




autorité de régulation
des communications électroniques,
des postes et de la distribution de la presse



EVALUATION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES TIC : ANALYSE DES ECARTS METHODOLOGIQUES

Comité d'experts techniques sur la mesure

Avril 2023

A large, abstract graphic in the bottom right corner consisting of numerous overlapping, thin grey lines that form a complex, organic shape resembling a stylized flower or a cluster of fibers.

ISSN n°2258-3106

AVANT-PROPOS

Le Comité d'experts technique sur la mesure de l'impact environnemental du numérique a été créé conjointement par l'Arcep et l'ADEME en décembre 2020. Il vise à favoriser une compréhension mutuelle entre les acteurs des TIC et les acteurs de l'environnement. Composé d'experts techniques travaillant sur un horizon à long terme, le Comité peut fournir une recommandation/un aperçu technique indépendant permettant de partager des points de vue et de construire un consensus sur tout sujet/problème technique relatif à la mesure de l'impact environnemental des TIC.

Présidé par Catherine Mancini (*Leader Portfolio Management* chez Nokia) également présidente du Comité d'experts fibre optique et du Comité d'experts sur le mobile mis en place par l'Arcep, le Comité regroupe les experts issus des entités suivantes: Altice (SFR), Akamai, Amazon Web Service (AWS), Apple, APL, Bouygues Telecom, Cisco, DDemain, Eco-info (CNRS), Ericsson, GreenIT, Google, Huawei, Institut Mines Telecom, Institut Numérique Responsable (INR), Intel, Iliad (Free), LCIE Bureau Veritas, Microsoft, Meta, Netflix, Nokia, OVH Cloud, Orange, Qualcomm, Samsung et le Shift Project.

Secrétariat, pilotage et gestion des flux du Comité : Arcep (Ahmed Haddad), ADEME (Erwann Fangeat)

NOTE

Le contenu de ce rapport reflète la validation du Comité. Le Comité adresse ses remerciements aux experts invités suivants pour leur revue et contribution à la réalisation de ce rapport : Jens Malmodin, Gauthier Roussilhe.

Ce rapport est catégorisé au sein des axes de travail suivants du Comité d'experts :

- **METHODOLOGIES DE MESURE ET D'ÉVALUATION D'IMPACT**
- INDICATEURS CLEFS DE PERFORMANCE
- DONNÉES

EVALUATION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES TIC : ANALYSE DES ECARTS METHODOLOGIQUES

Résumé

L'Union Internationale des Télécommunications (UIT) a élaboré en 2018 une norme internationale qui définit les frontières du secteur des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) et son empreinte carbone (émissions du cycle de vie des biens, réseaux et services) connue sous le nom du standard UIT-T L.1450. En dépit de cet effort de standardisation, la multiplicité des études publiées sur l'évaluation de l'empreinte carbone du secteur des TIC met en évidence des écarts plus ou moins critiques aboutissant à des résultats d'évaluation différents. En effet, les sources de variabilité de ces estimations sont dues à l'utilisation de différentes sources de données, aux variations dans l'actualité des données utilisées et aux différentes approches sur le périmètre de l'analyse (périmètre des TIC). Du point de vue méthodologique, bien que les méthodologies promues par l'UIT (et ici spécifiquement le standard UIT-T L.1450) soient considérées comme bien ancrées au sein de la communauté des experts de l'UIT, elles ne sont pas suffisamment diffusées dans les études publiées.

Le Comité d'experts technique a lancé un flux de travail pour traiter de la question de l'évaluation de l'impact environnemental du secteur des TIC à travers le prisme de la méthodologie de la mesure (y compris le périmètre, les indicateurs, les normes de référence, etc.) tout en reconnaissant d'autres problématiques associées (en particulier celles liées à la disponibilité des données). Le flux de travail vise à identifier les lacunes méthodologiques entre les études d'évaluation de l'impact du secteur des TIC, à tester la mise en œuvre du standard L.1450 et à recommander si possible des pistes d'amélioration.

