

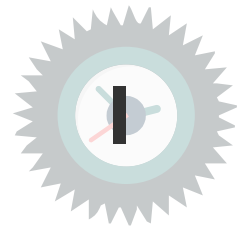
Impacts environnementaux du numérique : enjeux, méthodes, indicateurs



Table des matières

I - Contexte de la mesure des impacts environnementaux du numérique	3
1. Objectifs du développement durable (ONU).....	3
2. Soutenabilité et responsabilité dans le cadre du numérique	3
3. Conception numérique responsable (Green IT).....	4
II - ACV : analyse du cycle de vie	6
1. Introduction à l'ACV.....	6
2. Les quatre phases de ACV : fabrication, distribution, utilisation, fin de vie	7
3. Limites de l'ACV	8
4. Outil « Faux ACV ».....	9
III - Indicateurs pour mesurer l'impact environnemental du numérique	10
1. Facteurs d'impacts environnementaux : introduction.....	10
2. <i>Product Environmental Footprint</i> v3.1.....	11
3. Limites planétaires	11
4. Mesure des facteurs environnementaux : normalisation et factorisation.....	12
IV - Approche de l'impact environnemental du numérique	15
1. Numérique : niveaux et phases de vie	15
2. L'exemple de GreenIT.....	15
V - Exercice	17
Bibliographie	18
Crédits des ressources	19

Contexte de la mesure des impacts environnementaux du numérique



1. Objectifs du développement durable (ONU)



- Définition : un développement qui répond aux besoins des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs.
- A concilier suivant trois éléments de base : croissance économique, inclusion sociale et protection de l'environnement.
- 17 objectifs classés dans 5 domaines :
 - humanité : 1. pas de pauvreté, 2. faim zéro, 3. bonne santé et bien être, 4. éducation de qualité, 5. égalité entre les sexes
 - prospérité : 6. eau propre et assainissement, 7. énergie propre et abordable, 8. travail décent et croissance économique, 9. industrie, innovation et infrastructure, 10. inégalités réduites, 11. villes et communautés durables, 12. consommation et production responsables
 - planète : 13. lutte contre les changements climatiques, 14. vie aquatique, 15. vie terrestre
 - paix : 16. paix, justice et institutions efficaces
 - partenariat : 17 partenariats pour la réalisation des objectifs

2. Soutenabilité et responsabilité dans le cadre du numérique

- réduire l'empreinte écologique, économique et sociale
 - **pour** le numérique ou
 - **par** le numérique
- inventer un nouveau modèle de société : prenant en compte les limites de l'écosystème, et en utilisant intelligemment les technologies numériques existantes.

Approche d'ingénierie classique : optimiser

- efficacité : techniques plus performantes
- sobriété : ressources utilisées avec parcimonie)
 - sobriété des ressources (espace, mémoire, temps de calcul)
 - sobriété fonctionnelle
- utilisation des énergies renouvelables

Approche additionnelle : low-tech



Complément

- imaginer : de nouvelles solutions, de nouvelles façons de partager la technologie
- alerter : faire connaître des alternatives, informer le client ou ses collègues de problèmes en connaissance de cause

GreenIT



Exemple

Green IT (cf. p.4)

3. Conception numérique responsable (Green IT)

Green IT 1.0



Définition

Réduire l'empreinte du numérique (pour)



Exemple

- Augmenter la durée de vie et la réparabilité des composants
- Réduire la consommation énergétique des appareils

Green IT 1.5



Définition

Réduire l'empreinte des organisations à l'aide du numérique (par)



Exemple

- Télétravail : permet de réduire l'impact des citoyens car cela entraîne une diminution de l'utilisation des moyens de transports.
- Mails : envoyer un mail a un impact plus faible qu'une lettre papier.
- Téléconsultation : mise en place de rendez-vous à distance pour éviter les déplacements qui génèreraient pollution, embouteillages...

Green IT 2.0



Définition

Inventer de nouveaux produits ou services plus durables grâce au numérique (par)



Exemple

- Utilisation de pommeaux de douche intelligents : reliés à une application, ils permettent de connaître et réduire sa consommation d'eau.
- Application Too Good To Go (commerce de paniers anti gaspi) : permet de diminuer le gaspillage et encourage la solidarité.
- Application Yuka : permet de connaître l'impact environnemental des produits que l'on achète.

