

« Recycler » ou la fin de vie des équipements informatiques

Anne-Laure Ligozat



EEE ?

équipements électriques et électroniques

1. Équipements d'échange thermique

réfrigérateurs, congélateurs, climats...

2. Écrans et moniteurs

télévisions, écrans, ordinateurs portables, tablettes...

3. Lampes

lampes fluorescentes, halogènes...

4. Gros équipements

lave-linge, séchoirs, lave-vaisselle, grosses imprimantes, photocopieuses...

5. Petits équipements

aspirateurs, micro-ondes, fers à repasser, chaînes hifi, petits instruments de surveillance...

6. Petits équipements informatiques et de télécommunications

téléphones (portables ou non), routeurs, PC, imprimantes...

Du EEE au DEEE



Du EEE au DEEE



Obsolescence :

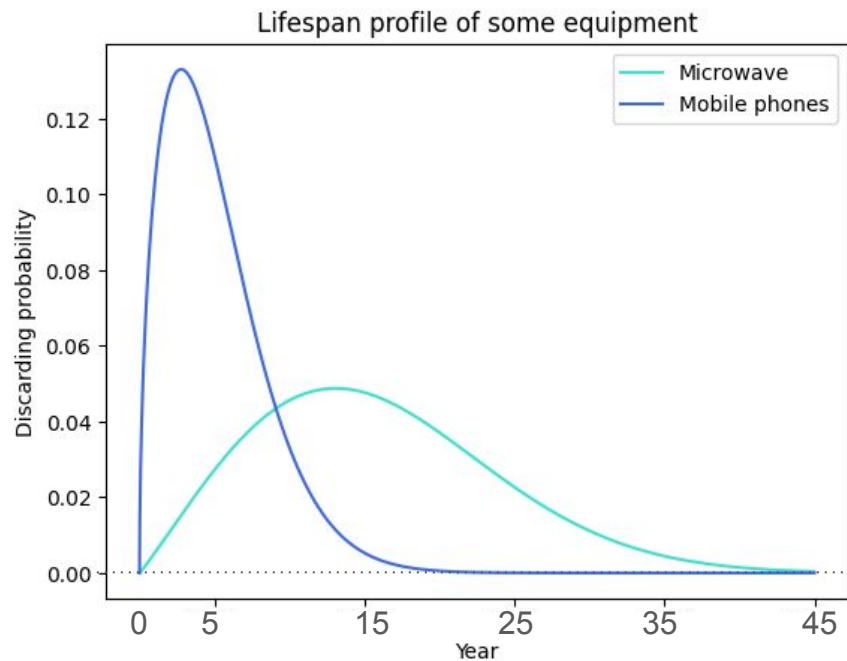
- par **incompatibilité** : versions incompatibles de logiciels, fournitures...
- **technique** ou fonctionnelle : coût de réparation \approx coût de remplacement
- **psychologique** : fonctionnalités rendues indispensables...
- **écologique** : mise en avant des progrès en matière d'impact environnemental des nouveaux produits...

DEEE ?

un équipement peut être considéré comme un déchet
dès lors que son utilisateur veut s'en défaire,
même s'il est fonctionnel ou réparable

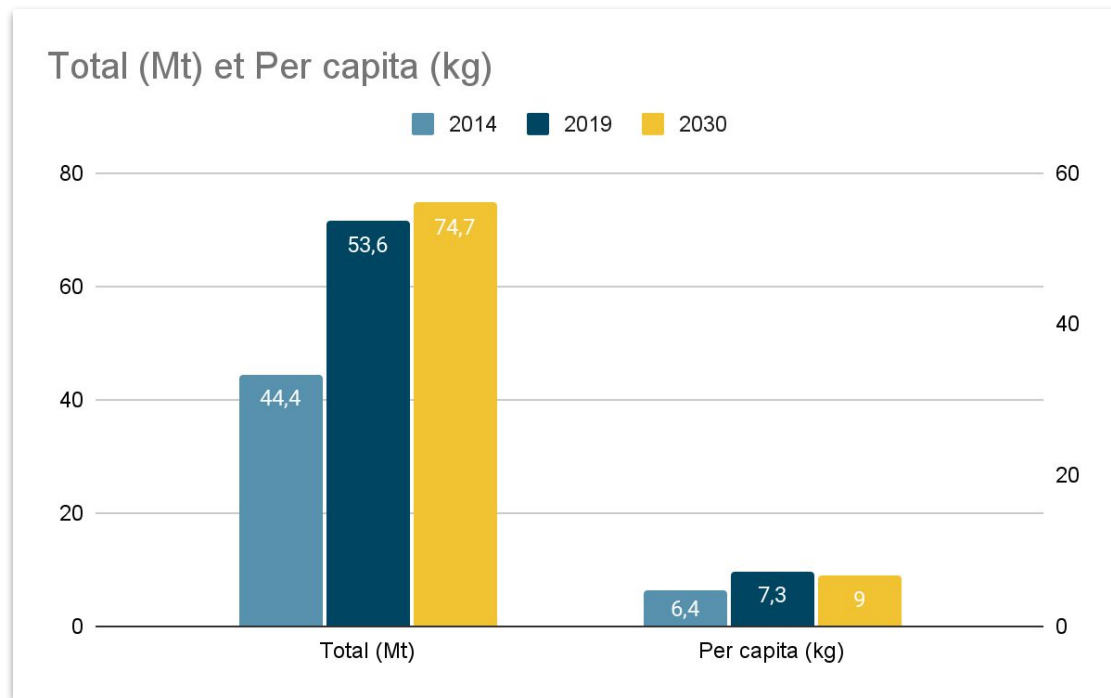
Calcul des quantités de DEEE

à partir des mises sur le marché (POM)

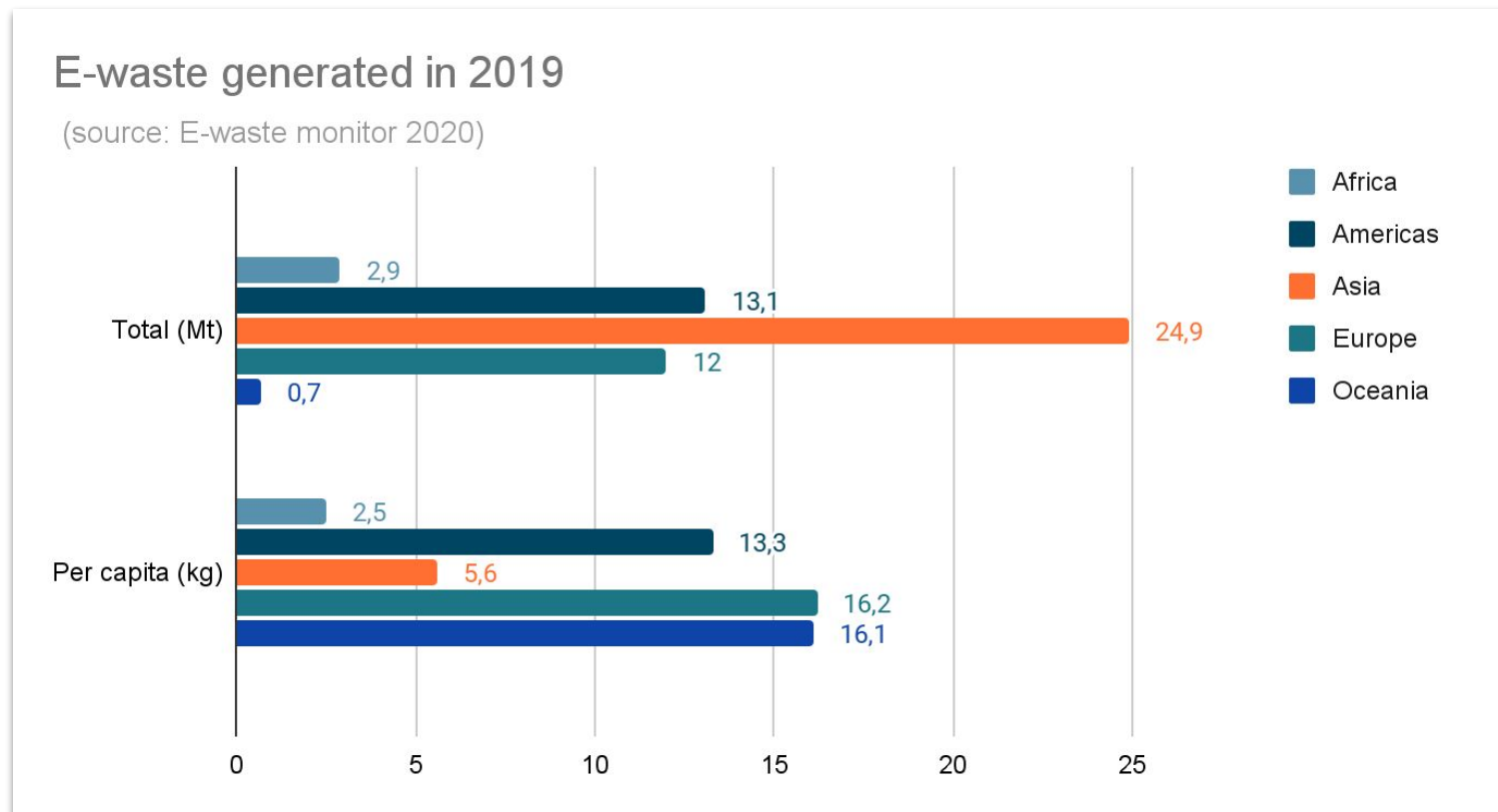


source : rapport de Borachhun You, 2023,
basé sur [guide statistique DEEE](#)

DEEE générés (monde)

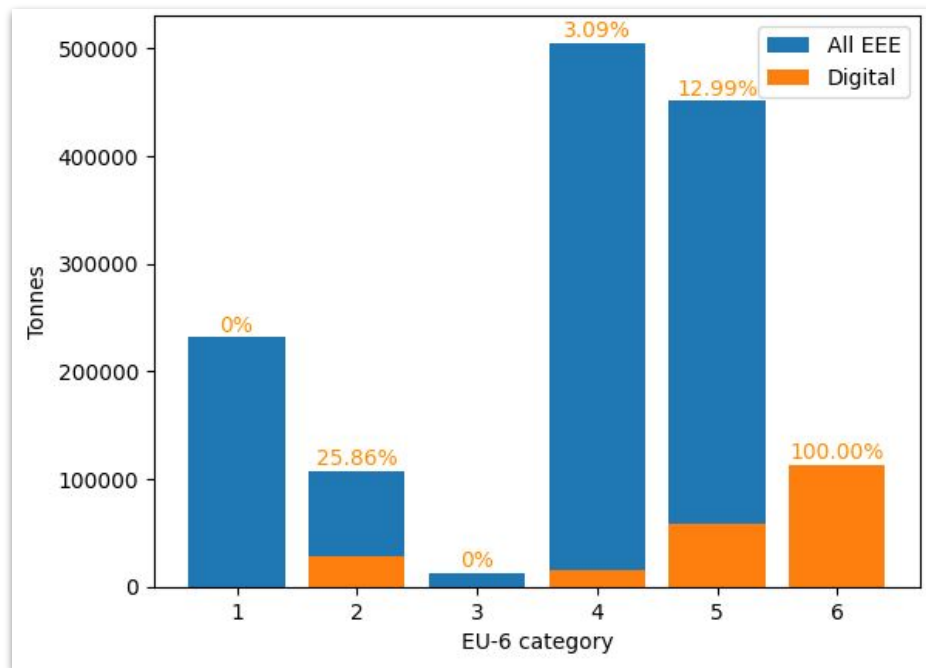


DEEE générés (monde, par continent)