Le flux de travail a été conduit en trois étapes :

- Dans un premier temps, le Comité a établi une matrice d'analyse. La matrice synthétise les exigences/spécifications méthodologiques telles que promues par le standard L.1450 convenu par le Comité comme une référence pour l'analyse des écarts méthodologiques ;
- Ensuite, la matrice d'analyse a été appliquée sur un échantillon de trois études publiées traitant de l'évaluation de l'impact environnemental du secteur des TIC. Les études ont été sélectionnées pour couvrir un large éventail de points de vue et refléter différentes variantes (institut de recherche de l'industrie des TIC, groupe de réflexion environnementale et étude d'un cabinet conseil commanditée par une entité publique). Les auteurs des études sélectionnées sont affiliés à des entités membres du Comité : Ericsson pour l'étude de Malmodin et Lundèn (2018), Le Shift Project pour son étude sur l'impact environnemental des TIC (2021) et le consortium NegaOctet pour l'étude ARCEP/ADEME sur l'impact environnemental du numérique en France (2022) ;
- Enfin, sur la base de l'analyse des trois études sélectionnées et de leur alignement avec le standard L.1450, y compris, mais sans s'y limiter, les différences de périmètre décrites dans la deuxième étape, plusieurs domaines d'amélioration ont été identifiés pour le standard L.1450 et pour une standardisation future.

Les différentes lacunes méthodologiques relevées et les améliorations possibles portent sur :

- L'opérationnalisation du standard L.1450
- Modulation des spécifications du standard L.1450 par rapport au type d'évaluation de l'étude

- TIC & l'IoT, y compris l'IoT industriel
- TIC & Blockchain, crypto-monnaies et intelligence artificielle
- TIC & Satellites et systèmes aéroportés
- Catégories d'impact environnemental au-delà du changement climatique, l'intégration de la biodiversité et autres limites planétaires
- Biens de support, activités de déploiement et activités de support/maintenance
- Déploiement des bâtiments du centre de données
- Centre de données de télécommunication
- Développement de services TIC et les activités de support opérationnel associées
- Internet privé déployé à des fins spécifiques
- Les frontières entre les secteurs des TIC et de E&M (Media et divertissement)
- Analyse Entrée-Sortie Etendue à l'Environnement (ESEE)
- Calibrer l'évaluation de l'empreinte du secteur des TIC avec des estimations de l'empreinte des organisations TIC
- Recommandations à destination de l'utilisateur du jeu de données sur les critères pertinents pour supporter la sélection et la collecte de données d'impact et d'activité adaptées à l'estimation de l'empreinte du secteur des TIC
- Recommandations à destination d'un fournisseur du jeu de données sur les bonnes pratiques sur la création et la mise à jour de données d'impact et d'activité adaptées à l'estimation de l'empreinte du secteur des TIC

Le présent rapport restitue les détails de ce flux de travail à ses différentes étapes.

Tous les commentaires sur cette note sont bienvenus à l'adresse mail ComiteExpertsMesure@arcep.fr

Historique

Edition	Approbation	Titre
1.0	2023-03-06	Evaluation de l'impact environnemental des TIC : Analyse des écarts méthodologiques

Mots clefs

Evaluation environnementale par cycle de vie (ACV), Secteur des TIC, ITU-T L.1450, Analyse des écarts méthodologiques

Citation du rapport

Arcep/ADEME Comité d'experts techniques sur la mesure de l'impact environnemental du numérique (2023). *Evaluation de l'impact environnemental des TIC : Analyse des écarts méthodologiques*.

