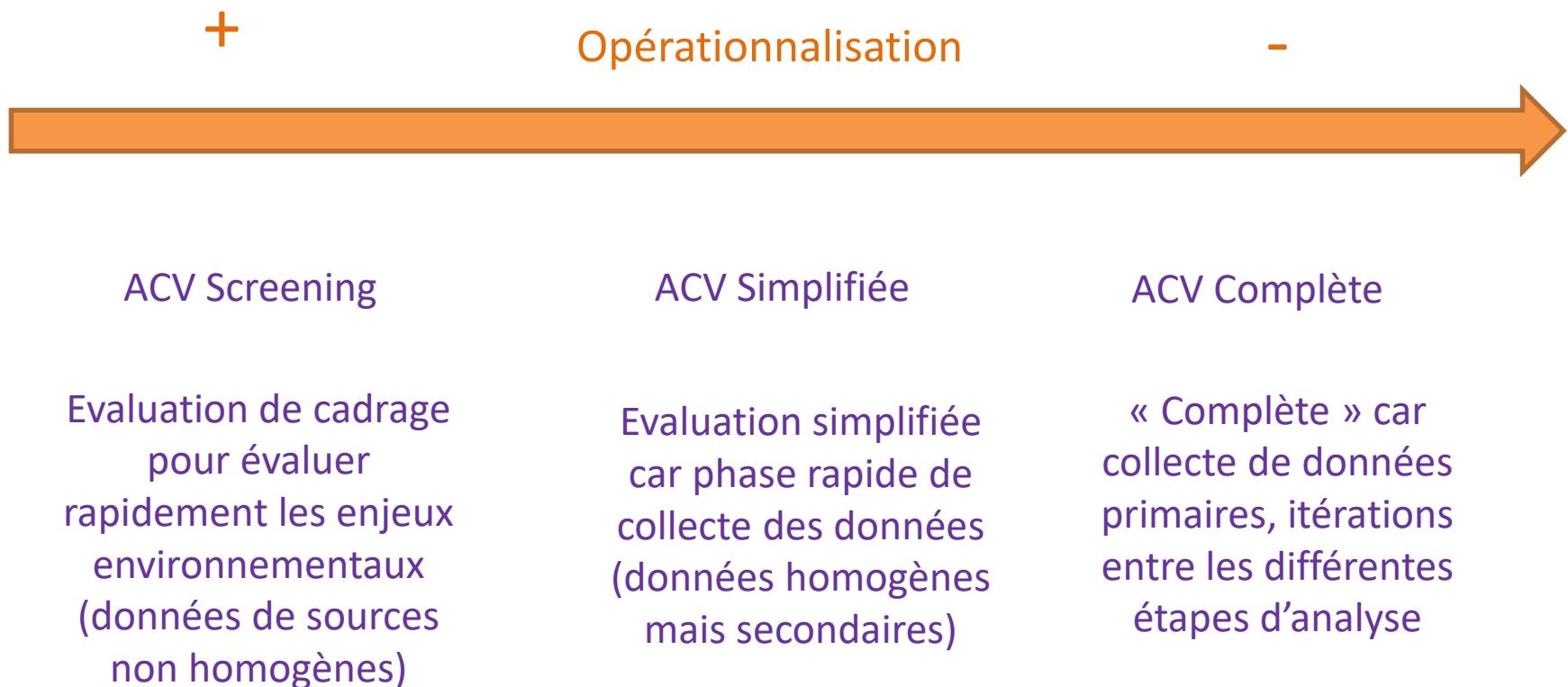
- ISO 14040 - Analyse du Cycle de Vie - Principes et cadre, 2006
- ISO 14044 - Analyse du Cycle de Vie – Exigences et lignes directrices, 2006

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

Méthodes

Analyse du cycle de vie



Méthodes

Exemples de données à collecter pour ACV classique

TERMINAUX



Caractéristiques des équipements
Configurations
Consommation électrique

Profils d'usagers
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...