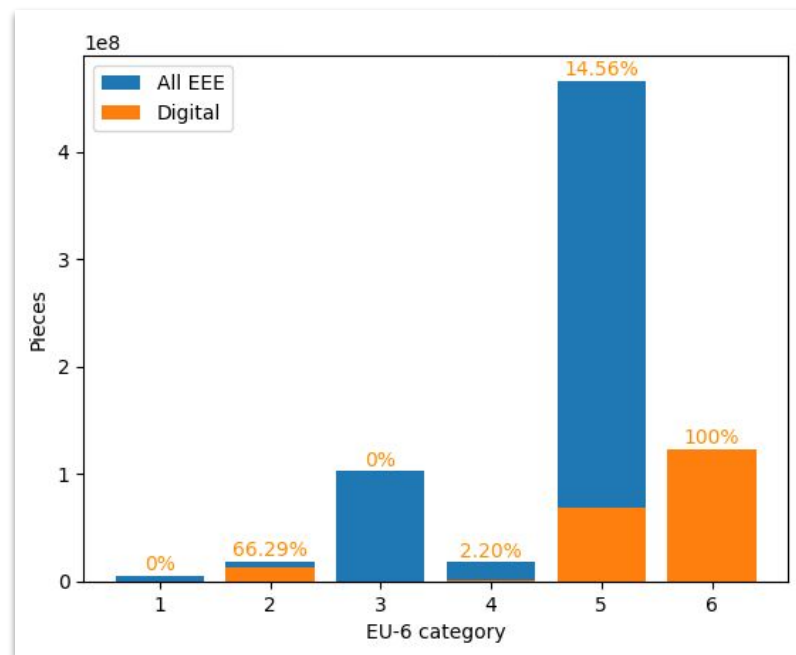


Part des DEEE numériques

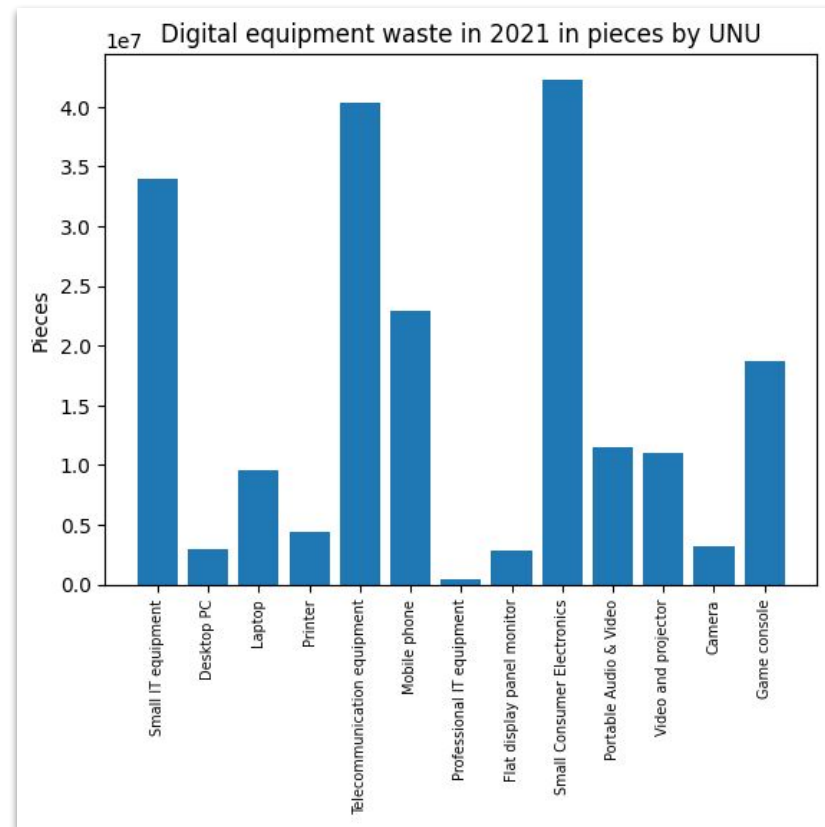
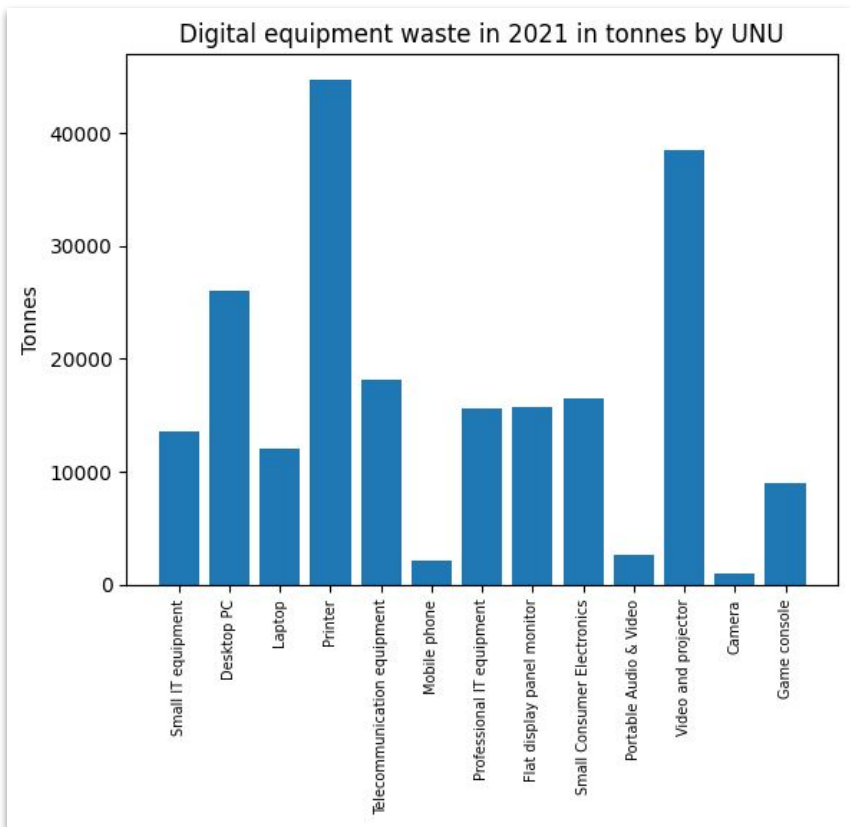
DEEE générés en France en 2021 (tonnes)



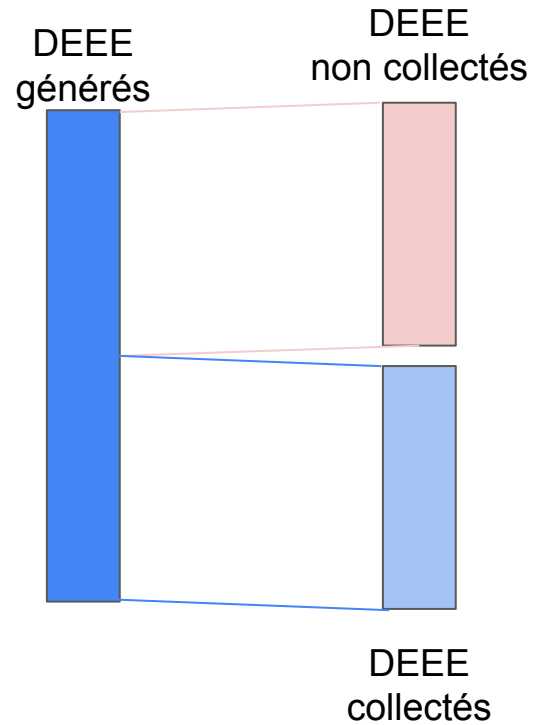
DEEE générés en France en 2021 (nombre)



Catégories des DEEE numériques



Circuit des DEEE



DEEE «non collectés»

filières de recyclage informel



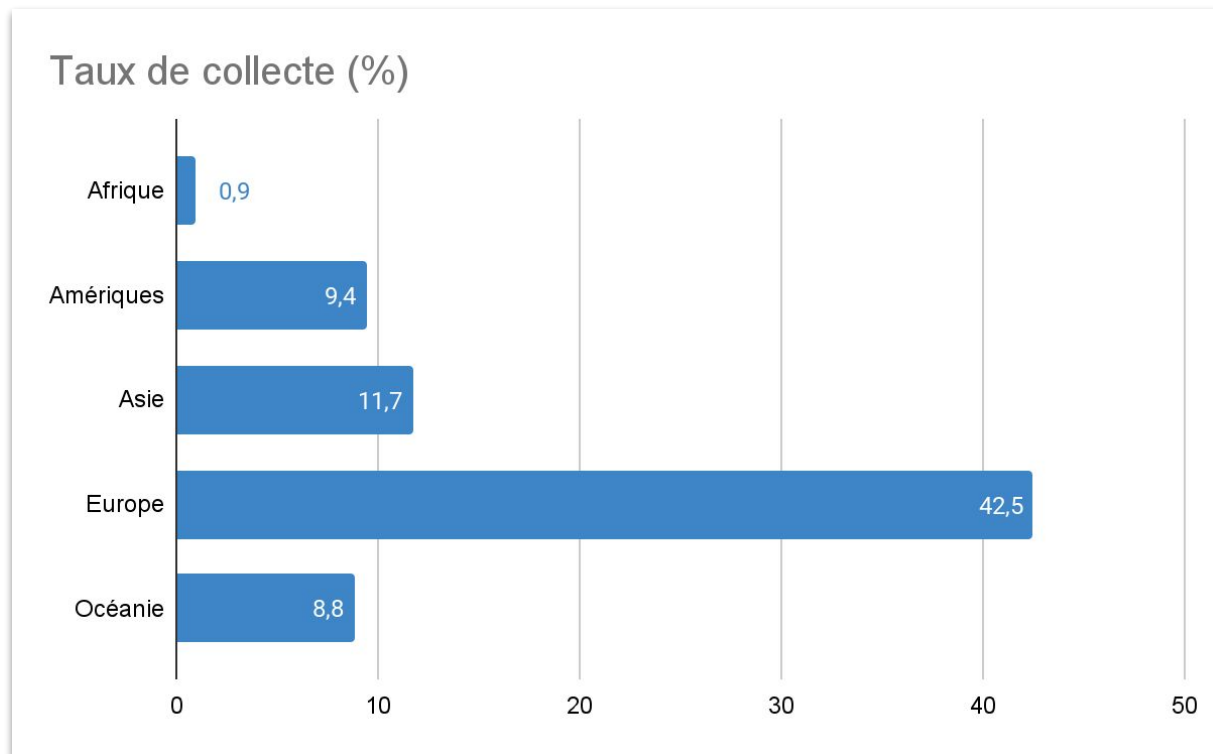
décharge d'Agbogbloshie, Accra, Ghana

source : By Muntaka Chasant - Own work, CC BY-SA 4.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=81939788>