Table des matières

1.	Objectif et champ du document	7
1.1.	Objectif du flux du travail	7
1.2.	Champ du flux de travail	8
1.3.	Documents de référence	8
1.4.	Termes et définitions	9
2.	Une approche séquentielle pour le flux de travail	11
3.	Analyse des écarts méthodologiques	12
3.1.	Critères d'analyse (étape 1)	12
3.2.	Mise en application à travers trois études de référence	13
3.2.1.	Aperçu des études	13
3.2.2.	Analyse d'alignement des périmètres	14
4.	Identification des écarts méthodologiques et recommandations	20
4.1.	Considérations générales	20
4.1.1.	Faisabilité et applicabilité de la Recommandation	20
4.1.2.	Modulation des dispositions de la Recommandation en fonction du niveau d'évaluation de l'étude	20
4.2.	Considérations spécifiques	22
4.2.1.	TICs et l'Internet des Objets (IdO), y compris l'IdO industriel	22
4.2.3.	TIC, satellites et systèmes aéroportés	23
4.2.4.	Les catégories d'impact au-delà du Changement Climatique, telles que la biodiversité et autres limites planétaires	25
4.2.5.	Biens support, activités de déploiement et activités de support/maintenance	26
4.2.6.	Déploiement de bâtiments de centre de données	27
4.2.7.	Les centres de données de télécommunications	28
4.2.8.	Développement et support opérationnel des services TIC	29
4.2.9.	Internet privé pour des besoins spécifiques	30
4.2.10.	Estompement des frontières entre les secteurs TIC vs Divertissement et media (E&M)	30
4.2.11.	Nécessité de recommandations méthodologiques supplémentaires sur d'autres considérations	31
Annex A	Grille d'analyse pour l'étude d'alignement avec la Recommandation UIT L.1450	34
Annex B	Sommaire des écarts méthodologiques par rapport à la Recommandation L.1450	37
Appendice I	Details de l'analyse d'alignement pour les trois études de référence	38

Appendice II	Précisions supplémentaires sur les spécifications méthodologiques des niveaux d'évaluation proposés.....	39
II.1	Evaluation de niveau 1	39
II.2	Evaluation de niveau 2	40
II.3	Evaluation de niveau 3	41
Appendice III	Un exemple de catégorisation d'équipement IdO selon le secteur des TIC	47
Appendice IV	Considérations sur le périmètre d'évaluation des satellites de télécommunication	49

EVALUATION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES TIC : ANALYSE DES ECARTS METHODOLOGIQUES

1. Objectif et champ du document

1.1. Objectif du flux du travail

L'UIT a élaboré une norme internationale qui définit le périmètre du secteur des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) et son empreinte carbone (les émissions de gaz à effet de serre sur l'ensemble du cycle de vie des biens, réseaux et services) [UIT-T L.1450]. Malgré cela, la multiplicité d'études publiées sur l'évaluation de l'empreinte carbone du secteur des TIC met en évidence des écarts plus ou moins critiques conduisant à des résultats d'évaluations divergents. Certaines publications (par ex. [Freitag – 2020]) ont tenté de mettre en évidence ou à analyser les principales divergences entre une sélection d'études, évaluées par des pairs, qui estiment la part actuelle ou projetée des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) des TIC, et ce en identifiant les sources de variabilité de ces estimations dû à l'utilisation de différentes sources de données, les variations dans l'actualité des données et différentes approches quant au champ d'analyse (périmètre des TIC).

Le Comité a pour but d'aborder la question de l'empreinte environnemental du secteur des TIC à travers une interrogation de la méthodologie de mesure¹ dans un premier temps (y compris le périmètre, les indicateurs clés de performance, les normes de référence...) tout en reconnaissant d'autres questions connexes (en particulier celles concernant la disponibilité de données) qui pourront être abordées dans un deuxième temps.

En particulier, pour aborder la question méthodologique, il faut identifier, comprendre et éventuellement résoudre les écarts et les limites observés entre les différentes méthodologies d'analyse d'impact connues du Comité.

On peut classer ces limitations en 3 types, notamment :

- Désalignements entre les méthodologies ;
- Lacunes laissées par une méthodologie ;
- Des domaines faiblement spécifiés / des aspects flous d'une méthodologie qui peuvent laisser place à l'arbitraire ou à une personnalisation / interprétation personnelle.

Ces limitations peuvent à des degrés variables expliquer les écarts entre les résultats.

Du point de vue méthodologique, en ce qui concerne l'évaluation de l'impact environnemental du secteur des TIC, bien que les recommandations méthodologiques promues par l'UIT (principalement la Recommandation UIT-T L.1450) soient considérées comme bien ancrées dans la communauté des experts de l'UIT, elles ne sont pas suffisamment diffusées dans les études publiées.

¹ Dans ce document, le terme "méthodologie" fait référence à chacun des documents techniques publiés par les différentes organisations (ITU/ETSI, WRI/WBSCD, etc.) qui sont soit une norme, un rapport technique, une recommandation ou des directives destinées à assister les analystes dans leur évaluation de l'empreinte des TIC.

