SCORELCA

ETUDE N° 2019-03

IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES OBJETS CONNECTES ET DES SERVICES BASES SUR LEUR UTILISATION :

ORDRES DE GRANDEURS ET RECOMMANDATIONS METHODOLOGIQUES

Synthèse

Février 2021

Responsables scientifiques :

Etienne Lees-Perasso, Julie Orgelet, Georges Ouffoue
CONSORTIUM NEGAOCTET

L'association SCORE LCA est une structure d'étude et de recherche dédiée aux travaux relatifs à l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) et à la quantification environnementale. Elle vise à promouvoir et à organiser la collaboration entre entreprises, institutionnels et scientifiques afin de favoriser une évolution partagée et reconnue, aux niveaux européen et international, de la méthode d'Analyse du Cycle de Vie et de sa mise en pratique.

- ✓ Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)
  www.ademe.fr

- ✓ Les points de vue et recommandations exprimés dans ce document n'engagent que les auteurs et ne traduisent pas nécessairement, sauf mention contraire, l'opinion de l'ensemble des membres de SCORE LCA.

- ✓ Les informations et les conclusions présentées dans le présent document ont été établies au vu des données scientifiques et techniques et d'un cadre réglementaire et normatif en vigueur à la date de l'édition des documents.

A. INTRODUCTION

a. Contexte de l'étude

La transition numérique permet de répondre en partie aux enjeux de la transition écologique. Néanmoins, si le secteur du logiciel et des services numériques est perçu comme un secteur de l'immatériel (dont les impacts ne sont pas locaux et donc souvent oubliés), la démultiplication des services connectés n'est pas exempte d'impact environnemental [1] [2] et leur développement peut conduire à des effets rebonds indésirables [3] [4]. Dans ce contexte, l'évaluation de l'impact environnemental du numérique reste néanmoins un sujet émergeant [5].

b. Objectifs de l'étude

Afin de s'assurer que la transition numérique ne se fera pas au détriment de la transition environnementale, il est nécessaire de disposer de méthodes de détermination des impacts environnementaux consolidés. Cela passe premièrement par la montée en compétence des acteurs, et à l'élaboration de règles sectorielles permettant à la fois de traiter les spécificités des services numériques et des objets connectés, d'harmoniser et de fluidifier les pratiques.

Pour réaliser ce travail, il est essentiel de mener un état des lieux bibliographique afin de déterminer l'avancée actuelle des travaux sur le sujet, l'état des connaissances et les pratiques, et les éventuels consensus ou points de divergence entre les méthodes.

La présente étude a donc pour objectif de :

- Faire un état des lieux et une analyse méthodologique des évaluations environnementales des objets connectés et des services basés sur leur utilisation
- Analyser les choix méthodologiques et les résultats d'impacts obtenus pour ces objets et services
- Proposer des recommandations et bonnes pratiques pour les évaluations environnementales des objets connectés et des services basés sur leur utilisation
- Préconiser des données robustes à utiliser
- Identifier les tendances futures

L'étude a été réalisée par le consortium Negaoctet, composé du LCIE Bureau Veritas, APL Datacenter, DDemain et GreenIT.fr.

B. PHASE 1 – ETAT DE L'ART – BIBLIOGRAPHIE

Sélection des publications

Cette première partie de l'analyse bibliographique a pour objet d'identifier, de classer et d'analyser les études publiées en fonction de différents critères afin :

- D'établir une cartographie des objets et services couverts ou non.
- D'identifier le niveau de maturité de l'évaluation environnementale des services numériques
- D'identifier les méthodes d'analyse utilisées
- D'identifier les points forts et faibles des études sélectionnées.
- D'identifier les disparités méthodologiques et éventuellement les divergences d'opinions et de résultats.
- D'identifier des publications qui feront l'objet d'analyses approfondies

L'identification et la sélection des sources analysées dans le cadre de cette étude se basent sur le processus suivant :

Etape 1 – Identification des publications
Sur la base des mots clés précédemment identifiés, plus de 750 publications susceptibles d'alimenter les travaux de recherche en cours ont été identifiées. Une analyse de premier ordre a permis de réduire cet échantillon à 170 publications.

Etape 2 - Screening
Dans un second temps (Screening), les abstracts ont été lus et référencés pour retenir 48 publications.

Etape 3 – Analyse de l'échantillon
Une analyse plus approfondie sur la base du référentiel présenté dans le paragraphe suivant a été menée afin de :

- Obtenir un premier niveau de réponse aux questions de recherche identifiées précédemment
- Sélectionner les publications qui feront l'objet d'une analyse approfondie en phase 2 du présent projet
- Alimenter la réflexion quant à la rédaction d'un PCR répondant aux enjeux de l'évaluation des impacts environnementaux des services numériques