Taux de collecte

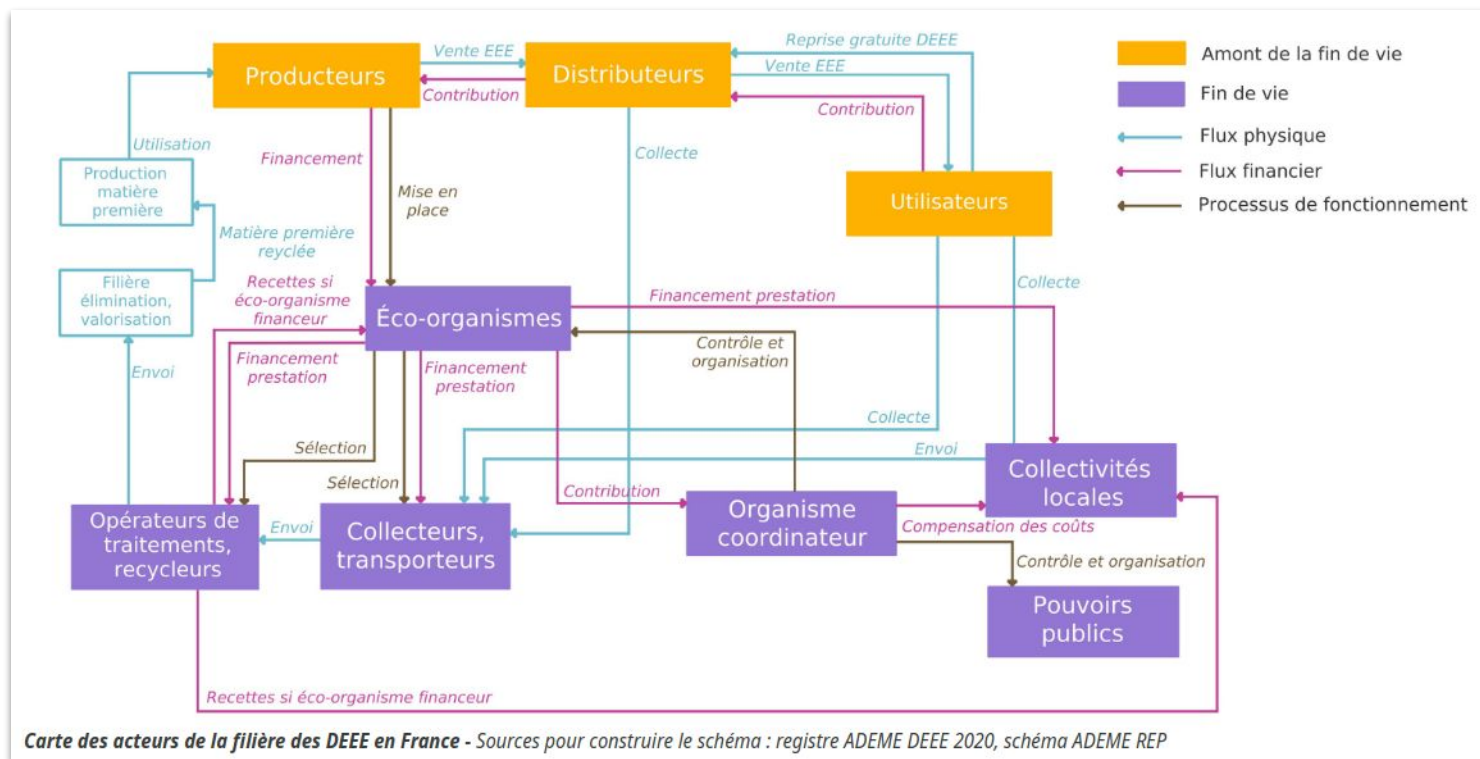
moyenne mondiale : 17,4%

(tonnage)



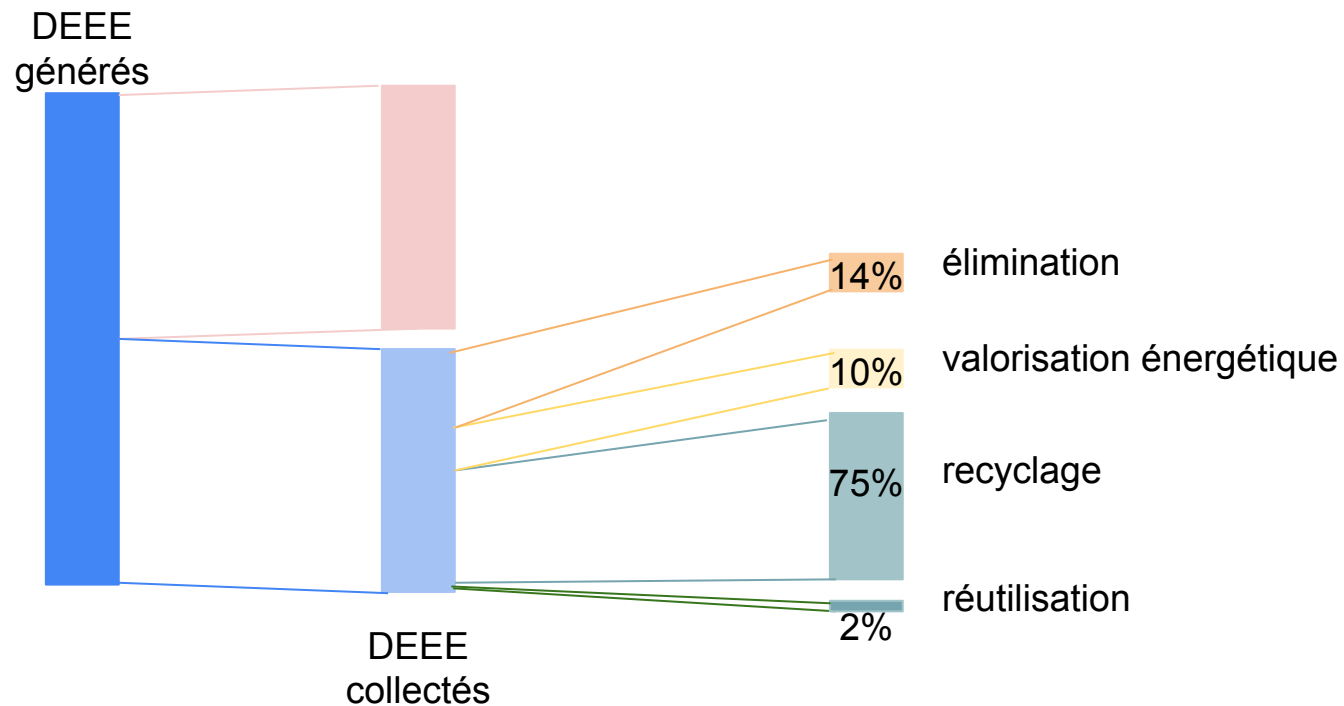
Qui collecte ?

En France, éco-organismes



source :
Marion
Ficher

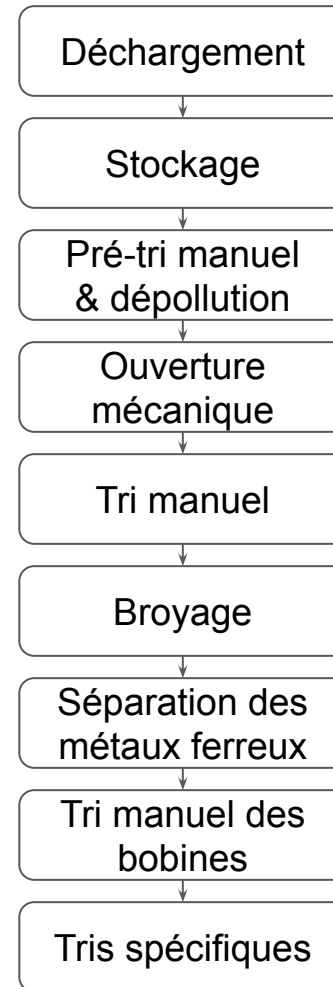
Circuit des DEEE (proportions France 2019)



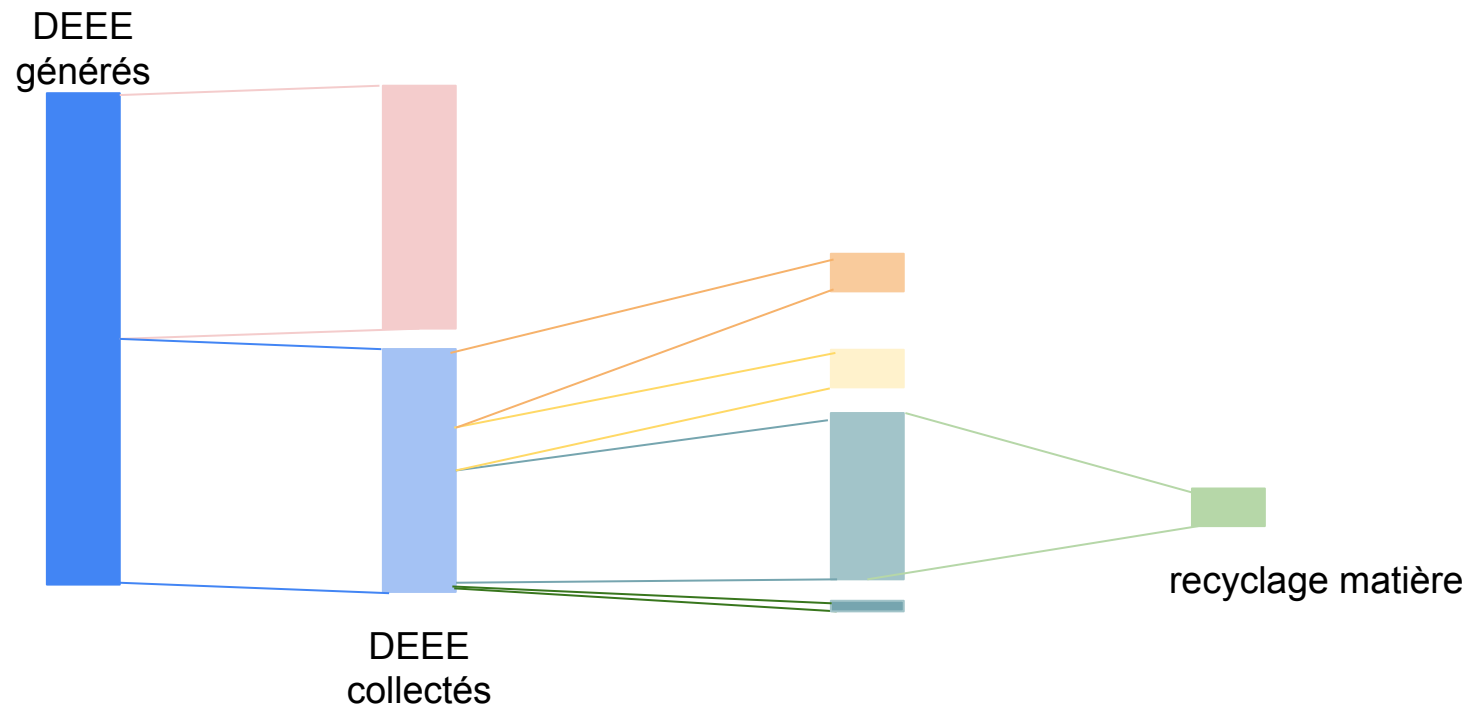
Traitement et recyclage

traitement des petits appareils
électriques et électroniques

Source : [ecosystem](#)