1.2. Champ du flux de travail

Le champ du flux de travail est défini en tenant compte des hypothèses suivantes :

- Se concentrer d'abord sur le secteur des TIC avant de s'étendre aux secteurs connexes (en particulier les loisirs et les médias) ;
- Se concentrer sur les effets directs (empreinte) avant de s'étendre par la suite aux effets induits / indirects des TIC ;
- Une analyse multicritère est préférable, une analyse monocritère basée sur l'impact des GES est également accepté comme un premier éclairage lorsqu'une analyse multicritère n'est pas possible ;
- Aborder les travaux au niveau mondial et envisager de restreindre la portée géographique de l'analyse au périmètre de la France. Dans le cas d'une évaluation au niveau national, le service considéré consiste en un service TIC utilisé par des utilisateurs français : il inclut l'impact de l'utilisation des TIC en France, même lorsqu'il est fourni par des actifs TIC situés à l'étranger, et exclut l'impact des actifs TIC en France destinés à servir un usage étranger. Cela est conforme à l'évaluation de niveau 2 à l'échelle des villes/communautés, telle que définie dans la Recommandation UIT L.1440;
- Traiter les impacts classés dans l'ensemble du cycle de vie (c'est-à-dire l'acquisition des matières premières, la production, la distribution / le transport, l'usage et le traitement en fin de vie) des biens TIC couvrant les trois catégories, y compris les terminaux / l'équipement, les réseaux et les Centres de Données (CD) ;
- L'analyse méthodologique portera d'abord sur un champ d'application de haut niveau, c'est-à-dire l'empreinte globale des technologies numériques, y compris les TIC (telles que définies par la Recommandation UIT L.1450), les divertissements et les médias et certaines technologies émergentes ; tout en suggérant qu'un raffinement possible puisse être envisagé pour les travaux futurs ;
- Mettre l'accent sur l'empreinte actuelle du secteur des TIC tel que défini par la Recommandation UIT L.1450 (aperçu de la situation actuelle) avant de s'étendre aux trajectoires futures (évaluation prospective).
- La définition du secteur des TIC suit celle de l'OCDE² qui fait référence aux biens TIC et repose sur le principe directeur suivant : « Les biens TIC doivent avoir pour objet le traitement ou la communication d'informations par voie électronique, y compris leur transmission et leur affichage ».

1.3. Documents de référence

- **[UIT L.1450]** UIT- L.1450 (2018) : Méthodologies d'évaluation de l'impact environnemental du secteur des technologies de l'information et de la communication.
<https://www.itu.int/rec/T-REC-L.1450>
- **[UIT L.1410]** UIT- L.1410 (2014) : Méthodologie applicable aux analyses environnementales du cycle de vie des biens, réseaux et services utilisant les technologies de l'information et de la communication.

² Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), « Information Economy Product Definitions Based on the Central Product Classification (version 2) », dans Documents de l'OCDE sur l'économie numérique, no 158, 2000.

http://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/information-economy-product-definitions-based-on-the-central-product-classification-version-2_22222056845