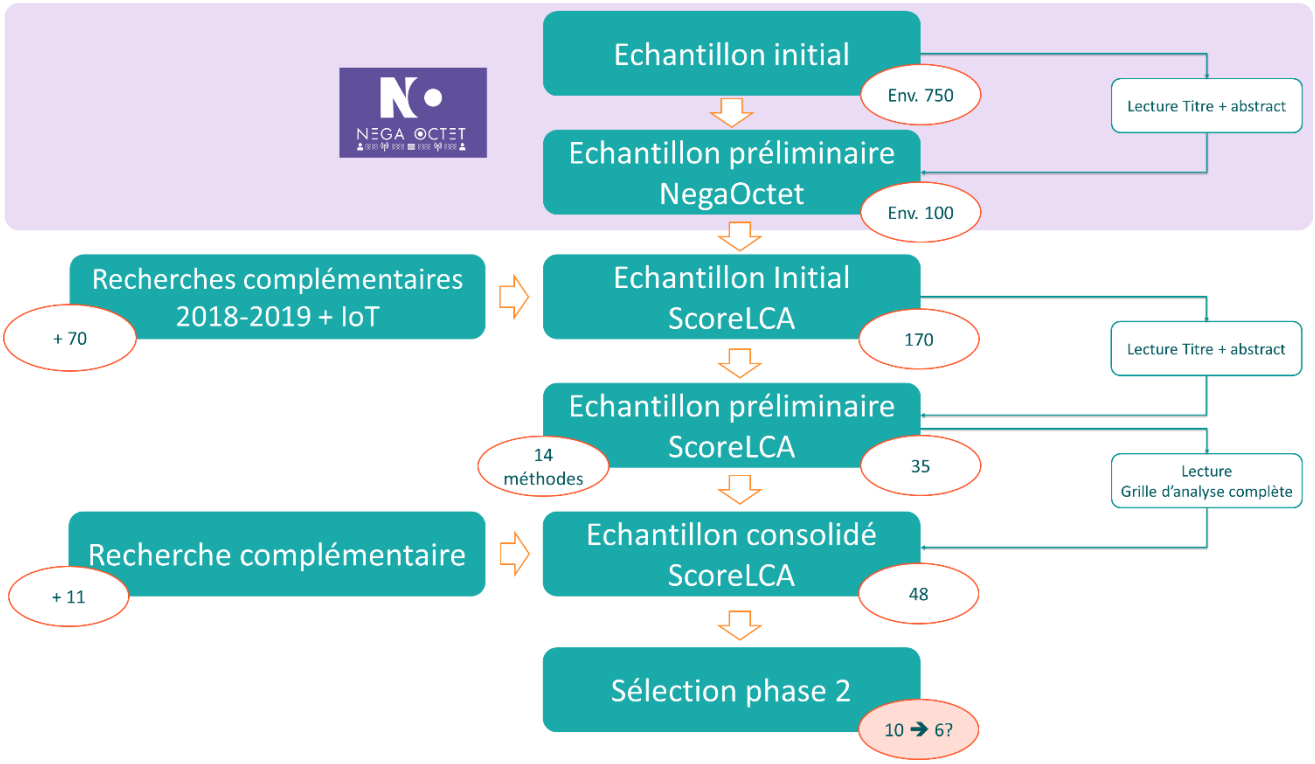


Figure 1 - Méthode – Définition de l'échantillon et méthode d'identification de sélection des sources pertinentes

Le référentiel d'analyse correspond à la grille d'analyse qui a permis à l'équipe projet de travailler en sous-groupe de manière homogène. Les paramètres renseignés pour chaque publication sont les suivants :

Sous-groupe renseigné à l'étape 2 : Screening

- Date de publication du document
- Date de collecte des données : Elle est différente de la date de publication et donne une idée plus fine de la représentativité temporelle de l'étude
- Langue : Anglais ou français
- Titre
- Auteurs

- Sponsor/Commanditaire de l'étude
- Journal/Editeur : Editeur de l'étude
- Type de document : Publication scientifique, Référentiel / Méthodes / Normes / PCR, Publication privée, Rapport RSE, Livre, Outil/Calculateur, Rapport d'Analyse du Cycle de Vie, Méthode, Livre blanc, Thèse, Edito, Thèse de Master / Projet étudiant, Conference Paper, Revue documentaire,
- Catégorie 1 : Etude d'impact environnemental; Documentation technique; Méthode; Prospective/Trajectoire; Etude préparatoire; Enquête; Référentiel
- Catégorie 2 : Mono-critère - bilan carbone; Mono-critère - énergie; Multi-critère - ACV; Multi-critère - ACV simplifiée; MFA - Material Flow Analysis; I/O - Input/Output; Méthode qualitative; Généraliste IT; Mesure d'énergie; Ecoconception; Définition; Sobriété numérique;
- Catégorie 3 : Equipement; Equipement périphérique; Réseau; Service numérique; Composants électroniques; Secteur/Domaine d'activité; Système d'information; IoT; Logiciel; Data center
- Mots-clef : Mots clefs proposés par l'auteur

Sous-groupe renseigné à l'étape 3 : Etude échantillon restreint

- Notes du reviewer
- Type d'ACV
- Référentiel normatif
- Identification des produits et services couverts / secteurs d'activités
- Unité fonctionnelle
- Objectifs - famille et description
- Scope
- Identification des produits et services substitués
- Périmètre géographique
- Catégories d'impact couvertes
- Prise en compte de la fin de vie
- Identification des bénéfices associés aux services numériques
- Facteurs d'allocation – Terminaux - Réseau - Data center

Analyse globale

En synthèse, grâce à la compilation de 170 publications datant de 2001 à 2020, les éléments suivant émergent :

- Des documents méthodologiques (17 identifiés) ont été développés pour chaque tiers de l'infrastructure numériques et certains portent sur les services numériques dans leur ensemble.
- Il existe des études portant indépendamment sur chaque tiers (logiciel, équipement, réseau, datacenter) d'un service numérique. Ces apports sont rarement articulés pour évaluer l'impact environnemental d'un service ou d'un usage numérique sur l'ensemble de la chaine de transmission, réception de l'information. Seul 10% des études portent sur l'internet des objets.
- La méthode d'évaluation la plus utilisée est la méthode d'analyse du cycle de vie complète ou réduite à l'évaluation du potentiel de changement climatique et à la consommation d'énergie primaire.
- La majorité des études portant sur les 3 tiers d'un service numérique se concentre :
    - Soit uniquement sur la phase d'usage
    - Soit sur la phase de fabrication et la phase d'usage, la phase de fabrication pouvant être modélisée uniquement à partir des intrants énergétiques
    - Seules quelques études intègrent la phase de fin de vie.