Circuit des DEEE



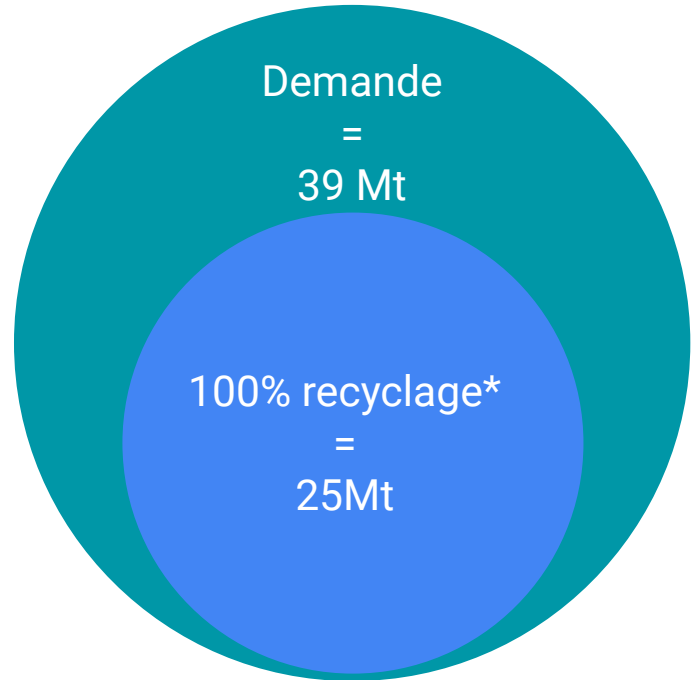
Recyclage matière

enjeux du recyclage

- difficultés techniques
- rentabilité financière
- souveraineté
- matériaux critiques
 - éviter ruptures d'approvisionnement

Recyclage vs besoins

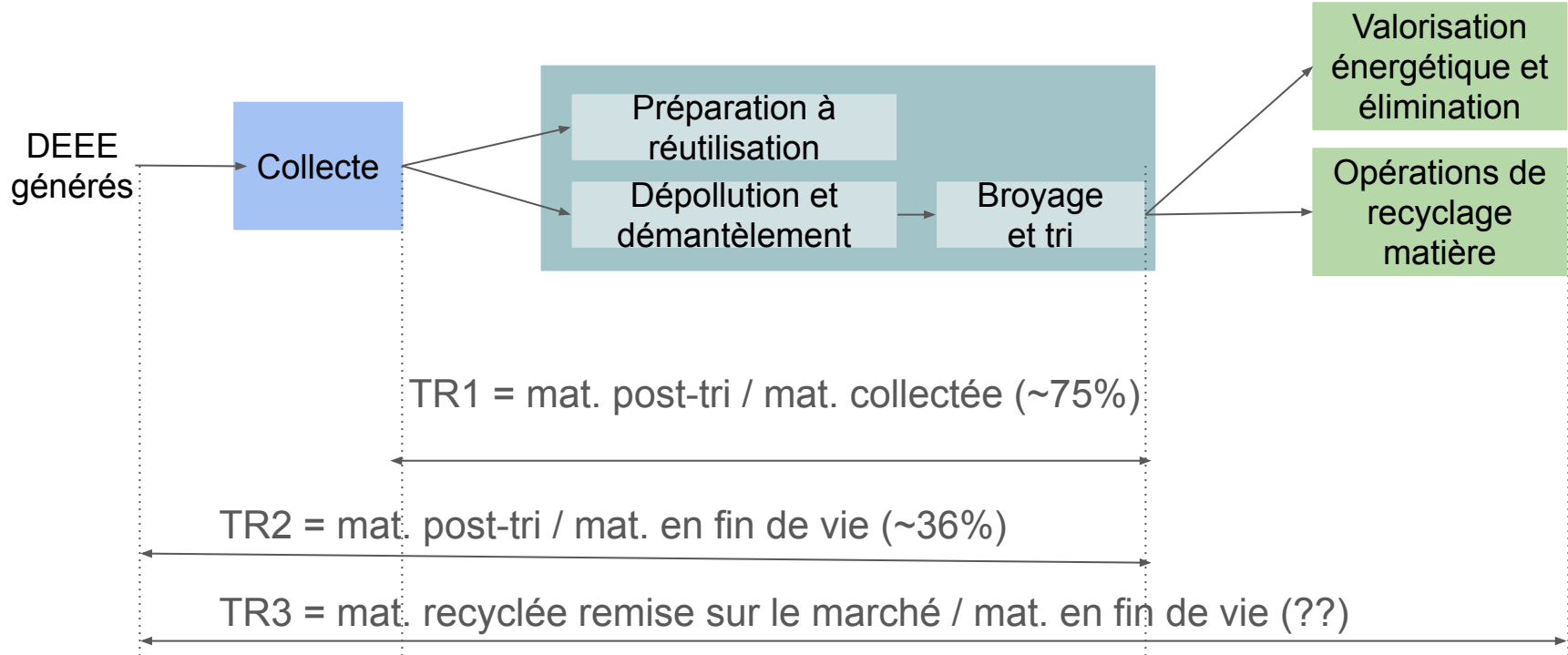
exemple du fer, de l'aluminium et du cuivre en
2019 (monde)



* hypothétique

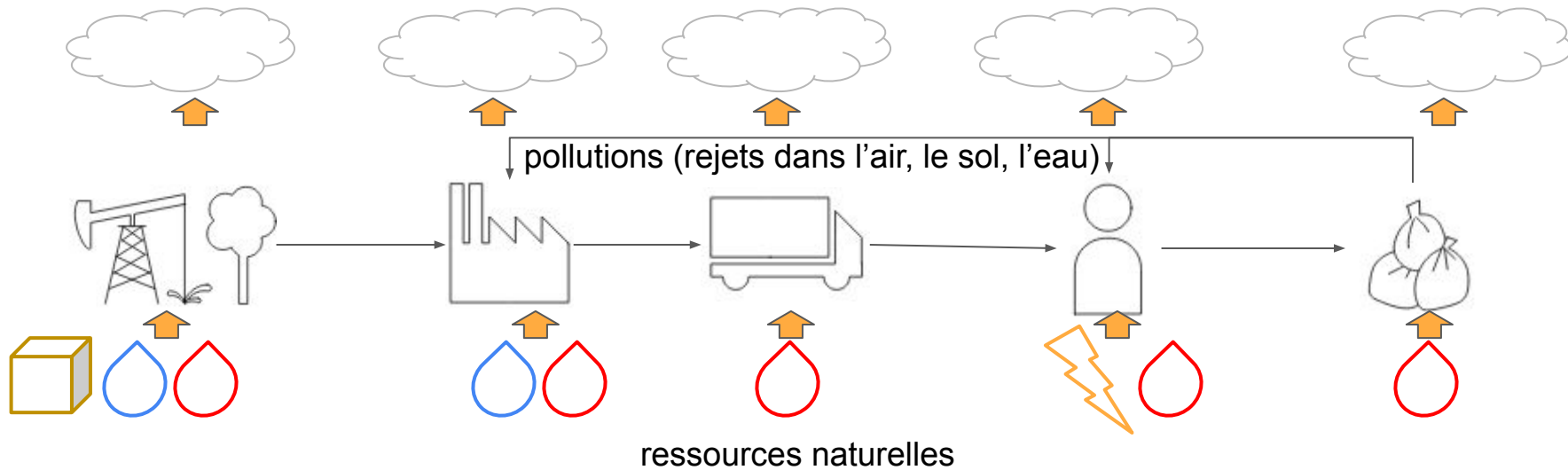
source: [E-waste monitor 2020](#)¹⁹

Taux de recyclage ?



Analyse de Cycle de Vie (ACV)

Life Cycle Assessment (LCA)



ACV attributionnelle

Quelle part des impacts attribuer ?

- pas de lien cause-conséquence
- traduit le “degré de responsabilité”

ACV conséquentielle

Quelles conséquences sur les impacts ?

- si on augmente la demande
- si on modifie le cycle de vie

ACV = multicritères et toutes phases du cycle de vie

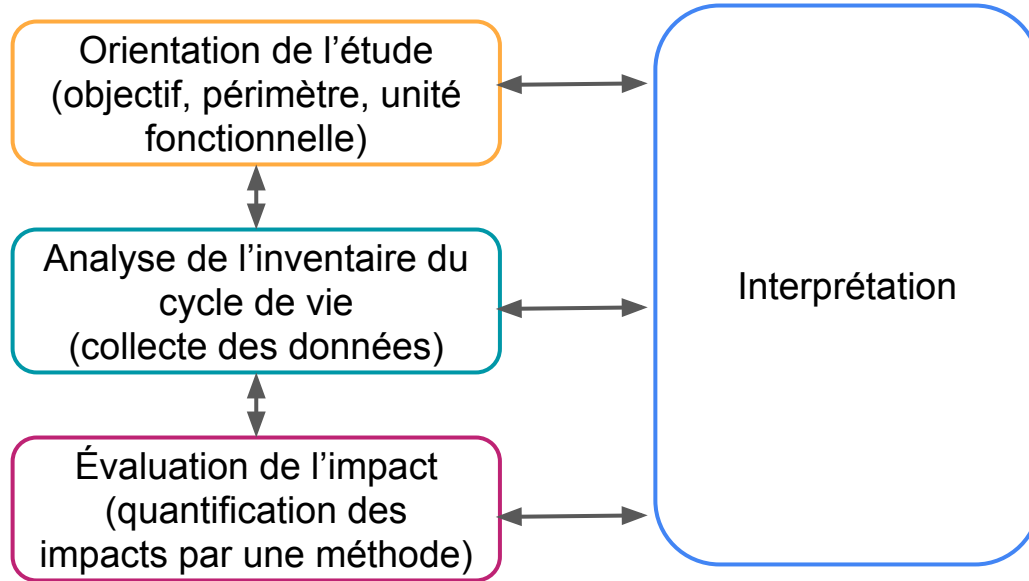
extraction mat. prem.				
fabrication				
transport				
usage				
fin de vie				
	changement clim.	toxicité humaine	eutrophisation	épuis. ressources

- évaluer les impacts
 - trouver le meilleur compromis, en évitant les transferts de pollution
- identifier les étapes/composants dont l'impact peut être diminué

Indicateurs : quelques exemples

- **Oxydation photochimique**
 - Formation d'oxydants photochimiques (COV, CO, Nox. . .) responsables de la formation d'ozone au niveau de la troposphère (smog)
- **Destruction de la couche d'ozone**
 - Substances participant à la destruction de la couche d'ozone stratosphérique
- **Eutrophisation**
 - Introduction de trop de nutriments dans les milieux aquatiques et asphyxie des milieux par la prolifération d'algues
- **IPCC GWP (100a) : impact sur le changement climatique**
 - émissions de gaz à effet de serre (CO₂, méthane...) qui contribuent au réchauffement climatique à un horizon donné
- **Acidification atmosphérique**
 - Substances acidifiant l'air et responsables des pluies acides
- **Épuisement des ressources abiotiques**
 - Épuisement des ressources naturelles (énergétiques et minérales)

Étapes de l'ACV

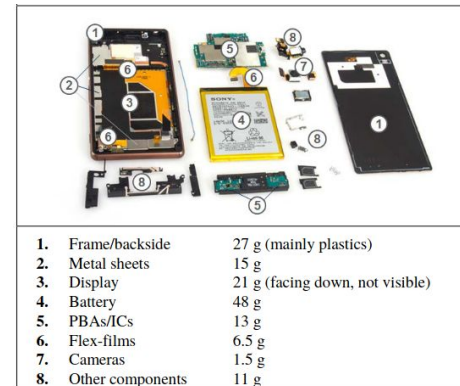
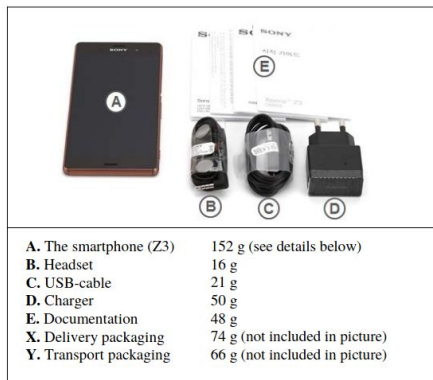