- <https://www.itu.int/rec/T-REC-L.1410>
- **[UIT L.1440]** UIT- L.1440 (2015) : Méthodologie pour évaluer l'impact environnemental des technologies de l'information et de la communication dans les villes.
<https://www.itu.int/rec/T-REC-L.1440>
 - **[UIT L.1470]** UIT- L.1470 (2020) : Trajectoires des émissions de gaz à effet de serre pour le secteur des technologies de l'information et de la communication compatibles avec l'Accord de Paris adopté par la CCNUCC.
<https://www.itu.int/rec/T-REC-L.1470>
 - **[Malmodin et Lundén – 2018]** Malmodin et Lundén, « The energy Carbon Footprint of the Global ICT and entertainment and media sectors 2010-2015 » (2018)
<https://www.mdpi.com/2071-1050/10/9/3027>
 - **[The Shift Project – 2021]** The Shift Project, « Note d'analyse – Impact environnemental du numérique : tendance à 5 ans et gouvernance de la 5G » (2021)
<https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2021/03/Note-danalyse-Numerique-et-5G-30-mars-2021.pdf>
 - **[ADEME/ARCEP – 2022]** LEES PERASSO Etienne, VATEAU Caroline, DOMON Firmin, ADEME, Arcep, BUREAU VERITAS, A. THEOBALD, « Évaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective – Évaluation environnementale des équipements et infrastructures numériques en France (Rapport 2/3) » (2022)
<https://librairie.ademe.fr/consommer-autrement/5226-evaluation-de-l-impact-environnemental-du-numerique-en-france-et-analyse-prospective.html>
 - **[EC DG Connect – 2013]** “L’empreinte des TIC : Essais pilotes sur les méthodes de consommation d’énergie et l’empreinte carbone du secteur des TIC » Rapport final. Une étude préparée pour la DG Communications Networks, Content & Technology de la Commission européenne (2013)
<https://data.europa.eu/doi/10.2759/94701>
 - **[EC DG Connect-JRC – 2011]** « Analyse des méthodologies existantes d’empreinte environnementale pour les produits et les organisations : recommandations, justification et alignement », livrable 1 de l’accord administratif entre la DG Environnement et le Centre commun de recherche n° N 070307/2009/552517, y compris l’amendement n° 1 de décembre 2010 (2011)
<https://ec.europa.eu/environment/eusssd/pdf/Deliverable.pdf>
 - **[Freitag – 2020]** C. Freitag, M. Berners-Lee, K. Widdicks, B. Knowles, G. Blair et A. Friday, « The climate impact of ICT: a review of estimates, trends and regulations », février 2021
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:231802073>
 - **[GHGP- Lignes directrices TIC – 2017]** ICT Sector Guidance built on the GHG Protocol Product Lifecycle Accounting and Reporting Standard, Carbon Trust, GeSI (2017)
<https://www.gesi.org/research/ict-sector-guidance-built-on-the-ghg-protocol-product-life-cycle-accounting-and-reporting-standard>

1.4. Termes et définitions

Ce document utilise la terminologie suivante :

- **Allocation [ou Partitionnement]** : Allocation des flux d’entrée ou de sortie d'un processus ou d'un système de produits entre le système de produits étudié et un ou plusieurs autres

systèmes de produits, ou entre différentes parties du système de produits étudié (définition fondée sur [ISO 14044 :2006]).

- **Émissions embarquées** : Toute émission autre que celle générée pendant la phase d'usage (définition fondée sur [GHGP- Lignes directrices TIC – 2017])
- **Entrées – Sorties étendues à l'environnement (ESEE)** : Modèles qui estiment les émissions de GES pour différents secteurs de produits, en allouant des émissions de GES à des groupements de produits en fonction des flux économiques (définition fondée sur [GHGP- Lignes directrices TIC – 2017])
- **Réseau entreprise** : Réseau interne d'une entreprise reliant les ordinateurs et les périphériques des différents services et groupes de travail entre eux et à l'internet sur (définition fondée sur [UIT L.1470])
NOTE : Le réseau d'entreprise désigne les intranets au sein des organisations, y compris les liens de connectivité privée reliant les sites distribués des organisations, les routeurs, les terminaux d'utilisateurs de travail / de bureau (ordinateurs portables, ordinateurs de bureau, tablettes, etc.), les petites cellules et les systèmes d'antennes distribuées installés dans l'empreinte géographique de l'organisation ou l'équipement de réseau LAN sans fil. Une organisation désigne une « société, société, firme, entreprise, autorité ou institution, ou une partie ou une combinaison de celles-ci, constituée ou non, publique ou privée, qui a ses propres fonctions et administrations. » (Définition basée sur [ISO 14064-1])
- **Analyse par cycle de vie (ACV) hybride** : une méthode qui combine l'approche des ACV entrées-sorties économiques et celle basée sur les processus. Il existe différents modèles hiérarchisant les données provenant soit des processus soit des données entrées-sorties (définition fondée sur [UIT L.1410])
- **Points chauds** : Processus ou activités à risques environnementaux élevés.
- **Données secondaires spécifiques aux TIC** : Données secondaires issues d'applications ou des processus spécifiques aux TIC (définition inspirée de [UIT L.1410])
- **Réseau TIC** : Un ensemble de nœuds et de liens qui fournissent des connexions physiques ou par voie hertzienne d'information et de communication entre deux ou plusieurs points définis (définition fondée sur [UIT L.1410])
- **Biens TIC pour utilisateur final** : Tout équipement pouvant être connecté à l'équipement des locaux d'abonné (CPE) et à un réseau (définition fondée sur [UIT L.1410])
- **Service TIC (application)** : Utilisation de biens et / ou de réseaux TIC pour apporter de la valeur à un ou plusieurs utilisateurs (définition fondée sur [UIT L.1410])
- **Étape du cycle de vie** : L'une des étapes consécutives et interdépendantes d'un système de produit (définition fondée sur [UIT L.1410]).
NOTE : Le protocole GES ([GHGP- Lignes directrices TIC – 2017]) définit cinq étapes d'un cycle de vie, dont : l'acquisition et le pré-traitement des matériaux, la fabrication, la distribution et le stockage des produits, l'utilisation et la fin de vie. En outre, le service TIC peut inclure une étape de mise en service ou de déploiement et construction de service, qui fait référence à la préparation du service TIC avant son activation. Il convient de noter que les étapes définies dans le Protocole GES diffèrent des normes ETSI ou de l'IUT ([UIT L.1410]), selon lesquelles les étapes d'un cycle de vie d'un système de produit TIC comprennent l'acquisition des matières premières du bien, la production (y compris la distribution du produit final et de son stockage), l'usage et un bon traitement en fin de vie. Le transport / déplacement est considéré comme un processus générique récurrent au cours de ces étapes du cycle de vie. Différentes classifications du cycle de vie pourraient être envisagées, à condition qu'elles soient définies de manière transparente.