- Pour les cas où les 3 tiers du service sont considérés, les auteurs ont des niveaux de maitrise différents pour chacun des tiers de l'infrastructure (terminaux, réseaux, datacenter) ce qui induit des différences de traitements entre chaque tiers. On retrouve donc des approches différentes et complémentaires qui devraient être synthétisées dans une méthode opérationnelle. Un travail de synthèse pourrait être fait entre les publications.
- La partie développement logiciel et ressources humaines n'est jamais traité au sein d'une étude de service numérique. Elle peut être traitée au sein d'une étude spécifique, mais n'est pas combinée avec les impacts des architectures techniques. Les approches portant sur le logiciel se concentrent majoritairement sur la consommation d'énergie des terminaux.
- La majorité des études dites ACV sont en réalité des ACV screening ou des études mono-critères. Une trentaine d'étude fait référence à l'ISO 14040 sans pour autant appliquer cette dernière dans sa totalité. 2 études font référence au GHG protocole et 3 études à la norme ETSI 103 199 ou ETSI 203 199.
- 16 études sont basées sur l'utilisation d'outil d'ACV et de bases de données consolidées (type Ecoinvent, EIME ou ELCD). Les autres études d'impacts se réfèrent à des facteurs d'émissions issus de la littérature. La majorité des études se basent sur des sources de données hétérogènes et peu documentées.
- Les analyses d'impacts sont de différents types. Les indicateurs retenus sont disparates.

C. PHASE 2 – ANALYSES ET SPECIFICITES POUR LA METHODOLOGIE ACV

a. Sélection de publications

La sélection a été réalisée par les membres de SCORELCA, sur la base des recommandations du consortium. Les membres ont également souhaité réintégrer certaines études qui n'avaient pas été retenues ou analysées à la suite de la première phase.

Etudes retenues :

- CLIMAT : L'INSOUTENABLE USAGE DE LA VIDÉO EN LIGNE - Un cas pratique pour la sobriété numérique ; The Shift Project - Maxime Efoui-Hess ; 2019 [14]
- "Integrative approaches to environmental life cycle assessment of consumer electronics and connected media" ; Paul Teehan ; 2014 [15]
- "Lessons learned – Review of LCAs for ICT products and services" ; Yevgeniya Arushanyan, Elisabeth Ekener-Petersen, Goran Finnveden ; 2014 [16]
- « Life Cycle Assessment of Connected and Automated Vehicles: Sensing and Computing Subsystem and Vehicle Level Effects » ; James H. Gawron, Gregory A. Keoleian, Robert De Kleine, Timothy J. Wallington, and Hyung Chul Kim ; 2018 [17]
- "Assessing Indirect Environmental Effects of Information and Communication Technology (ICT): A Systematic Literature Review" ; Jan C. T. Bieser and Lorenz M. Hilty ; 2018 [18]
- "An Integrated Method for Environmental Assessment and Ecodesign of ICT- based Optimization Services" ; Jeremy Bonvoisin, Alan Lelah, Fabrice Mathieux, Daniel Brissaud ; 2014 [19]

b. Analyse approfondie des documents - Méthodologie

Le format de l'analyse approfondie reprend le fichier Excel du référentiel d'analyse élaboré en phase 1, et le complète avec des catégories complémentaires permettant de mettre en lumière les enseignements et les limites, et de mieux appréhender l'intérêt de chaque document.

Ces catégories sont les suivantes :

- Documentation des limites, incertitudes

- Adéquation entre les objectifs et les résultats
- Enseignements de l'étude / conclusion
- Evaluation globale
- Spécificité pour chaque étude

c. Analyse approfondie des documents - Résultats

Suite à cette analyse, des enseignements génériques se dégagent. Si certains étaient déjà confirmés par l'analyse bibliographique de l'état de l'art (manque de référentiels communs ou de données), d'autres ont pu être identifiés grâce aux analyses approfondies (il n'existe pas d'étude de référence, et les effets indirects sont difficiles à quantifier).

Manque d'hypothèses communes

Chaque document analysé se base sur ses propres hypothèses et règles méthodologiques, sans s'appuyer sur des référentiels communs.

Au-delà des problèmes de compréhension des résultats et d'interprétation, cette hétérogénéité des sources entraîne l'impossibilité de réaliser des comparaisons ou des analyses macroscopiques à partir des études publiées sans reprendre les modélisations et les hypothèses.

Cela renforce le besoin de disposer de règles sectorielles aux services numériques pour homogénéiser autant que possible les hypothèses principales.