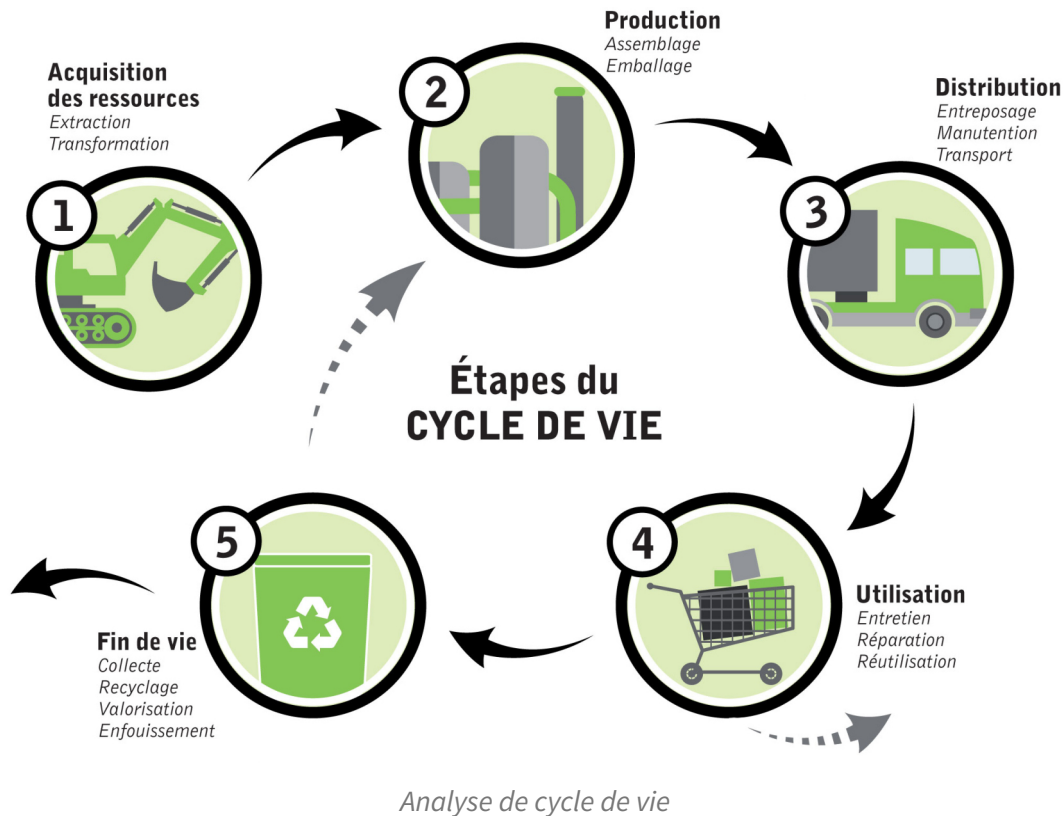
<https://www.greenit.fr/definition/>

<https://www.greenit.fr/ressources/>

ACV : analyse du cycle de vie



1. Introduction à l'ACV



Objectif



Identifier l'impact environnemental d'un produit **tout au long de son cycle de vie**.

Définition



L'ACV (Analyse Cycle de Vie) consiste à inventorier les flux de matières et d'énergies entrants et sortants à chaque étape du cycle de vie d'un produit pour ensuite évaluer ses impacts environnementaux.

Principales phases de l'ACV



- Extraction des matières premières et fabrication
- Transport et distribution
- Usage
- Fin de vie



Nécessité de bien fixer les frontières du système à étudier : limites, entrées, sorties, nombre d'unité et d'utilisation considérées, etc.



Ne pas oublier les aspects économiques et sociaux qui ne sont pas traités par l'ACV : respect des principes équitables dans sa phase de production et commercialisation, discrimination ou manque d'accessibilité, viabilité économique, impacts sociaux.



Normalisé en 1997 dans les normes ISO 14040.