- **Données primaires** : La valeur quantifiée d'une unité de processus ou d'une activité obtenue à partir d'une mesure directe ou d'un calcul basé sur des mesures directes effectuée à sa source initiale (définition fondée sur [ISO 14046 :2014])
- **Données indirectes** : Les données provenant d'une activité similaire qui sont utilisées comme substitut pour ladite activité. Les données indirectes peuvent être extrapolées, mises à l'échelle ou personnalisées pour représenter l'activité donnée (définition fondée sur [GHGP-Lignes directrices TIC – 2017]).

Doit, devrait et peut : Ce document emploie une terminologie précise et établit une distinction entre les exigences et les recommandations (entre les mots « doit », « devrait » et « peut »). La terminologie est basée sur les normes ISO/TS 14072 et ISO 14044/ISO 14040 respectivement. « Doit » est employé uniquement lorsque cette force d'obligation est également requise dans le document susmentionné, tandis que « devrait » est employé pour identifier les éléments recommandés qui peuvent être ignorés, avec une justification appropriée. Enfin, « peut » s'emploie pour tout autre élément ou alternative autorisée.

2. Une approche séquentielle pour le flux de travail

Le flux de travail s'effectue en trois étapes :

- **Étape 1** : Élaboration d'une grille d'analyse synthétisant les exigences / spécifications méthodologiques telles qu'elles sont promues par la Recommandation de l'UIT prise comme base de référence pour l'analyse de la couverture méthodologique/des écarts (cf. Section 3.1 et l'Annexe A) ;
- **Étape 2** : Application de la grille d'analyse d'alignement via un échantillon de trois études publiées (« études de référence ») traitant de l'évaluation de l'empreinte environnementale du secteur des TIC (cf. Section 3.2 et l'Appendice I) ;
- **Étape 3** : Mettre en évidence les principaux enseignements et formuler des recommandations pertinentes pour le développement de la méthodologie sur la base des résultats de l'analyse de l'Étape 2 (cf. Section 4).

L'approche du flux de travail est illustrée dans la figure ci-dessous :



Figure 1 – Illustration des étapes du flux de travail

3. Analyse des écarts méthodologiques

3.1. Critères d'analyse (étape 1)

Les écarts méthodologiques sont identifiés ou analysés en fonction d'un ensemble de considérations méthodologiques (critères) clés, dérivées d'une norme de référence commune qu'il convient de considérer comme une base de référence pour l'analyse. Sur la base des hypothèses de travail du flux (cf. Champ du flux de travail), le Comité a convenu que la Recommandation UIT-T L.1450 (ci-après dénommée « La Recommandation ») – en tant que la principale norme internationale pour l'évaluation de l'empreinte carbone du secteur des TIC – serait considérée comme la méthodologie de référence.