Manque de données primaires et secondaires

Les ACV de services numériques souffrent d'un manque de données primaires comme secondaires. Les ACVistes et les industriels du secteur comme les utilisateurs ne disposent pas d'informations complètes sur l'ensemble de la chaîne de valeur des services numériques (terminaux, réseaux, datacenter).
Ils sont donc amenés à réaliser des hypothèses et utiliser des données secondaires pour estimer les informations et les impacts des données manquantes. Cependant, ces données secondaires sont également manquantes, ou ne font pas l'objet de consensus.

Au-delà de l'hétérogénéité des résultats qui s'ajoute à celles des hypothèses, l'essentiel des études choisissent de rétrécir le périmètre d'étude en limitant aux indicateurs et phases du cycle de vie pour lesquelles des données sont plus accessibles, et notamment la phase d'utilisation, la consommation d'énergie, et l'indicateur de potentiel de réchauffement climatique.

Cela constitue une forte limite pour la méthodologie ACV en sortant du cadre de deux de ses caractéristiques constitutives :

- Multi-étapes
- Multi-critères

Les résultats ainsi publiés ne permettent pas de donner une image exhaustive des impacts, même directs, des services numériques, et entraînent le risque de ne pas identifier d'éventuels transferts de pollution.

Il n'existe pas d'étude idéale pouvant servir de référence

Les études ACV ayant fait l'objet d'une analyse approfondie dans cette étude ont trop de limitations pour être utilisées comme référence.

De ce fait, il est indispensable de recouper les sources et de se référer au plus grand nombre d'ACV et d'études environnementales de services numériques, globaux ou partiels, avant d'utiliser des sources comme références.

Difficulté de prise en compte des effets indirects

Les deux études analysées portant sur les effets indirects ne concluent pas sur une méthode spécifique pour prendre en compte les effets indirects.

S'il est difficile de les quantifier, il paraît essentiel de pouvoir *a minima* les qualifier.

De par l'importance liée aux effets indirects, il est essentiel de pouvoir avancer sur la prise en compte de ces effets. Ce point est discuté en détail dans la phase 3 du projet concernant les recommandations.

D. PHASE 3 – PRECONISATION D'UTILISATION DE DONNEES ROBUSTES

Les données robustes identifiées sont de trois types :

- Données à l'échelle des services numériques dans leur globalité
- Données sur les équipements utilisés dans les services numériques
- Données techniques sur les équipements utilisés dans les services numériques au sein des organisations

Sur cette base, les différentes sources de données identifiées sont détaillées suivant les critères suivants :

- Périmètre : Territoire, Usage/Service ou Equipement
- Donnée gratuite ou payante
- Type de donnée : données de collecte, résultat d'impact monocritère, AICV / ICV
- Statut de développement : donnée développée ou en développement

Données sur les services numériques dans leur globalité

Les données suivantes ont été identifiées :

- Etudes GreenIT.fr
- Modèle 1byte – The Shift Project
- Etudes The Shift Project
- Etudes Negaoctet
- Etude ADEME-ARCEP

Données sur les équipements utilisés dans les services numériques

Les données suivantes ont été identifiées :

- Données fabricant
- EIME
- Ecodiag
- Programme PEP ecopassport®
- Etudes ADEME
- Negaoctet
- PAIA
- GaBi
- Base Impacts
- Base PEF/OEF

Données techniques sur les équipements utilisés dans les services numériques au sein des organisations

Les données suivantes ont été identifiées :

- CMDB entreprise
- Datasheets
- Méthode BOAVIZTA

E. PHASE 3 – ETABLISSEMENT DE RECOMMANDATIONS

Cette partie a pour objectif de préciser une liste de recommandations propres à la réalisation d'ACV des services numériques. Cette liste de recommandations représente la vision du consortium Negaoctet, complétée et discutée avec les membres de ScoreLCA et ouvre des perspectives de travaux sur l'ensemble des sujets afin d'arriver à des positions communes. A cet effet, elle peut être utilisée comme base pour la rédaction de règles sectorielles (RCP / PCR).

Les recommandations portent sur les sujets suivants :

Classification du niveau d'ACV

Classification de tout ou partie de l'ACV selon trois niveaux :

- Screening : évaluation de cadrage pour identifier rapidement les enjeux environnementaux pour l'aide à la décision. Utilisation de données hétérogènes, et/ou au niveau AICV.
- Simplifié : évaluation simplifiée intégrant des données secondaires et des voies de simplifications encadrées. Utilisation de données ICV ou UPR principalement génériques.
- Complet : évaluation complète intégrant des données primaires obtenues après plusieurs itérations et une collecte sur le terrain à plusieurs niveaux de la chaine de valeur. Utilisation de données ICV ou UPR principalement spécifiques.

Unité fonctionnelle

Pour un service numérique considéré, les fonctions sont notamment dépendants des objectifs de l'étude et du public cible. Chacun aura une utilisation différente du service. Les fonctions doivent être identifiées en lien avec les parties prenantes concernées et le public cible.

Durée de vie

La durée d'étude doit être précisée spécifiquement en fonction des cas de figure. Dans l'ordre de priorité, il est nécessaire de :

- Caractériser la durée de vie fonctionnelle ou normative du service numérique. Correspond à un service numérique dans sa globalité.
- Si cela n'est pas possible, définir une durée d'usage. Correspond à un compte utilisateur
- Si cela n'est pas possible, la durée de vie n'est pas prise en compte. Correspond à un acte métier.