2. Les quatre phases de ACV : fabrication, distribution, utilisation, fin de vie

Phase de fabrication

- Principaux impacts environnementaux :
 - déplacements,
 - fonctionnement d'une entreprise de service dématérialisée (moyens humains et matériels pour le développement).
- Actions recommandées (typique pour les entreprises de service dématérialisées) :
 - favoriser le télétravail pour réduire les déplacements,
 - prolonger la durée de vie du matériel et des infrastructures,
 - favoriser la gestion de configuration,
 - économiser les consommables et l'énergie sur le matériel,
 - mettre en place un cadre de travail agréable ,
 - favoriser la non-discrimination.

Phase de distribution

- Principaux impacts environnementaux :
 - moyens techniques (serveurs, réseaux, terminaux, etc.)
 - moyens humains
 - éventuellement, affrètement et production de manuels utilisateurs et supports matériels (DVD).
- Actions recommandées (typique pour les entreprises de bien de consommation) :
 - privilégier une distribution dématérialisée,
 - éviter des installations de trop grosses tailles en espace disques et des performances surdimensionnées,
 - permettre une installation fonctionnelle modulaire pour diminuer l'espace disque et mémoire requis,
 - respect des données personnelles,
 - pratiques commerciales claires pour le client.

Phase d'utilisation

- Principaux impacts environnementaux :
 - énergie consommée lors de l'utilisation,
 - production des équipements nécessaires à l'utilisation du logiciel (serveurs, terminaux, etc.)
 - consommables,
- Actions recommandées :
 - bonne conception pour éviter l'obésité et une consommation importante de ressource :
 - étudier les choix d'architecture du logiciel et décomposer les fonctionnalités par service,
 - bien choisir les langages et bibliothèques, favoriser la réutilisation, et optimiser (quitte à re-développer) les fonctions majeures et consommatrices,
 - mettre en place des outils de mesure de la qualité et de la consommation pour favoriser la maintenance,
 - optimiser la volumétrie des données nécessaires.
 - considérer les aspects sociaux :
 - accessibilité au plus grand nombre,
 - privilégier l'usage : le logiciel doit s'adapter à l'usage et ne proposer que les fonctionnalités nécessaires,
 - sûreté et sécurité du produit,
 - respect des données personnelles.

Phase de fin de vie

- Principaux impacts environnementaux :
 - désinstallation,
 - fin de vie des données (recyclage, réutilisation, anonymisation) ou de l'accès à un service (désinscription)
- Actions recommandées :
 - pérennisation du code (documentation et évolutivité),
 - désinstallation propre,
 - récupération facile des données,
 - interruption du logiciel ou du service sans contrepartie dissuasive.

3. Limites de l'ACV

- Problèmes rencontrés par l'ACV
 - les produits et systèmes ciblés sont complexes à définir et comprendre, ce qui peut causer des erreurs
 - aucune garantie que des éléments n'ont pas été ignorés dans l'analyse (entrées/sorties, processus d'une phase du produit) par oubli ou absence d'information
 - si utilisée pour guider le développement, l'ACV ne peut se baser que sur des prévisions (impossibilité de connaître le futur)
 - difficulté à collecter l'ensemble des données nécessaires à sa réalisation, amenant à utiliser des modèles approximatifs ou à ignorer les informations manquantes

- Conséquence :
 - le résultat d'un ACV est une approximation et peut être très éloigné de la réalité
 - processus coûteux en temps et en travail
- Malgré cela, seule méthode normalisée actuelle pour évaluer l'impact environnemental d'un produit

ACV du logiciel



- Difficile à réaliser : pas de déchets visibles générés, peu de matières premières utilisées dans la phase de fabrication, pas d'obsolescence intrinsèque. Les impacts proviennent majoritairement de sources de production liées au matériel et aux ressources humaines mobilisées lors du développement.
- Phases d'un ACV logiciel : fabrication, distribution, utilisation, fin de vie.
- Principales problématiques :
 - ressources de développement généralement partagées sur plusieurs projets : nécessité de bien suivre le travail effectué sur chaque logiciel.
 - fabrication non terminée à la commercialisation : la maintenance comprend en moyenne 50% des coûts de développement.
 - une nouvelle version est-elle une continuation ou un nouveau produit ?
 - des parties du logiciel peuvent être des bibliothèques existantes ou développées par des sous-traitants : il faut normalement les considérer dans l'ACV.