Méthodes

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

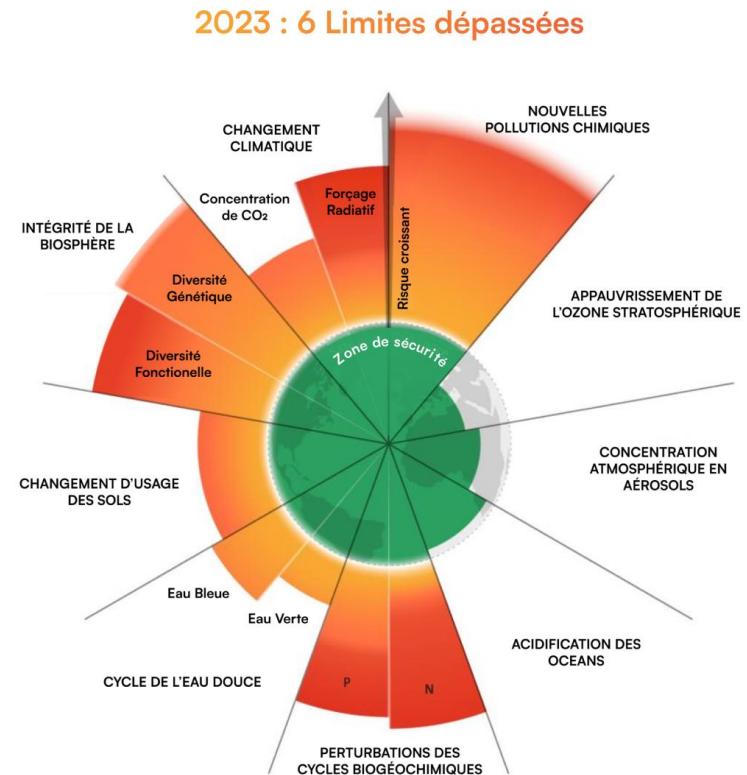
Principaux logiciels ACV



Méthodes

Evaluation de la durabilité environnementale absolue (AESA)

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



Source : Stockholm Resilience Center Traduction : Bon Pote

Source: N. Gondran Le cadre des limites planétaires - Zoom sur le changement climatique et le bilan des émissions de GES (2022)

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 CO₂eq/pers.an pour le changement climatique (2019)

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

$$\beta_j = \frac{Impact_j}{Capacité de chargé allouée_j} > 1 \rightarrow \text{système non soutenable}$$