Schéma fonctionnel et diagramme de flux

Il est nécessaire de déterminer trois éléments :

- Le parcours utilisateurs (workflow) : détaille toutes les opérations réalisées pour permettre la bonne tenue de l'unité fonctionnelle.
- Le schéma fonctionnel : détaille les ensembles constitutifs du service numérique étudié permettant la mise en œuvre du parcours utilisateur
- Le diagramme de flux : il indique le cheminement des actions successives se déroulant lors de l'usage.

Règle de coupure

Dans le cas où la règle de coupure ne peut pas porter sur les critères de masse, d'énergie ou d'impact, il est recommandé d'utiliser un critère de consommation énergétique en phase d'utilisation des éléments modélisés par rapport à la consommation énergétique de l'ensemble des éléments associés au service numérique considéré, pour chaque tiers (terminaux, réseau, datacenter).

Sélection des catégories d'impact

Les catégories d'impact recommandées pour les services numériques sont :

- L'épuisement des ressources naturelles (minérales et métaux)
- Le changement climatique
- L'acidification
- Les émissions de particules fines
- Les radiations ionisantes
- L'épuisement de la ressource en eau

De manière spécifique pour les objets connectés, ceux-ci peuvent et sont généralement inclus dans des systèmes classiques basés sur des objets physiques dans des secteurs qui ont des catégories d'impact prépondérantes différentes. Afin de disposer d'une vision d'ensemble des problématiques environnementales sur les systèmes étudiés, il est nécessaire que les catégories étudiées incluent également celles des systèmes physiques.

Comparaison

Les catégories d'impact étudiées dans le cadre d'une comparaison entre plusieurs systèmes doivent couvrir les enjeux pertinents pour l'ensemble des secteurs, notamment concernant les services numériques d'une part, et les services physiques de l'autre.

Collecte des données

Les données primaires doivent être collectée sur une période d'un an afin d'éviter les variations saisonnières.

Dans le cas où le service numérique considéré a une durée totale de moins d'un an, la période de collecte doit comprendre l'ensemble de la durée du service numérique.

Les impacts des services numériques sont généralement dépendant de la maturité du service, notamment en termes de dimensionnement par rapport au nombre d'utilisateurs. Ainsi, il convient d'évaluer les variations d'impacts liés aux variations d'usage et de dimensionnement du service.
Les deux approches retenues sont les suivantes :

- Approche au réel : le taux d'usage est déterminé en se basant sur la collecte de données réalisé. Il doit être indiqué
- Approche par hypothèse : le taux d'usage est déterminé par hypothèse. Dans ce cas il doit être précisé, et plusieurs hypothèses de taux d'usage doivent être calculées en analyse de sensibilité afin de présenter la variation d'impact liée à cette hypothèse.

Allocations

De par leur complexité, les services numériques peuvent être séparés en différents sous-éléments. De manière non exhaustive :

- Objets connectés : bande passante, temps d'utilisation, nombre d'opérations
- Terminaux : usage CPU, usage GPU, usage ROM, usage RAM, temps d'utilisation
- Réseaux : bande passante
- Datacenters : usage CPU, usage GPU, usage ROM, usage RAM, nombre d'opérations

Effets indirects

La prise en compte des effets indirects est essentielle du fait de l'importance relative de ceux-ci, aussi bien concernant le potentiel de réduction d'impact (IT for green) que le risque d'effets indésirables d'augmentation des impacts. L'ordre de grandeur de ces effets indirects est peu connu à l'heure actuelle.

Ces impacts sont difficiles à quantifier dans des délais et des ressources abordables pour la plupart des praticiens ACV, et demandent l'intervention d'experts de domaines variés. Ils génèrent une forte incertitude du fait de leur caractère prévisionnel, dans un domaine comme les services numériques soumis à de fortes évolutions et des sauts technologiques.

Il est cependant possible de les identifier et de les catégoriser. Pour cela, différentes classifications sont possibles. L'étude « Known unknowns: indirect energy effects of information and communication technology » [11] est à ce jour l'étude la plus poussée sur la classification des impacts indirects des services numériques. Si elle se concentre sur une approche énergétique, sa méthodologie est applicable pour la réalisation d'ACV.

Y sont introduits différents niveaux d'effets indirects, positifs comme négatifs, en fonction de leur portée par rapport à l'écosystème socio-économique, depuis les effets directs jusqu'aux transformations systémiques :