4. Outil « Faux ACV »



En posant des chiffres, même très approximatifs, même si on se trompe :

- on auto-évalue la pertinence de notre action (on a une idée de ce qu'on va gagner),
- on pose les bases d'un dialogue rationnel.

Faux ACV

- Identifier les postes d'impact qui paraissent a priori les plus concernés par votre produit à partir de votre connaissance de l'état de l'art.
- Essayer de dimensionner "à gros grain" les gains relatifs et/ou absolus que l'usage de votre produit produirait.



- Études de coûts
- Études de faisabilité technique
- Étude de performance
- ...

Indicateurs pour mesurer l'impact environnemental du numérique



1. Facteurs d'impacts environnementaux : introduction

Comment évaluer la durabilité d'un produit ou d'un processus ?

- Quels impacts va-t-on à évaluer ?
 - C'est quoi les impacts d'un produit sur l'égalité ou la paix ?
 - impacts environnementaux : modifications (positives ou négatives) sur l'environnement :
 - est-ce facile d'identifier ces modifications ? est-on sûr de n'avoir rien oublié ?
- Quelles mesures utiliser ?
 - quoi mesurer ?
 - quelles unités ? comment comparer les résultats de différentes modifications entre eux ?
 - comment obtenir les données ?

Même pour les impacts environnementaux les plus simples à manipuler, il n'y a pas de réponses complètement satisfaisantes à ces questions !

Quelques critères (issus du PEF et des limites planétaires)



- impact sur le changement climatique
- impact sur la couche d'ozone
- impact sur les humains (cancers, particules fines, radiations...)
- impact sur les sols (acidification, disponibilité des terres, excédent d'azote et de phosphore)
- impact sur les eaux douces et marines (excédent d'azote, acidification...)
- impact sur les éco-systèmes
- impact sur la diminution des ressources (eau, minéraux, métaux, ressources fossiles)



Product Environmental Footprint v3.1 (cf. p.11)

Limites planétaires (cf. p.11)

Autres facteurs d'impact utilisés



- Consommation en énergie
 - pas directement lié à un impact environnemental
 - conséquences sur les PEF resource use (fossils), climate change, ionising radiation (et autres) suivant les sources d'énergie : hautement dépendant des pays !

2. Product Environmental Footprint v3.1

Facteurs d'impacts du PEF (Product Environmental Footprint)

- 16 facteurs (*PEF2021*^{PEF2021 p.18})
- développés en 2013 par la commission européenne, actuellement en version 3.1 (2022) ;
- présentés dans le PEFCR (PEF Category Rules) : norme européenne visant à homogénéiser les analyses de cycle de vie environnementales au niveau européen en proposant des critères communs, notamment une catégorisation des facteurs d'impact environnementaux ;
- amalgames de facteurs mesurables provenant de plusieurs travaux scientifiques.

Les 16 facteurs d'impact du PEF

1. climate change (kg CO₂ eq) : impact sur le changement climatique
2. ozone depletion (kf CFC-11_{eq}) : impact sur la couche d'ozone
3. human toxicity, cancer (CTU_h) : impact toxique cancérigène sur les humains
4. human toxicity, non-cancer (CTU_h) : impact toxique non-cancérigène sur les humains
5. particulate matter (incidence de maladie) : impact de l'émission de particules fines sur les humains
6. ionising radiation (kBq U²³⁵_{eq}) : impact de l'exposition aux radiation sur les humains
7. photochemical ozone formation (kg NMVOC_{eq}) : impact de la formation de smog sur les humains
8. acidification (mol H⁺_{eq}) : impact de l'acidification des sols et des océans
9. eutrophication, terrestrial (mol N_{eq}) : impact de l'excédent d'azote dans les terres
10. eutrophication, freshwater (kg P_{eq}) : impact de l'excédent de phosphore dans les eaux douces
11. eutrophication, marine (kg N_{eq}) : impact de l'excédent d'azote dans les eaux marines
12. ecotoxicity, freshwater (CTU_e) : impact toxique sur les éco-systèmes des eaux douces
13. land use (plusieurs métriques) : impact sur la condition des terres (qualité du sol, production biotique, résistance à l'érosion, reapprovisionnement des nappes phréatiques, capacité de filtrage)
14. water use (m³ world_{eq}) : impact sur la diminution d'eau
15. resource use, mineral and metal (kg Sb_{eq}) : impact sur la diminution des ressources en minéraux et métaux (Sb = antimoine)
16. resource use, fossils (MJ) : impact sur la diminution des ressources fossiles