- 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

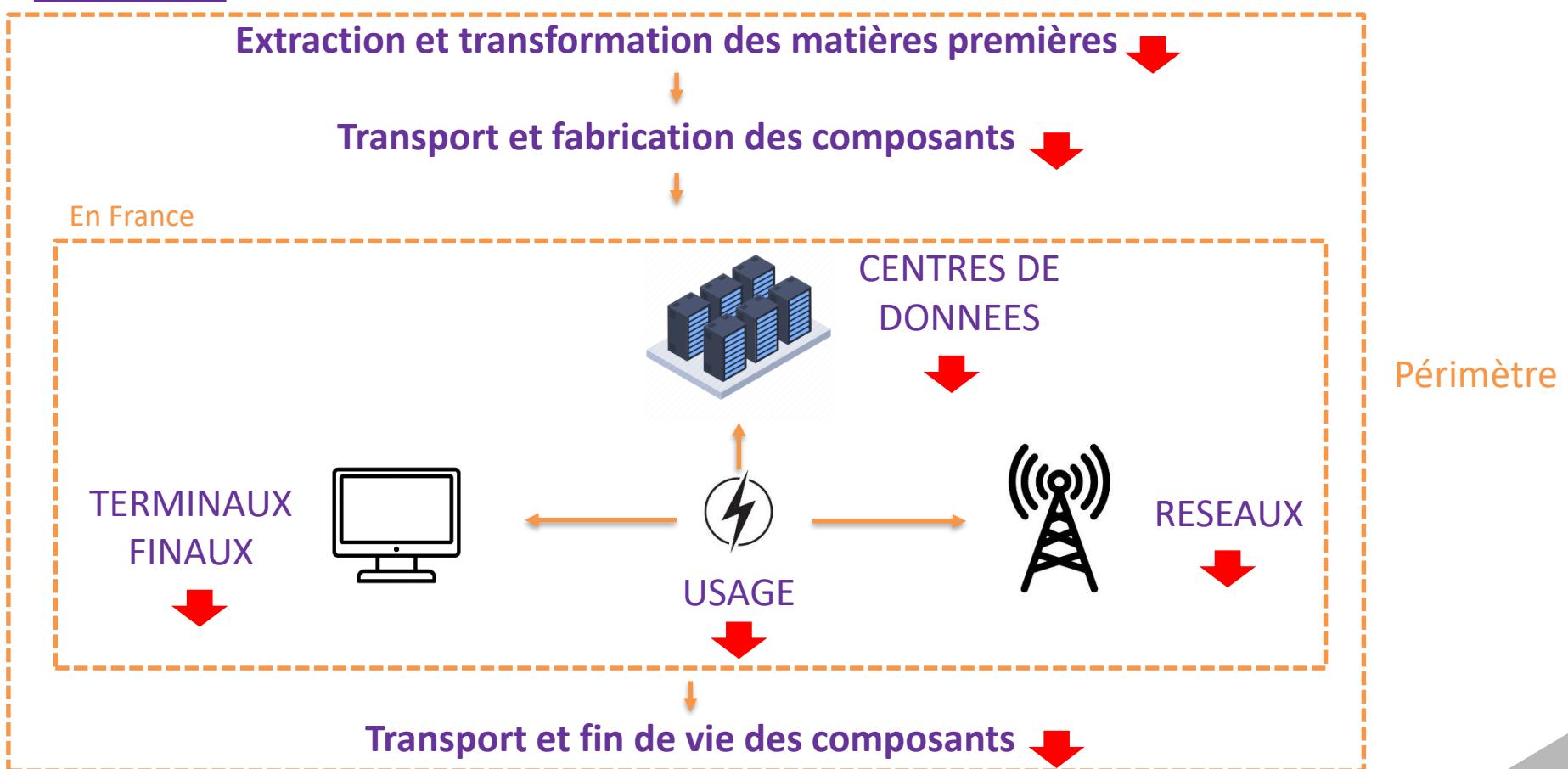
- Etablir un diagnostic quantitatif
- Identifier les principaux contributeurs d'impact
- Identifier les leviers d'amélioration pertinents

« 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)



Quels enseignements ?