Exemple : ACV d'un smartphone

de : Ercan, Malmodin, Bergmark, Kimfalk et Nilsson, Life Cycle Assessment of a Smartphone, ICT4S 2016

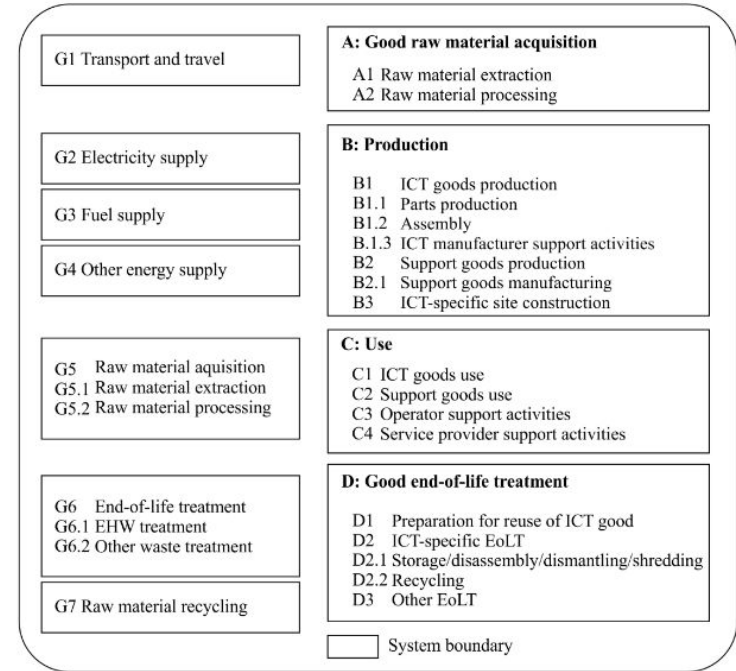
(<https://download.atlantis-press.com/article/25860375.pdf>)

Périmètre : smartphones Sony modèles Z3 et Z5 avec accessoires
Unité fonctionnelle : utiliser un smartphone et ses accessoires pendant 3 ans avec un usage standard



Méthodologie

- suivant normes ISO14040 et standards ACV supplémentaires pour les TIC de l'ETSI/ITU
- toutes étapes du cycle de vie sauf
 - reconditionnement pour réemploi
 - frais généraux des services soutien comme marketing
- prise en compte des 30 matériaux ayant le plus d'impact uniquement



L.1410(14)_F07

Figure 7 – The system boundary of the product system for LCAs of ICT goods, networks or services

Indicateurs d'impact

TABLE I. IMPACT INDICATORS

ELCIA indicators as recommended by ILCD	Unit	Reference
Global Warming Potential (GWP)	CO ₂ -eq.	IPCC, 100 years
Ozone Depletion Potential (ODP)	CFC-11-eq.	WMO model, ReCiPe
Human Toxicity Cancer potential effects (HumToxCan)	CTUh	USEtox
Human Toxicity non-Cancer potential effects (HumTox)	CTUh	USEtox
Particulate Matter (2.5 μm) (PM)	G	RiskPoll
Photo-Oxidant Creation Potential (POCP)	NMVOC-eq.	LOTOS-EUROS model, ReCiPe
Acidification Potential (AP)	Mole of H ⁺ -eq.	Accumulated exceedance model
Eutrophication Potential (fresh water) (EP fresh)	Mole of N-eq.	EUTREND model, ReCiPe
Eutrophication Potential (terrestrial) (EP terr)	g P-eq.	Accumulated exceedance model
Eco-system Toxicity potential effects (EcoTox)	CTUe	USEtox
Freshwater consumption (Water)	m ³	Swiss Ecoscarcy
Abiotic Depletion Potential (ADP)	Sb-eq.	CML (reserve based)

Inventaire du cycle de vie

- Acquisition des matières premières
 - liste des matériaux du smartphone et accessoires
- Production
 - questionnaires auprès de Sony et sous-traitants
 - ou logiciel ACV
- Utilisation
 - utilisateur standard : recharge tous les 2 jours, durée d'utilisation de 3 ans
 - utilisation réseau mobile et wifi dans analyse de sensibilité
- Fin de vie
 - considéré recyclage formel (meilleur scénario...)

Résultats : empreinte carbone (hors réseau)

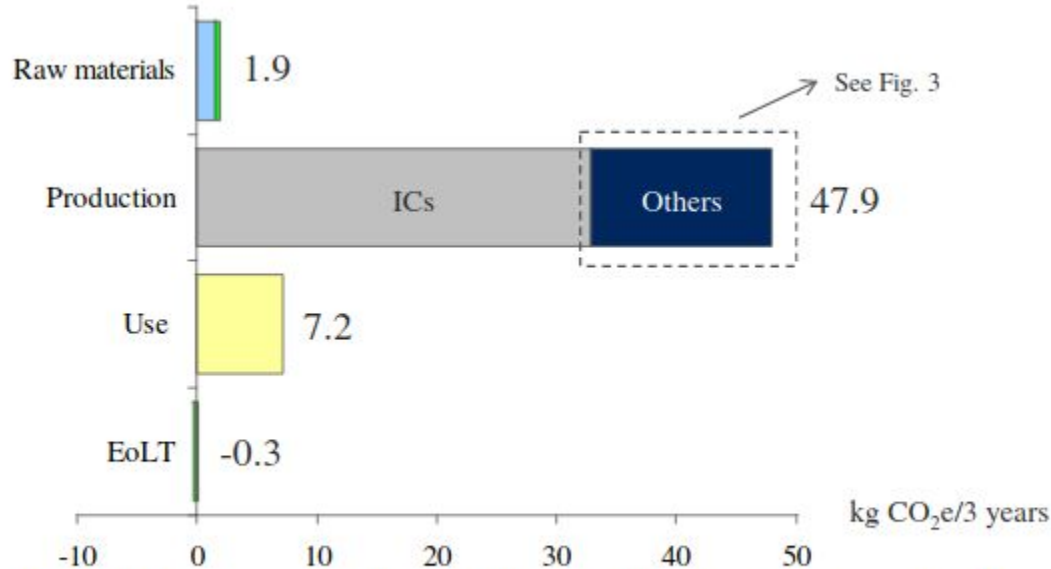


Fig.2 GWP for smartphone Z5 during its life time (3 years), including accessories but excluding network usage

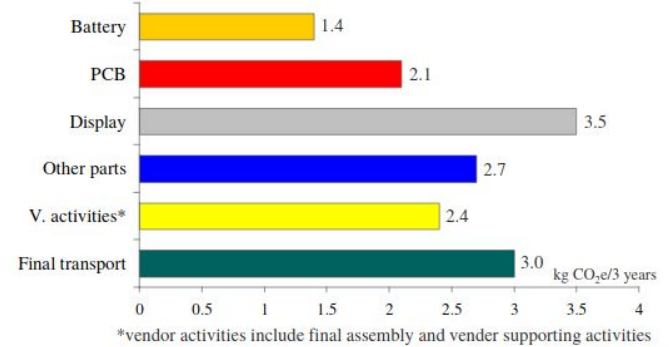
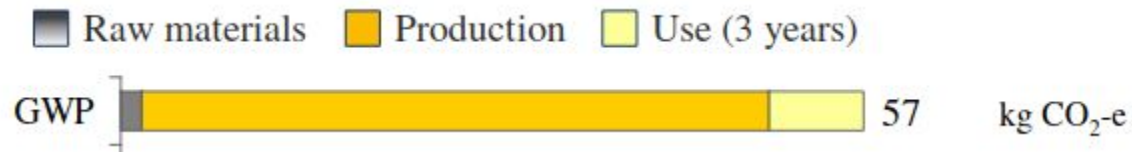


Fig. 3 Total GWP results for all production processes but IC for Z5

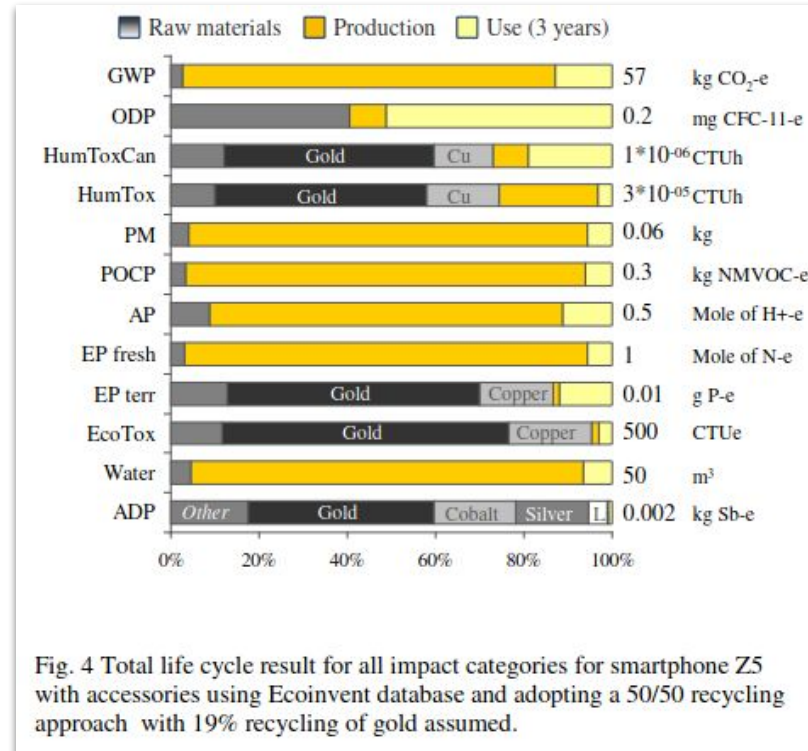
Empreinte carbone

> 80% de l'empreinte carbone pendant production
(usage hors internet)



empreinte carbone de chaque phase du cycle de vie d'un smartphone avec un mix électrique mondial [Ercan et al., 2016]

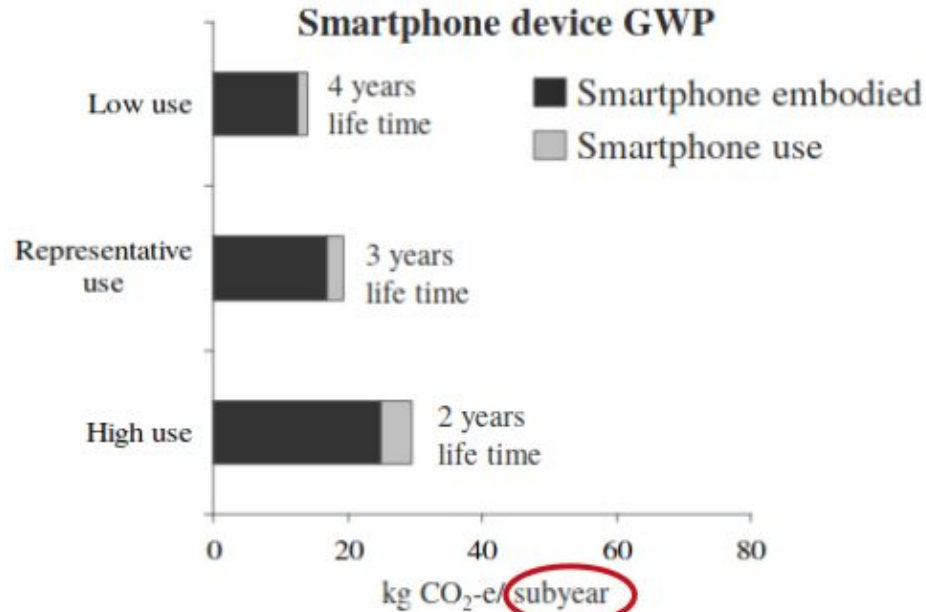
Résultats complets



source : Ercan, M., Malmudin, J., Bergmark, P., Kimfalk, E., & Nilsson, E. (2016). Life Cycle Assessment of a Smartphone.