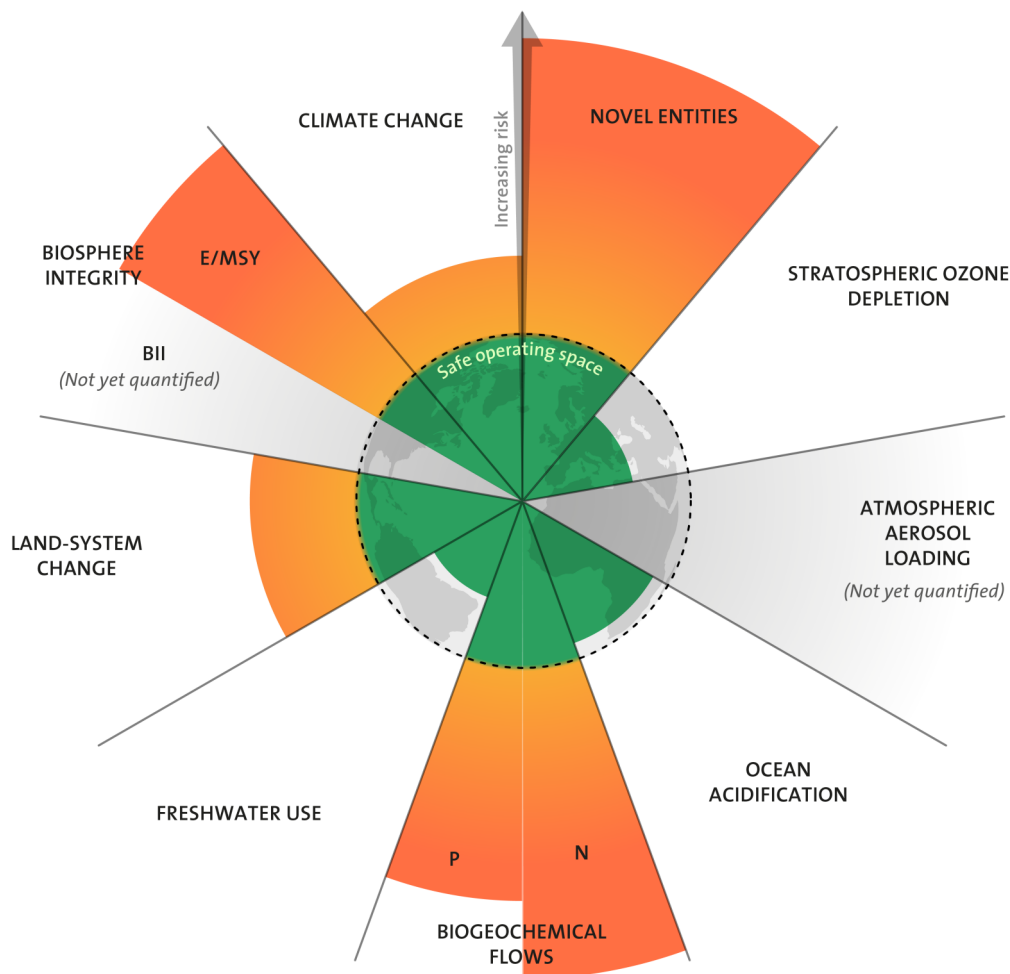
CTU = Comparative Toxic Unit for human/ecosystems

3. Limites planétaires

Limites planétaires (*planetary boundaries*) :

- 9 facteurs ;
- proposées par un groupe de scientifiques experts du climat de Suède et d'Australie en 2009 et mises à jour en 2015 ;

- définitions de limites aux modifications environnementales causées par l'homme au-delà desquelles des changements environnementaux abrupts et non-linéaires peuvent survenir au niveau planétaire, amenant des conséquences potentiellement catastrophiques.