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

2,5%

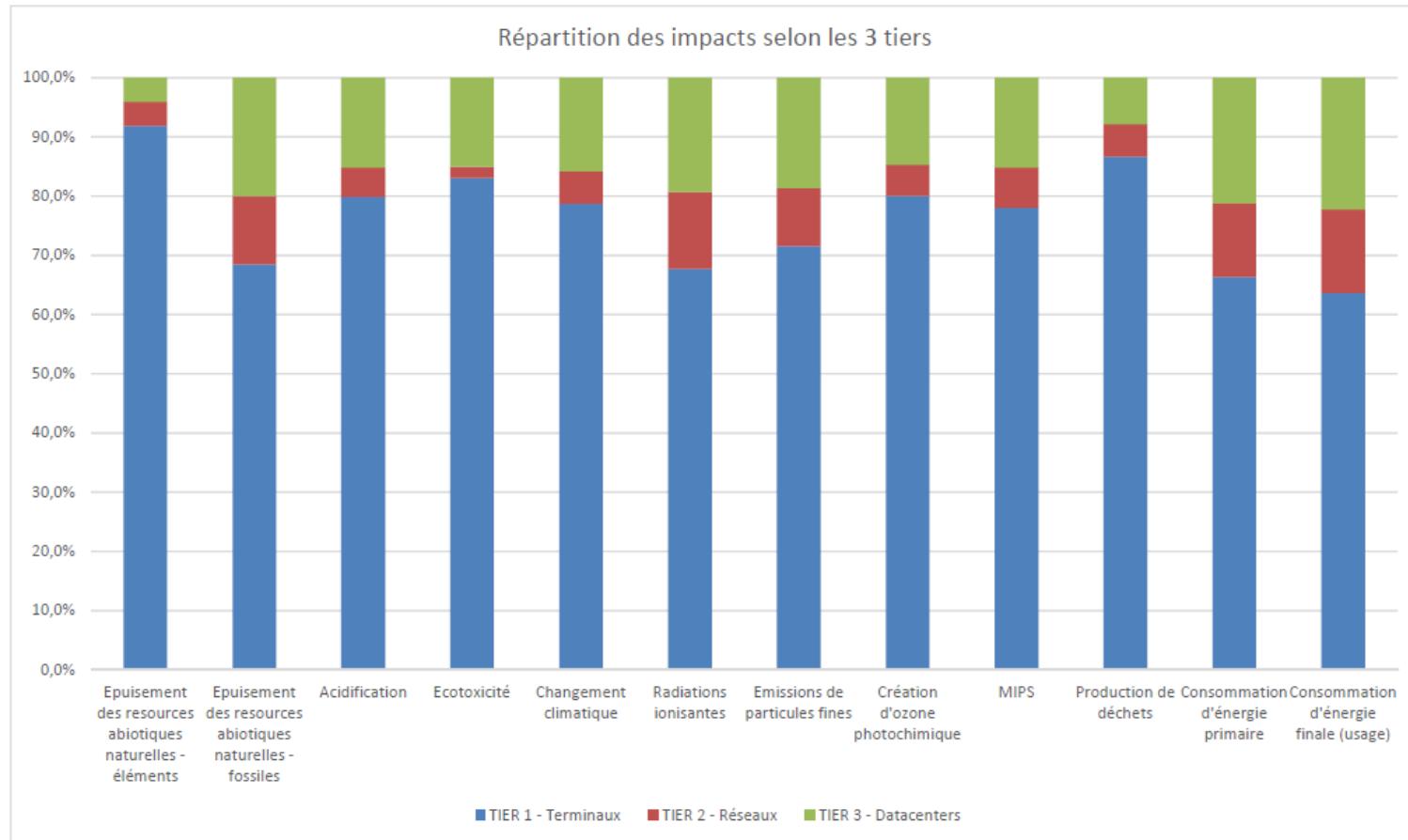
Contribution de 1 an de services numériques à l'**impact carbone** de la France (en 2020)

79%

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

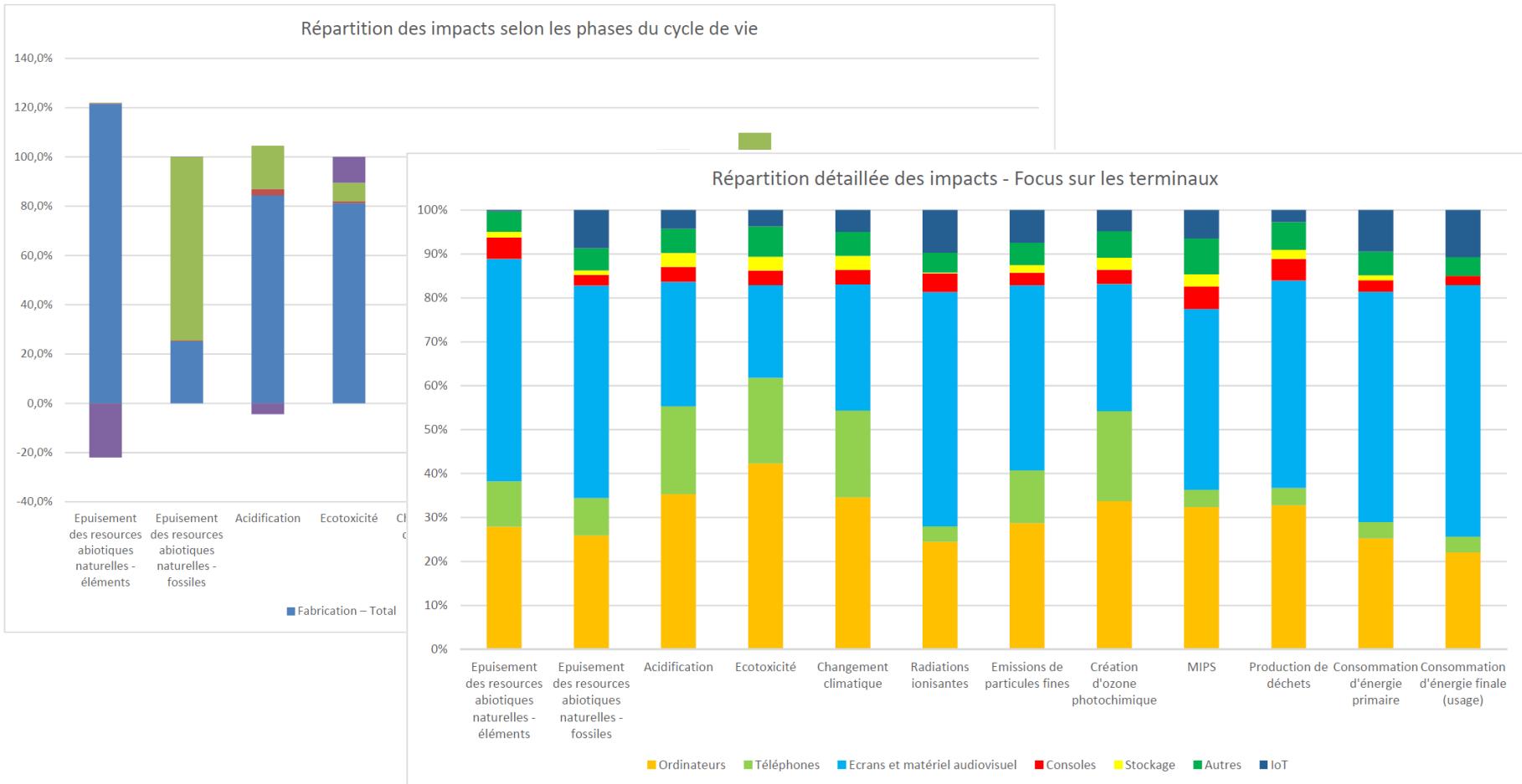
Quels enseignements ?