Analyses de sensibilité : scénario d'usage

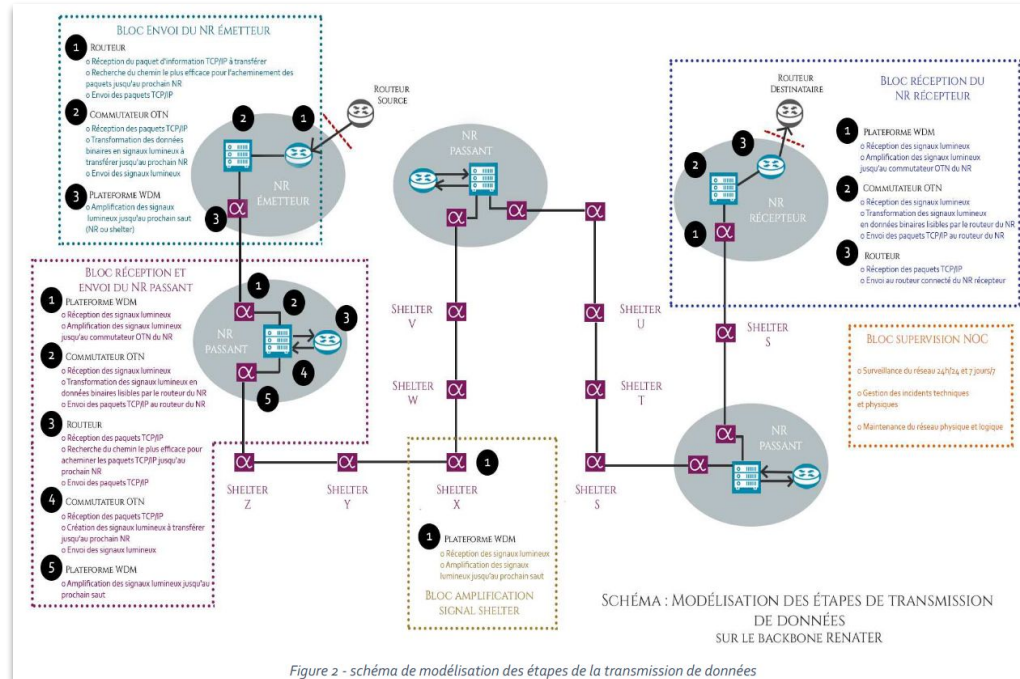
retour au smartphone



ACV de service numérique : exemple Renater

Unité fonctionnelle : « Transmettre 1 Go de données entre Orsay et Montpellier par une liaison en fibre optique »

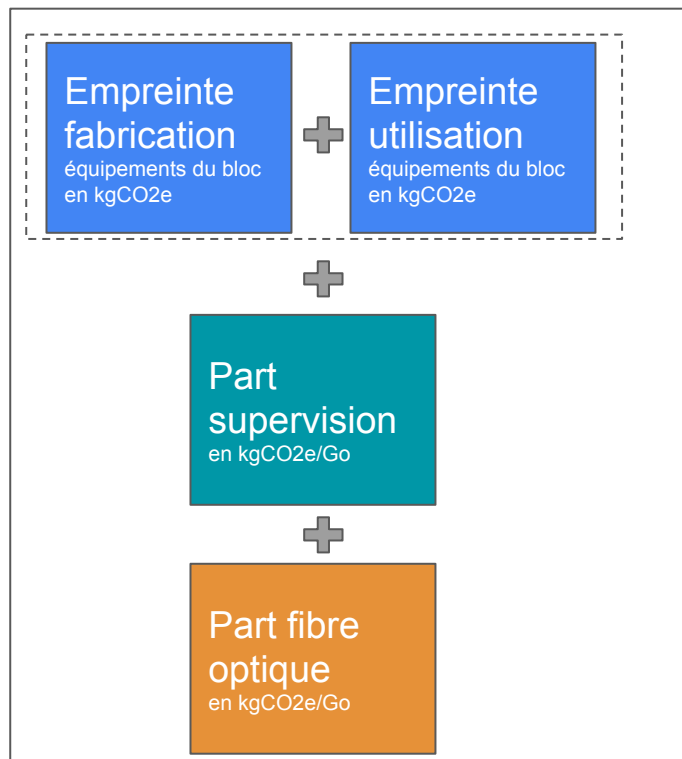
Périmètre



ACV

- indicateur unique : GES
- étapes du cycle de vie
 - production
 - utilisation
- pas de prise en compte de :
 - fabrication des bâtiments hébergeant équipements
 - fin de vie par manque de données
 - personnes participant à la conception, ingénierie et maintenance des équipements

Modèle



$$impact_{1GB} = \sum_{e \in E} (I_{production}(e) + I_{use}(e)) + I_{NOC} + I_{fiber} \quad (1)$$

with:

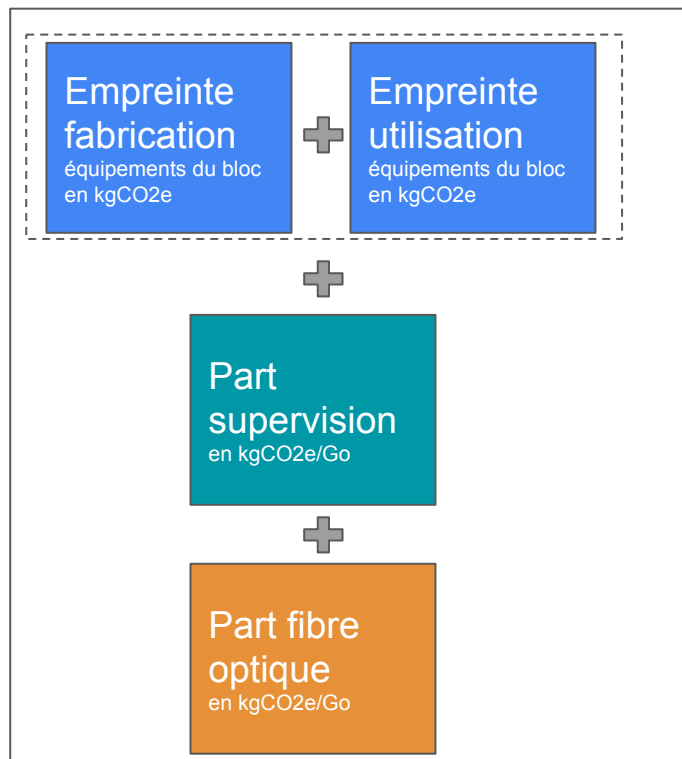
- E the set of devices for the network part considered.
- $I_{production}(e)$ the GHG emissions due to the production of equipment e .
- $I_{use}(e)$ the GHG emissions due to the use of equipment e .
- I_{NOC} the GHG emissions due to the NOC for 1 GB.
- I_{fiber} the GHG emissions due to the fiber for one 1 GB.

$$I_{production} = \sum_{e \in E} \frac{I_{production}(e)}{T(e, 1 \text{ year}) \times L(e)} \quad (2)$$

with:

- E the set of devices for the network part considered.
- $I_{production}(e)$ the GHG emissions due to the production of equipment e .
- $L(e)$ the lifetime in years of equipment e .
- $T(e, 1 \text{ year})$ the traffic on equipment e in one year.

Modèle



$$I_{use} = \sum_{e \in E} \frac{C(e, d) \times PUE(e)}{T(e, d)} \times EF \quad (3)$$

with:

- d the duration considered (1 day or 1 year)
- $C(e, d)$ the energy consumption of equipment e for duration d , in kWh.
- $T(e, d)$ the traffic on equipment e during duration d , or supervised by equipment e in the case of NOC devices.
- PUE the PUE of the equipment datacenter when relevant, which was here actually considered a constant, as specified in III, and 1 otherwise.
- EF the emission factor of electricity for France, in kg CO₂e/kWh. We use $EF = 0.108$ kgCO₂e/kWh from ELDC database.

$$I_{fiber} = \frac{EF_{fiber} \times \#km}{L_{fiber} \times T(\text{total network}, 1 \text{ year})} \quad (4)$$

with :

- EF_{fiber} the emission factor of the optical fiber in kgCO₂e/km. We use $EF_{fiber} = 0.00127$ kgCO₂e/km from ACOME manufacturer.
- L_{fiber} the lifetime of the optical fiber in years.
- $\#km$ the length of optical fiber on the network.
- $T(\text{total network}, 1 \text{ year})$ the total traffic of the network during one year.

ACV de service numérique : exemple Renater

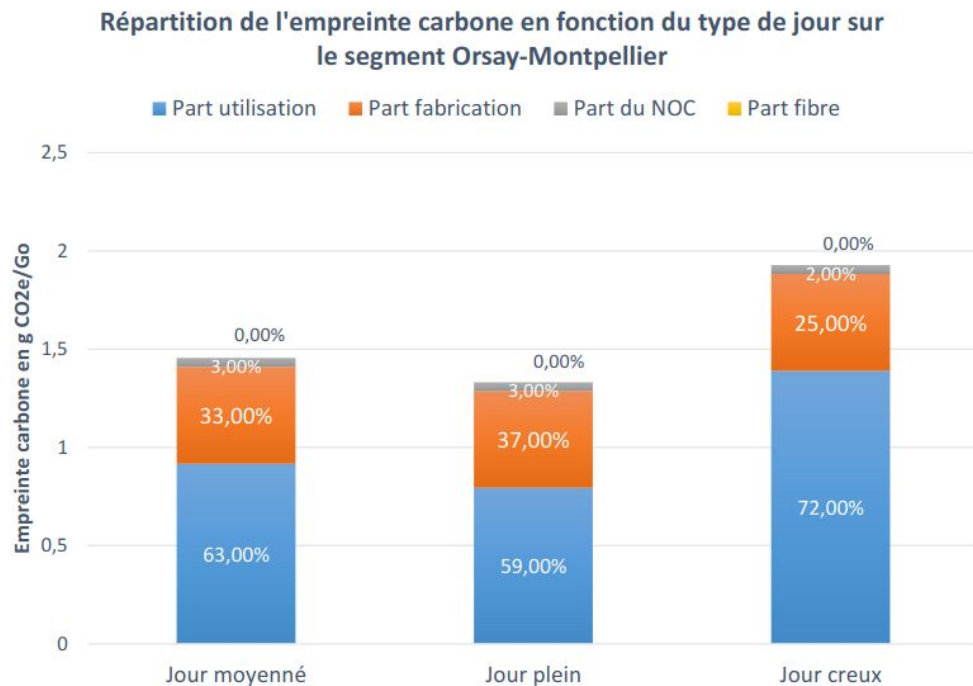


Figure 7 - répartition de l'empreinte carbone en fonction du type de journée sur le Orsay-Montpellier



Une arnaque intellectuelle ?