Liens limites planétaires <=> PEF



- climate change <=> climate change
- stratospheric ozone depletion <=> ozone depletion
- atmospheric aerosol loading <=> photochemical ozone formation
- ocean acidification <=> acidification
- biogeochemical flows (P,N) <=> eutrophication (terrestrial/freshwater/marine)
- freshwater use <=> water use
- land system change <=> land use
- biosphere integrity <=> ecotoxicity(freshwater), **null**
- novel entities <=> human toxicity (cancer/non-cancer), particule matter, ionising radiation
- **null** <=> resource use (mineral/metal/fossils)

4. Mesure des facteurs environnementaux : normalisation et factorisation

Il y a un besoin de comparer les différents impacts environnementaux pour identifier sur lesquels porter ses efforts. On utilise pour cela deux processus la normalisation et la factorisation.

Normalisation

- Elle a pour objectif de transformer les mesures de chaque facteur dans des indices de même grandeurs.
- Pour les PEF, on ramène la mesure d'un facteur à l'impact moyen d'un être humain sur le facteur pendant une année (soit l'impact sur le facteur de l'espèce humaine pendant une année, divisée par la population mondiale).

Des valeurs moyennes sont données par la commission européenne (*PEFCR2017*^{PEFCR2017 p.18}).

- Pour les limites planétaires, on calcule un quotient de la mesure de chaque facteur par rapport à sa limite.

Factorisation

- Elle a pour objectif de pondérer les facteurs en fonction de leur importance relative (*JRC Weighting*^{JRC Weighting p.18})
- Pour les PEF, ce poids a été déterminé à la fois par des experts et le grand public, par un processus de questionnaire (expert/grand public) et de discussions (expert seulement), en tenant compte de la confiance (ou du manque de confiance) des experts sur cette importance.
- Pour les limites planétaires, des poids ont été proposés en 2015 par Bjorn et Hauschild.

Facteur d'impact	Poids PEF	Poids limites planétaires (Bjorn et Hauschild, 2015)
Climate change	21.06%	25.51%
Ozone depletion	6.31%	1.02%
Human toxicity (cancer)	2.13%	na
Human toxicity (non-cancer)	1.94%	na
Particulate matter	8.96%	na
Ionizing radiation (human health)	5.01%	na
Photochemical ozone formation (human health)	4.78%	34.69%
Acidification	6.2%	1.02%
Eutrophication (terrestrial)	3.71%	1.02%
Eutrophication (freshwater)	2.8%	9.18%

Facteur d'impact	Poids PEF	Poids limites planétaires (Bjorn et Hausschild, 2015)
Eutrophication (marine)	2.96%	1.02%
Ecotoxicity (freshwater)	1.92%	na
Land use	7.94%	25.51%
Water use	8.51%	1.02%
Resource use (minerals and metals)	7.55%	na
Resource use (fossils)	8.32%	na

Approche de l'impact environnemental du numérique



1. Numérique : niveaux et phases de vie

3 niveaux de composants habituellement identifiés

- niveau 1 : terminaux utilisateurs. PC de bureau, PC portables, téléphones mobiles, téléphones, téléviseurs, écrans, imprimantes, boîtes internet, etc.
- niveau 2 : réseau. Antennes, répéteurs, switchs, hubs, bornes wifi, câblage, etc.
- niveau 3 : datacenter. Serveurs, refroidissement, stockage

4 phases de vie

- phase de fabrication : extraction des minerais, fabrication des composants, acheminement des composants, assemblage
- phase de distribution : transport du produit jusqu'à l'utilisateur, packaging, manuels d'utilisation
- phase d'usage : utilisation du produit, consommables compris, reconditionnement total
- phase de fin de vie : recyclage, reconditionnement partiel, mise aux déchets

2. L'exemple de GreenIT

ACV du numérique en Europe 2021 - GreenIT

	Total	Niveau 1 : Terminaux utilisateurs	Niveau 2 : Réseau	Niveau 3 : Centres de données
Utilisation des minéraux et terres rares	23%	20.4%	1.4%	1.2%
Utilisation des matières fossiles	17%	10.5%	2.4%	4.1%
Acidification	4,4%	2.9%	0.5%	1%
Ecotoxicité (eau douce)	4,8%	3.2%	0.5%	1%
Toxicité humaine (cancer/non-cancer)	0,6%	0.5%	0%	0.1%
Eutrophisation (terrestre/eaux douces/eaux de mer)	2,2%	1.4%	0.3%	0.5%