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)



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)

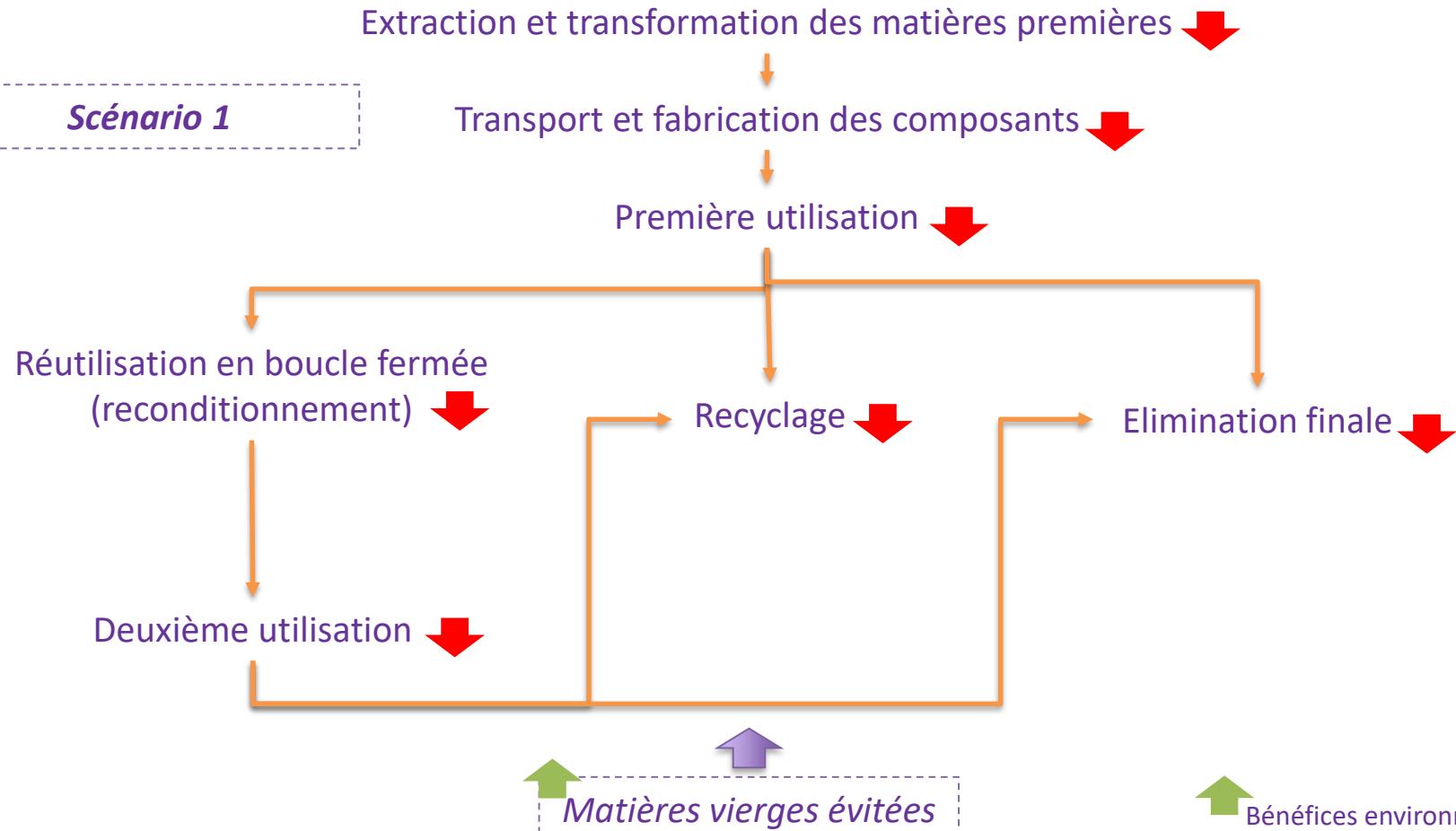
Quels enseignements ?