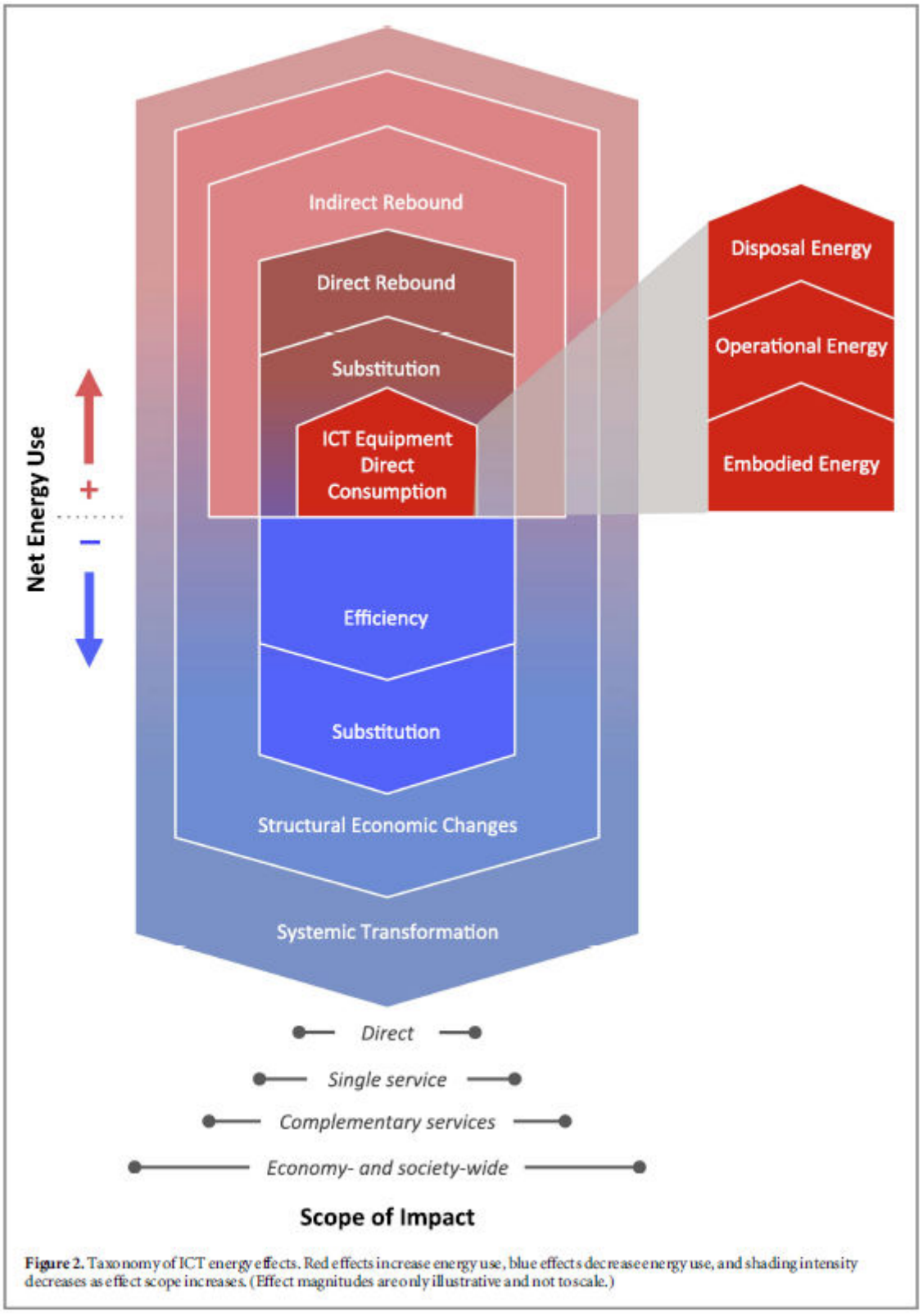


Figure 2 – Présentation de la classification des effets indirects, extrait de [11]

Les catégories sont détaillées ci-dessous :

Effet	Portée	Explication	Exemple (système considéré : GPS)
Impacts de la fabrication et du transport	Directe	Effet négatif	Production et transport du GPS

Impacts de l'utilisation		Effet négatif	Consommation d'énergie et de données du GPS
Impacts de la fin de vie		Effet négatif	Traitement en fin de vie du GPS
Efficience	Indirecte – sur le service considéré	Effet positif, réduction de l'utilisation de ressources liées à l'optimisation de la consommation permise par le service numérique	Trafic plus efficient du fait de la recherche de la route la plus courte par le GPS
Substitution		Effet positif ou négatif, remplacement d'un service par un autre	Remplacement des cartes papier
Effet rebond direct		Effet négatif, augmentation de la consommation d'un service lié à la réduction de son coût ou à une utilisation facilitée	Plus de trajets liés à l'amélioration des temps de déplacement et à la réduction de la congestion
Effet rebond indirect	Indirecte – sur d'autres services	Effet négatif, augmentation de la consommation d'autres services liée aux économies dégagées par la réduction du coût du service étudié	Utilisation du temps économisé par la réduction des trajets et utilisation de l'argent économisée par la réduction de l'usage de carburant
Changements économiques structurels	Indirecte – niveau économique	Effet positif ou négatif, modifications macroéconomiques liées à l'introduction de nouveaux services et l'ajustement des secteurs existants	Les GPS permettent l'arrivée des véhicules autonomes
Transformation systémique	Indirecte – niveau sociétal	Effet positif ou négatif, modification des comportements humains et des institutions économiques et sociales	Les véhicules autonomes modifient les schémas et habitudes de choix de lieux de vie et de travail

Figure 3 – Détail de classification des effets indirects, adapté de [11]

Coût environnemental de possession et coût environnemental d'usage

Lors du passage de service classique à service numérique, il y a souvent un report des impacts depuis les phases de production, distribution, installation et fin de vie, vers la phase d'utilisation. En effet, les services numériques font appel à des équipements consommateurs d'électricité et de données qui génèrent des impacts environnementaux.

Cela produit une modification d'une partie des causes d'impact, depuis un coût de possession (les impacts sont conditionnés à l'acquisition du produit) vers un coût d'usage (les impacts sont conditionnés à l'usage du produit).