Corréler le volume de données avec la quantité d'émissions de gaz à effets de serre d'un réseau n'est pas ce qu'il y a de plus judicieux. Car les données que nous consommons n'influent qu'à la marge sur l'empreinte carbone des opérateurs. Or, ce nouvel affichage laisse entendre que notre comportement individuel pourrait permettre de faire baisser la facture écologique générale et la facture des opérateurs.

Pierre Beyssac, entrepreneur dans la tech et porte-parole du Parti pirate, a tout bonnement qualifié cette démarche « *d'arnaque intellectuelle* » sur son blog.

« Si demain nous divisons tous par deux notre consommation de données au vu de l'évaluation qui précède, satisfaits de faire ainsi « notre part » dans la réduction d'impact, nos opérateurs vont-ils soudain constater avec plaisir que leurs factures d'électricité, d'équipements, de chauffage, de carburant sont également divisées par deux ? La réponse est évidemment « non », écrit-il.

Analyses de sensibilité

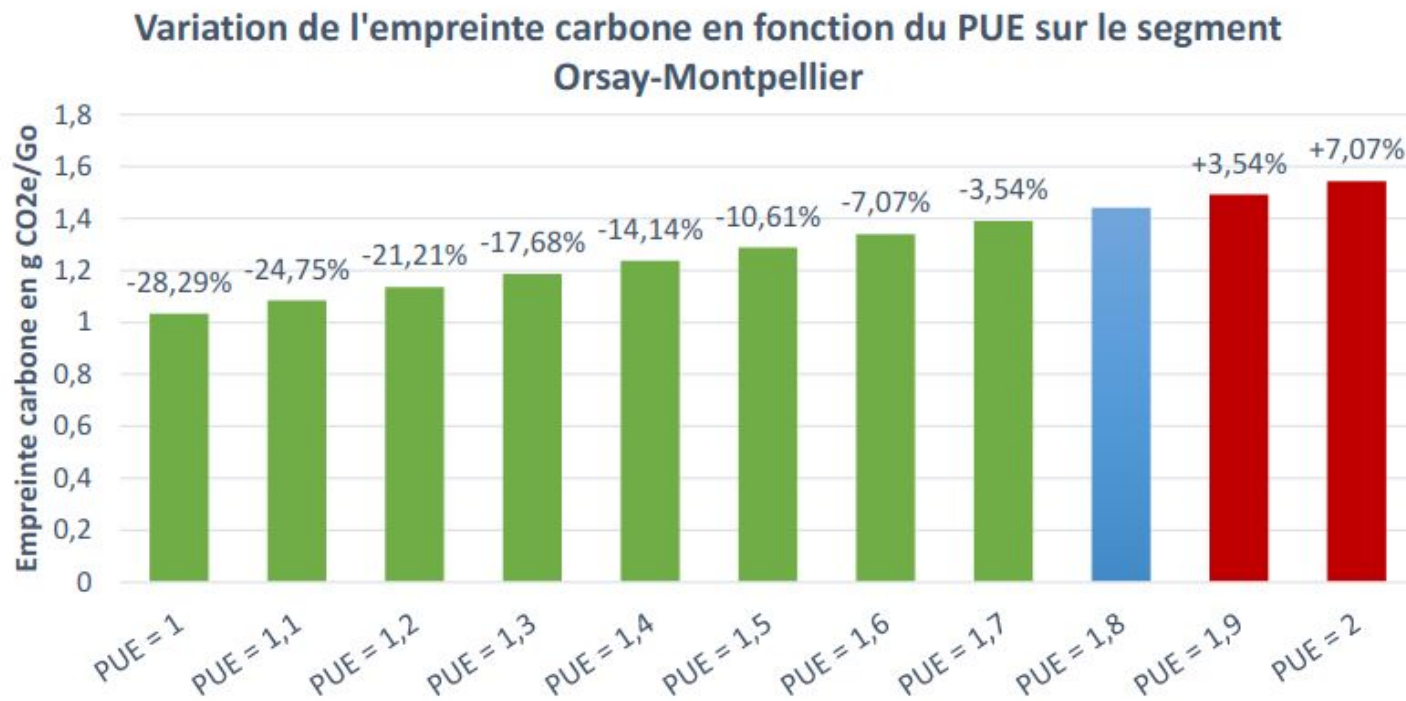
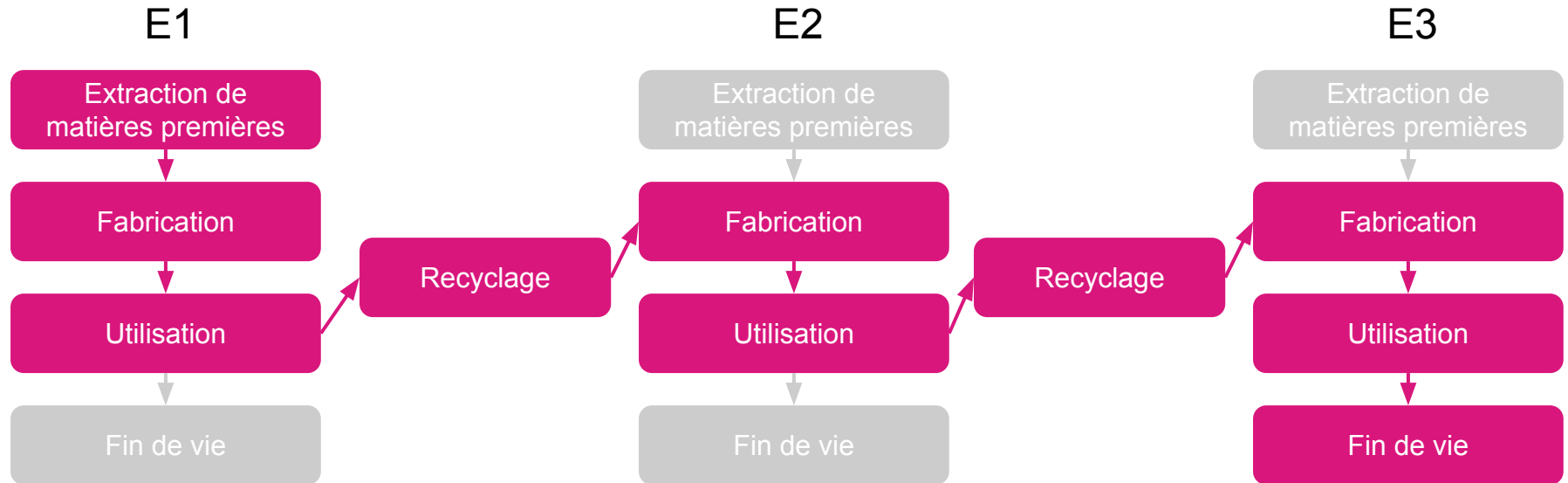


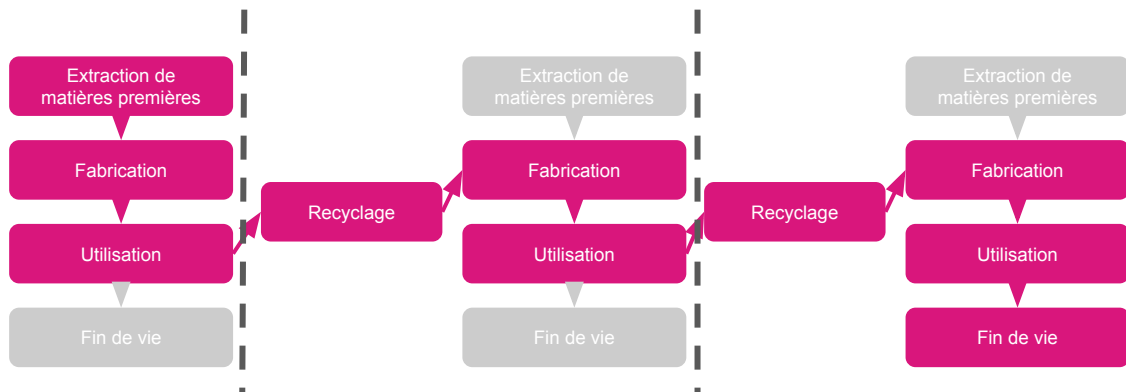
Figure 9 - variation de l'empreinte carbone en fonction du PUE - segment Orsay-Montpellier

Modélisation de la fin de vie

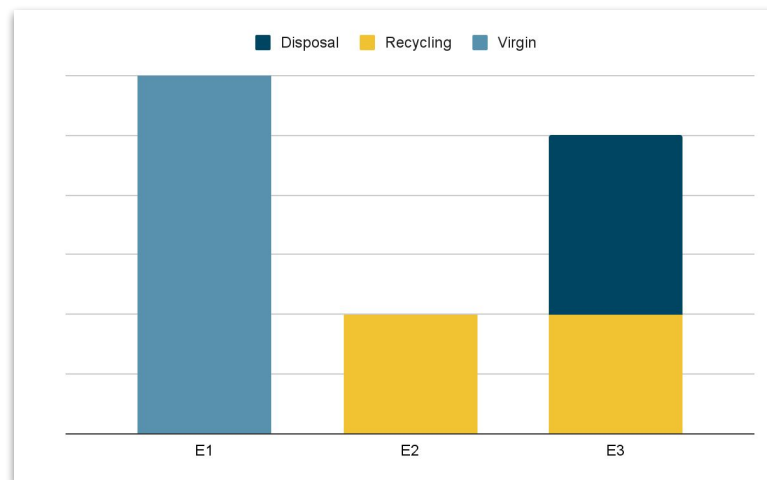


Source : [Modeling recycling in life cycle assessment](#)