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 ?

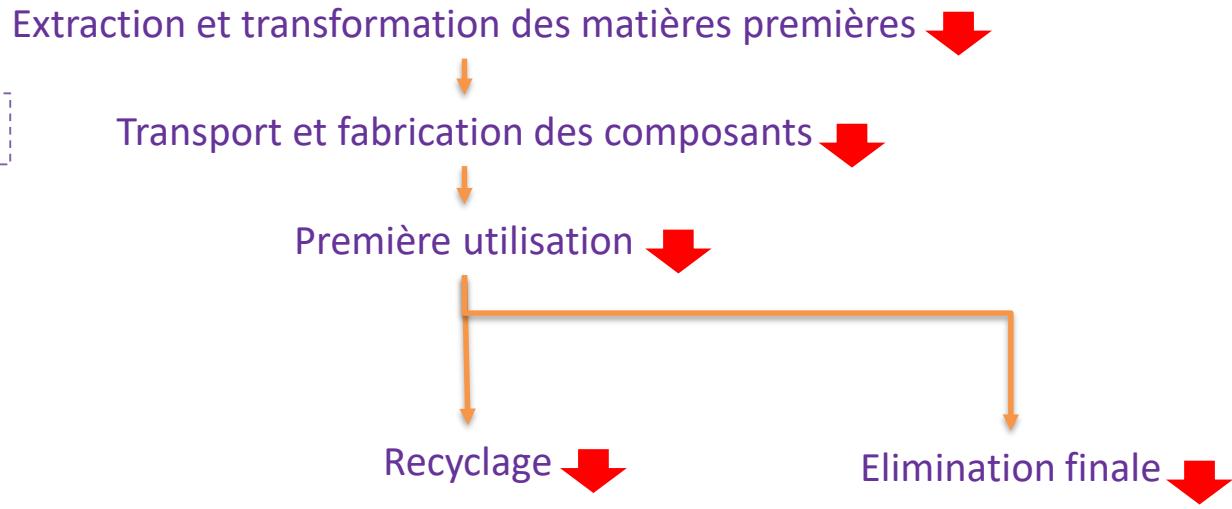
ACV pour comparer des alternatives : cas de la réutilisation de matériel informatique



Quels enseignements ?

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

Scénario 2



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, à 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



Une école de l'IMT

Merci beaucoup!
audrey.tanguy@emse.fr