Lors de l'identification des axes d'écoconception, il est recommandé d'identifier les impacts causés par l'acte d'acquisition des équipements et ceux causés par leur utilisation. Le coût d'usage inclus le cycle de vie des équipements réseau et datacenter permettant le transport, le traitement et le stockage des données déporté.

Coût environnemental moyen et coût environnemental marginal

Les services numériques sont généralement interconnectés de par l'utilisation d'équipements partagés. Ces équipements sont parfois présents de manière indépendante au service étudié.

Deux visions sont ainsi possibles :

- Calcul du coût moyen : il correspond au calcul classique réalisé en ACV : les impacts liés à la production des équipements déjà utilisés sont alloués au service par rapport à une clé d'allocation qui dépend de chaque situation.

- Calcul du coût marginal : il correspond au coût lié à l'accroissement des impacts environnementaux suite à la mise en place du service par rapport à la situation précédente. Il exclut la production des équipements déjà utilisés.

Dans le cadre du calcul du coût marginal, un équipement peut avoir une partie des impacts associés au service (consommation d'électricité en mode actif), et d'autres non (fabrication, consommation d'électricité en mode veille, etc.)

F. PHASE 3 – OUVERTURE

Les services numériques sont un secteur encore non mature, en croissance économique, technique et fonctionnelle rapide.

Ces évolutions ont fortement modifié la réalisation d'ACV de ces services. Ces méthodes n'ont pas évolué à une vitesse suffisante pour suivre les services numériques. Le retard méthodologique accumulé entraîne une latence de réaction du monde de l'ACV dans la quantification des impacts environnementaux à l'heure d'une prise de conscience forte des enjeux liés à ce secteur.

Afin de limiter l'écart entre les services numériques et les méthodologies ACV dans le futur, il est nécessaire de disposer d'une vision proactive des évolutions à venir, et des enjeux associés.

Ces points de vigilance sont les suivants :

Niveau de distribution des services numériques

Les services numériques sont de plus en plus distribués, depuis une installation logicielle sur un poste unique (*on premise*), vers une interconnexion globale via les réseaux.

Cela va entraîner une plus grande imbrication des services numériques entre eux : un service numérique faisant appel à d'autres services numériques. Les impacts globaux seront donc plus difficiles à déterminer.

Action palliative envisageable : réaliser des ACV sur les services existants et d'améliorer la transparence des impacts environnementaux de ces services, pour arriver à avoir une base de données d'ICV de services homogènes.

Caractère programmatique

Les services numériques cherchent à être de plus en plus optimisés en termes de consommation de ressources de calcul, dans une logique de réduction des coûts. Cela implique un choix dynamique des serveurs effectuant les tâches de calcul ou de stockage en fonction de la charge des différents serveurs. Ceux-ci pouvant être répartis sur l'ensemble du globe.

Ce caractère dynamique limite la possibilité d'avoir une vision complète de l'utilisation de ressources numériques actuelles, et *a fortiori* prévisionnelle, et ainsi des impacts associés.

Action palliative envisageable : mettre en place des trackers permettant d'identifier les ressources utilisées par chaque service numérique et disposer de données statistiques.

Fin de vie des équipements électriques et électroniques

Malgré la mise en place de réglementations contraignantes, une grande partie des flux de DEEE (déchets d'équipements électriques et électroniques) a une fin de vie qui sort des filières conventionnelles. Il est difficile de comptabiliser ces impacts à l'aide d'une ACV par manque de données.

Avec la généralisation des objets connectés, la proportion et le volume de ces déchets sortant des filières classique va augmenter.

Action palliative envisageable : renfort de la législation pour mieux connaître et contrôler et réduire les flux de DEEE, en lien avec l'arrivée des objets connectés. Amélioration de la démontabilité des produits pour séparer les parties électronique du reste. Renfort de la sensibilisation du grand public et des entreprises et administrations.

Acculturation vs. greenwashing

Les impacts environnementaux des services numériques constituent une problématique qui s'est renforcée auprès du grand public au cours de ces dernières années. Si cela permet une meilleure prise en compte des impacts environnementaux de par le besoin des entreprises et administrations de répondre à ces attentes, cela entraîne également un risque de greenwashing.

En effet, en l'absence de méthode concertée et partagée, ou de réglementation contraignante, les possibilités de communications environnementales se concentrent essentiellement sur de la communication de type 2 (auto déclaration, ISO 14021). Celle-ci laisse une grande marge de manœuvre aux déclarants et entraîne un risque de greenwashing, ou de baisse de qualité des études.

Action palliative envisageable : création de méthodes communes et partagées, renfort de la législation.

Evolutions réglementaires

Les pistes d'évolutions réglementaires discutées actuellement (hormis celles déjà adoptées dans la loi 2020-05 dite loi AGEC) sont les propositions de la Convention Citoyenne pour le Climat, et les propositions de loi du Sénat. Elles comportent notamment des mesures pour rendre obligatoire l'écoconception des services, sites web et logiciels.

Action palliative envisageable : réaliser une veille réglementaire et alerter les pouvoirs publics lorsque nécessaire.

Multiplication des objets connectés

Le nombre et la variété des flux d'objets connectés, aux filières de fabrication très complexes et diverses (domotique, textile, hygiène, etc.) rend difficile la généralisation des études, du fait du besoin de modélisations très variées par des acteurs qui ne maîtrisent que la partie numérique, ou que la partie produit.