	Total	Niveau 1 : Terminaux utilisateurs	Niveau 2 : Réseau	Niveau 3 : Centres de données
Changement climatique	16,1%	10.6%	1.9%	3.6%
Radiations	11%	7.2%	1.6%	2.2%
Destruction de l'ozone stratosphérique	0,1%	0.1%	0%	0%
Emissions d'ozone photochimique et de particules	5,8%	3.8%	0.7%	1.3%
Total	85%	60.6%	9.3%	15%



- Les plus grands participants parmi les terminaux sont les téléviseurs, les ordinateurs portables et les smartphones (environ 20% chacun) suivi des ordinateurs de bureau (environ 10%).
- L'utilisation des sols n'est pas comptabilisé par manque de données (pas d'information sur l'extraction de matériaux sur ce point)
- Les 15% restant étaient associés au facteur d'impact utilisation de l'eau douce, mais ont été écartés à cause d'un défaut de la méthode sur l'usage des eaux de refroidissement des centrales électriques : dans la majorité des cas elles peuvent être mises de côté.

ACV du numérique en France 2021 - GreenIT

		Niveau 1 : Terminaux utilisateurs	Niveau 2 : Réseau	Niveau 3 : Centres de données	Total	
Energie	Fabrication	37%	2%	2%	41%	100%
	Usage	27%	19%	13%	59%	
GES	Fabrication	76%	5%	2%	83%	100%
	Usage	8%	5%	4%	17%	
Eau	Fabrication	86%	1%	1%	88%	100%
	Usage	1%	4%	3%	12%	
Matières premières (métaux et minéraux/ fossiles hors énergie)	Fabrication	79%	15%	6%	100%	100%
	Usage	0%	0%	0%	0%	

Exercice



Organisation

On constitue 6 groupes de 6.

3 groupes travailleront sur une restitution orale (troubadours) et 3 autres groupes sur une restitution écrite (scribes).

Timing :

- préparation 15 minutes
- restitution orale : 3 x 5 minutes = 15 minutes

Attribution des rôles pour les groupes « Troubadours ».

- 1 animateur-ice gère la distribution et le temps de parole.
- 1 ou 2 secrétaires prennent des notes.
- 1 ou 2 rapporteur-euses écoutent, suivent la prise de notes et restituent les notes à l'oral à la fin.
- Les autres proposent des éléments de réponse à la question à tour de rôle.
- Une fois le tour fini, s'il reste du temps on peut engager une discussion plus libre.

Attribution des rôles pour les groupes « Scribes ».

- 1 animateur-ice gère la distribution et le temps de parole.
- 1 à 3 secrétaires prennent des notes.
- Les autres proposent des éléments de réponse à la question à tour de rôle.
- Une fois le tour fini, s'il reste du temps on peut engager une discussion plus libre.

Questions

1. Proposez un ou plusieurs exemples relevant de la dénomination Green IT 1.0, d'autres relevant de Green IT 1.5 et d'autres relevant de Green IT 2.0.
- 2.
3. Dans le domaine du numérique, exprimez des études d'impact qui peuvent être menées grâce à de l'ACV, d'autres pour lesquels l'ACV est insuffisante, et d'autres enfin, pour lesquelles elle est inopérante.
4. Proposez des projets ou des moyens de faciliter et rendre plus précis la mesure des impacts environnementaux des produits numériques.
5. Critiquez les facteurs d'impact présentés en cours, et proposez des modifications (ou une nouvelle liste de facteurs) pour les compléter et répondre à vos critiques.
- 6.

Bibliographie



[**JRC Weighting**] Sala S., Cerutti A.K., Pant R., Development of a weighting approach for the Environmental Footprint, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-68042-7, EUR 28562, doi 10.2760/945290

[**PEF2021**] Commission Recommendation (EU) 2021/2279 of 15 December 2021 on the use of the Environmental Footprint methods to measure and communicate the life cycle environmental performance of products and organisations, OJ L 471, 30.12.2021

[**PEFCR2017**] PEFCR Guidance document, - Guidance for the development of Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs), version 6.3, December 14 2017.

Crédits des ressources



Analyse de cycle de vie p. 6

Polytechnique Montréal, 2023. <https://www.polymtl.ca/>