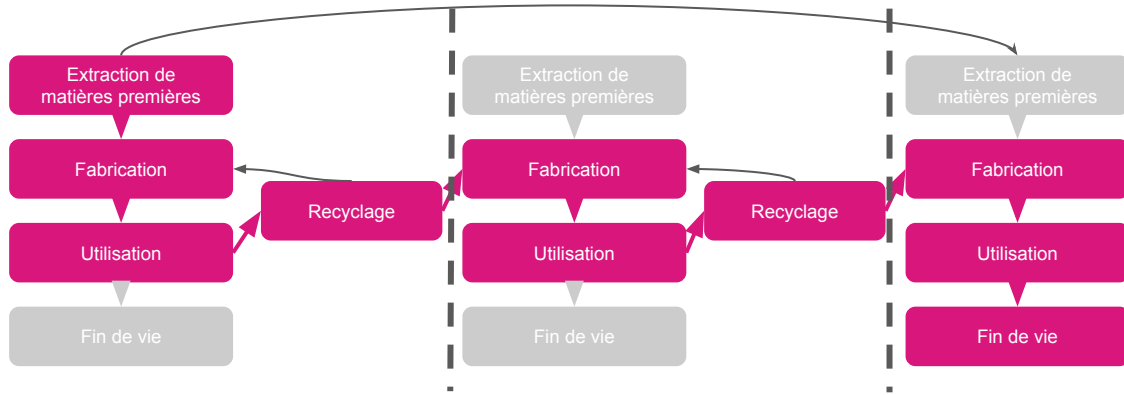
Modélisation de la fin de vie



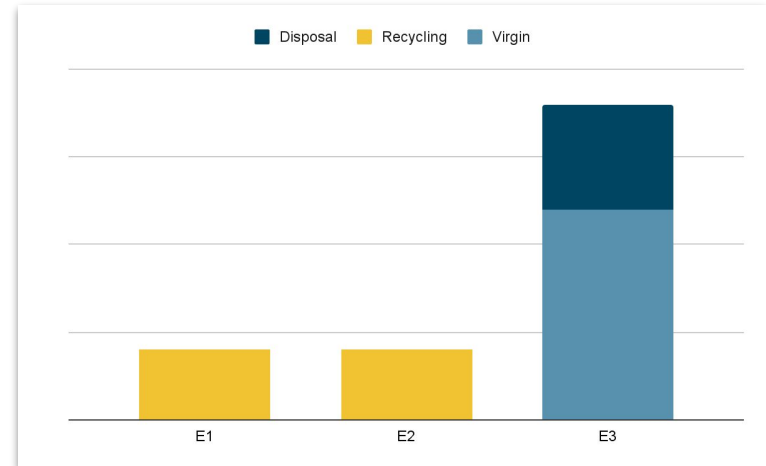
cut-off



Modélisation de la fin de vie



closed-loop



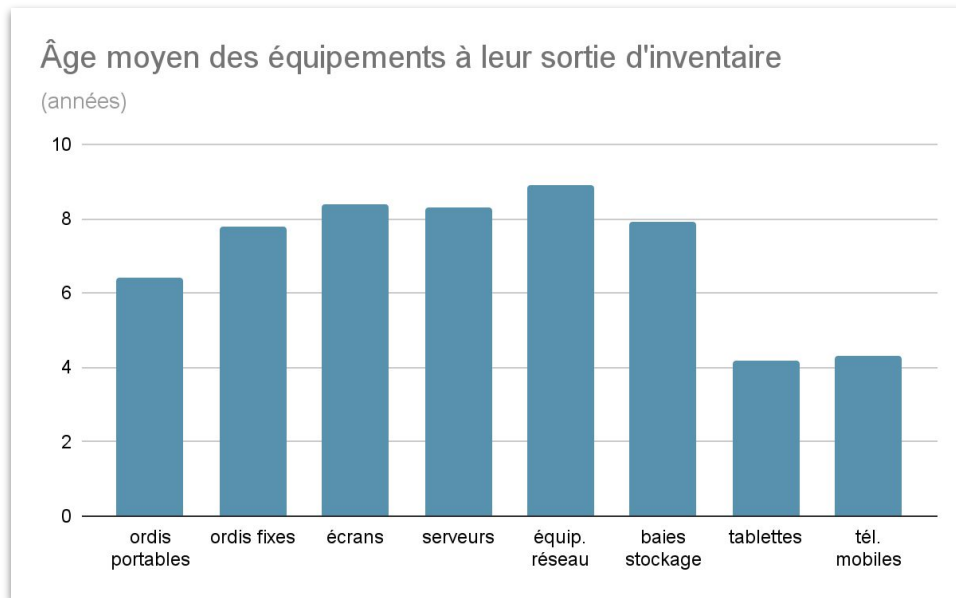
Et dans l'ESR ?

enquête DEEE 2019

150 répondants ESR

devenir des matériels :

- dons (personnel, associations, écoles)
- déchetteries des campus
- Paprec ou Ecologic
- prestataires de réemploi



Enjeux pour l'ESR

- Impacts **environnementaux**
 - impacts environnementaux de ces déchets, même si encore mal évalués
 - importance du recyclage notamment car ressources limitées, même si recyclage également coûteux et pas suffisant
- Impacts **légaux**
 - l'établissement reste responsable du devenir de ses DEEE tant qu'elle n'a pas cédé sa responsabilité, par exemple en confiant ses DEEE à un éco-organisme, ou en donnant le matériel via un contrat de cession
 - nécessité d'effacement des données pour certaines structures
- Impacts **financiers**
 - certains laboratoires paient actuellement pour faire enlever leurs DEEE car nécessite manutention

Politique DEEE

Premier principe à appliquer : éviter de produire ces déchets

- en limitant le renouvellement du matériel
 - augmenter les durées de garanties
 - en incitant à réparer le matériel en cas de panne plutôt que le renouveler
 - en utilisant des logiciels plus sobres
- en favorisant le réemploi
 - en interne dans l'établissement
 - via des dons ou des acteurs du réemploi

Deuxième principe : réduire l'impact du traitement de ces déchets

- en passant uniquement par des prestataires (re-)connus

Bilan Paris-Saclay (2019)

Atouts

- conscience de la problématique des DEEE dans les laboratoires
- gestion autonome

Difficultés

- difficulté de récupération des DEEE par DELL alors que prévu dans marché Matinfo(4)
- très nombreux prestataires utilisés sans évaluation
 - question de la responsabilité légale car passage hors Ecologic
- manque de flexibilité du fonctionnement actuel de l'université
- nécessite manutention, salle de stockage
 - financement de la manutention
- effacement des données : non garanti avec DELL, possible avec certains prestataires
 - actuellement, disques durs stockés en attente de solution, ou percés...

Bilan Paris-Saclay (2019)

Opportunités

- importance de l'Université dans le marché français
 - poids pour par exemple demander à imposer réemploi de façon prioritaire
 - effet de volume pour bénéficier d'enlèvements plus fréquents et moins chers pour les laboratoires

Risques

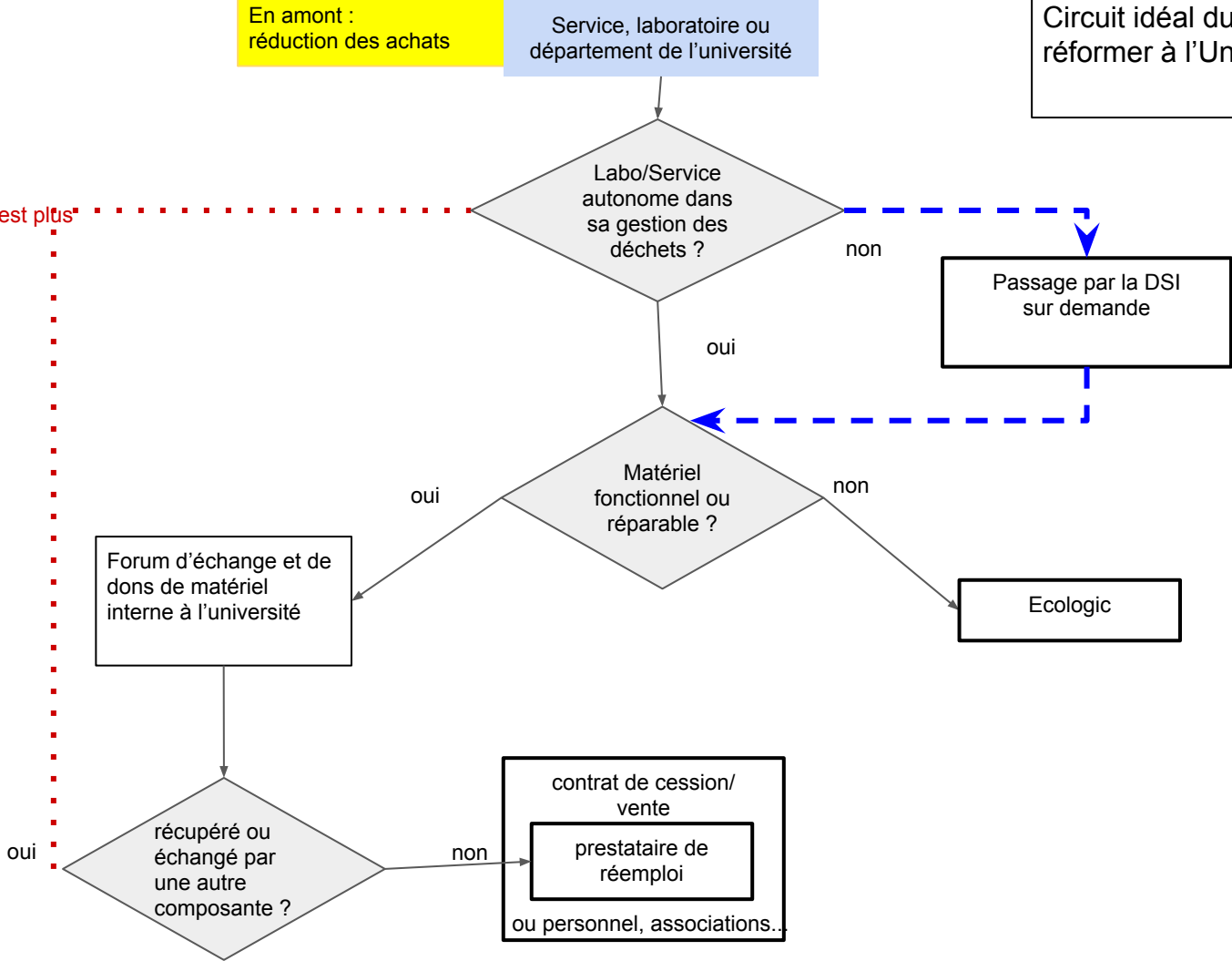
- non conformité actuelle à la loi sur les DEEE qui ne prévoit que deux cas pour la collecte :
 - organisée par le constructeur -> si DELL, passe par Ecologic
 - confiée à un éco-organisme agréé

En amont :
réduction des achats

Service, laboratoire ou
département de l'université

Circuit idéal du matériel informatique à réformer à l'Université Paris-Saclay

lorsque le matériel n'est plus utilisé



Flyer DEEE EcoInfo 2023

 **Vous n'utilisez plus votre matériel informatique : que faire ?** guide DEEE
version 2023

RÉUTILISER EN INTERNE

Si elle est possible, la réutilisation en interne au laboratoire, service etc. permettra de prolonger la durée de vie du matériel.

1

CÉDER À UNE ENTITÉ PUBLIQUE (1)

La plateforme de don des biens mobiliers du domaine (2) permet de donner ou de vendre (selon l'âge du matériel) facilement son matériel à une autre entité publique...

2

CÉDER HORS PUBLIC

... ou à d'autres entités (certaines associations (3) par exemple) ou personnes physiques (personnel titulaire des établissements publics).

3

RÉEMPLOYER

Si vous voulez favoriser le réemploi de votre matériel, vous pouvez passer par un prestataire dédié (par exemple les Ateliers du Bocage), après vous être renseignés sur celui-ci. (4)

4

RECYCLER

Si votre équipement n'est ni utilisable en l'état ni réparable, ou que vous n'avez trouvé personne à qui le céder, tournez-vous vers un éco-organisme agréé par l'État (ecologic ou ecosystem). (5)

5

(1) Avant de céder du matériel, effacez les données et enregistrez la sortie d'inventaire.
(2) <https://www.dons.encheres-domaine.gouv.fr/>
(3) À qui vendre ou donner votre matériel ? sur le site de (2), voir Documentation, Mémento sur le dispositif de don des personnes publiques.
(4) Attention, si vous ne passez pas par un éco-organisme, vous restez responsable de votre déchet.
(5) Au-delà de 250 kg, l'enlèvement est gratuit (mais la manutention non).

Références

- Marion Ficher, Tom Bauer, Anne-Laure Ligozat. Les DEEE numériques en France. Saclay, CNAM. 2023. <[hal-04098638](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-04098638)>
- The Global E-waste Monitor 2020 – Quantities, flows, and the circular economy potential, <https://ewastemonitor.info/gem-2020/>
- Registre DEEE 2021 de l'ADEME, https://librairie.ademe.fr/cadic/6667/equipements-electriques-electroniques_deee_donnees2020_rapport2021.pdf

Documentaires

- « Là où finissent nos déchets électroniques », <https://www.arte.tv/fr/videos/111790-000-A/la-ou-finissent-nos-dechets-electroniques/>
- « Déchets électroniques, le grand détournement », France 5 Le monde en face, <https://youtu.be/uZI99xZDVkg?si=XtO2SpDU4sVeqNiK>