Action palliative envisageable : renfort des compétences des développeurs de solutions numérique sur les ACV et les impacts environnementaux dans leur globalité.

Intelligence artificielle, blockchain, cryptomonnaies

Ces sujets sont amenés à se développer. Cependant il n'y a pas de définition unique, il existe à l'heure actuelle de nombreuses technologies, protocoles et architectures différents, pour lesquels la prise en compte des impacts environnementaux présente de nouvelles contraintes et difficultés.

Action palliative envisageable : travailler en collaboration avec des acteurs des secteurs concernés

Sauts techniques

Les services numériques ont bénéficiés d'avancées technologiques et fonctionnelles importantes.

Ces évolutions modifient les données de collectes et d'ICV nécessaires. Au vu des secrets de fabrication qui entourent le développement de ces nouvelles technologies, la comptabilisation des impacts associés dans les ACV a un temps de latence par rapport à l'émergence de ces technologies. Il y a donc évaluation environnementale précise a posteriori, une fois que la technologie est diffusée et que les choix de conceptions, fonctionnels et marketing sont définis.

Action palliative envisageable : améliorer la transparence et la communication sur les impacts environnementaux des nouvelles technologies par les fabricants, au niveau AICV si nécessaire.

Formation des nouveaux ingénieurs à l'ACV et intégration des pratiques

L'acculturation des ingénieurs, développeurs et concepteurs de services numériques à la réalisation d'ACV est un axe qui est amené à se développer. En effet, les écoles d'ingénieurs et les universités comprennent de plus en plus des cours sur l'ACV et les impacts environnementaux. Si ces cours sont actuellement peu développés dans les écoles d'informatique, ce point est amené à se développer au vu de la prise de conscience des entreprises et du grand public sur le sujet.

Cela permettra de disposer d'acteurs sensibilisés sur la question et de faciliter le dialogue entre le secteur des services numérique et celui de l'ACV.

Action envisageable : proposer des formations dans les écoles informatiques, mener des partenariats sur des projets de recherche.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] Jens Malmodin and Dag Lundén ; The Energy and Carbon Footprint of the Global ICT and E&M Sectors 2010–2015 ; 2018
[2] Lotfi Belkhir, Ahmed Elmeligi ; Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & recommendations ; 2017
[3] Hanna Pihkola, Mikko Hongisto, Olli Apilo and Mika Lasanen ; Evaluating the Energy Consumption of Mobile Data Transfer—From Technology Development to Consumer Behaviour and Life Cycle Thinking ; 2018
[4] Johanna Pohl, Lorenz M. Hilty, Matthias Finkbeiner ; How LCA contributes to the environmental assessment of higher order effects of ICT application: A review of different approaches ; 2019
[5] Julie Orgelet, Etienne Lees-Perasso, Caroline Vateau et Frédéric Bordage ; Evaluation de l'impact environnemental des services numériques – Etat de l'art ; avniR ; 2019
[6] Alliance GreenIT
[7] Yannick Le Guern, Laura Farrant, Edith Martin, Bio Intelligence Service ; Analyse comparée des impacts environnementaux de la communication par voie électronique - clé USB ; 2011
[8] Yannick Le Guern, Laura Farrant, Edith Martin, Bio Intelligence Service ; Analyse comparée des impacts environnementaux de la communication par voie électronique - e-commerce ; 2011
[9] Yannick Le Guern, Laura Farrant, Edith Martin, Bio Intelligence Service ; Analyse comparée des impacts environnementaux de la communication par voie électronique - requête web ; 2011
[10] Yannick Le Guern, Laura Farrant, Edith Martin, Bio Intelligence Service ; Analyse comparée des impacts environnementaux de la communication par voie électronique - Volet courrier électronique ; 2011
[11] Nathaniel C Horner et al 2016 Environ. Res. Lett. 11 103001 ; Known unknowns: indirect energy effects of information and communication technology ; 2016
[12] JRC – European Commission ; General guide for Life Cycle Assessment – Provisions and action steps ; 2010 ; EUR 24378 EN – 2010
[13] ADEME – greenworking ; Etude sur la caractérisation des effets rebond induits par le télétravail ; 2020
[14] CLIMAT : L'INSOUTENABLE USAGE DE LA VIDÉO EN LIGNE - Un cas pratique pour la sobriété numérique ; The Shift Project - Maxime Efoui-Hess ; 2019
[15] "Integrative approaches to environmental life cycle assessment of consumer electronics and connected media" ; Paul Teehan ; 2014
[16] "Lessons learned – Review of LCAs for ICT products and services" ; Yevgeniya Arushanyan, Elisabeth Ekener-Petersen, Goran Finnveden ; 2014
[17] « Life Cycle Assessment of Connected and Automated Vehicles: Sensing and Computing Subsystem and Vehicle Level Effects » ; James H. Gawron, Gregory A. Keoleian, Robert De Kleine, Timothy J. Wallington, and Hyung Chul Kim ; 2018
[18] "Assessing Indirect Environmental Effects of Information and Communication Technology (ICT): A Systematic Literature Review" ; Jan C. T. Bieser and Lorenz M. Hilty ; 2018
[19] "An Integrated Method for Environmental Assessment and Ecodesign of ICT- based Optimization Services" ; Jeremy Bonvoisin, Alan Lelah, Fabrice Mathieux, Daniel Brissaud ; 2014