La Partie I de la Recommandation précise comment définir les émissions de GES du secteur des TIC d'une situation passée, actuelle ou future, en tenant compte du cycle de vie complet des biens et services des TIC. La Recommandation ne couvre que l'empreinte du secteur (c'est-à-dire les émissions de GES du secteur sur l'ensemble du cycle de vie).

Une grille d'analyse décrivant les spécifications de la méthodologie L.1450 est établie et approuvée par le Comité. La structure de la grille suit la procédure d'évaluation à cinq étapes décrite dans la Recommandation, y compris (i) La définition de l'objectif et du champ de l'évaluation, (ii) La collecte et l'analyse de données, (iii) Le calcul de l'empreinte du secteur des TIC, (iv) L'interprétation des résultats et (v) Le compte-rendu de l'évaluation. L'analyse est composée d'une partie à l'échelle de l'étude, complétée par une partie focalisée sur des catégories spécifiques de produits des TIC (dont : les biens d'utilisateur final des TIC, les biens de réseaux TIC pour réseaux et les centre de données).

Tous les éléments de la grille renvoient aux clauses appropriées et applicables de la norme L.1450 ou, le cas échéant, à la norme L.1410.

Voir le Tableau A.1 de l'Annexe A pour le modèle de la grille d'analyse.

3.2. Mise en application à travers trois études de référence

Trois études portant sur l'évaluation de l'empreinte environnementale du secteur des TIC sont « testées » par rapport à la grille d'analyse. Les études sont sélectionnées pour couvrir un large éventail de points de vue ou de sources (institut de recherche affilié à l'industrie des TIC, un groupe de réflexion sur l'environnement et une étude de conseil commandée par une entité publique). Les auteurs des études sélectionnées sont affiliés à des entités membres du Comité : Ericsson dans le cas de l'étude de Malmodin et Lundén (2018) [Malmodin et Lundén - 2018], The Shift Project pour son étude de 2021 sur l'impact environnemental des TIC [The Shift Project - 2021] et APL/LCIE pour l'étude ARCEP/ADEME (2022) [ADEME/ARCEP - 2022].

3.2.1. Aperçu des études

Étude n° 1 **[Malmodin et Lundén – 2018]** : “L'empreinte mondiale énergétique et carbone des secteurs des TIC et du divertissement et des médias, 2010-2015” de Malmodin et Lundén, Sustainability (2018)

Cette étude évaluée par des pairs présente des estimations de l'empreinte mondiale énergétique et carbone des secteurs des TIC et du divertissement et des médias, de 2010 à 2015, ainsi que des prévisions jusqu'en 2020. Elle s'appuie sur trois études mondiales précédentes (2007, 2011, et 2018) et une étude suédoise (2015) des mêmes auteurs. L'étude est basée sur un vaste ensemble de données primaires et secondaires pour la consommation d'énergie opérationnelle (stade d'utilisation) et les émissions de gaz à effet de serre du cycle de vie pour les sous-secteurs inclus, y compris des données sur l'énergie et l'empreinte carbone d'environ 100 des principaux fabricants, opérateurs et fournisseurs de services TIC et de divertissement et des médias mondiaux. L'ensemble de données comprend également des statistiques et des prévisions de vente pour les équipements, afin d'estimer les volumes de produits, en plus des études ACV publiées et des données primaires industrielles pour estimer l'impact carbone embarquée des produits. L'étude contient une analyse de haut niveau concernant son alignement sur la Recommandation UIT-T L.1450.

Étude n° 2 **[The Shift Project – 2021]** : « Impact environnemental du numérique : tendances à 5 ans et gouvernance de la 5G » réalisée par The Shift Project (2021)

L'objectif de cette étude était de renforcer le travail de quantification de l'empreinte environnementale globale du secteur numérique initié avec l'étude, « Lean ICT – Pour une sobriété numérique » en 2018 (The Shift Project). Cette nouvelle étude se propose de mettre à jour les scénarios prospectifs établis par le Shift en 2018. Elle estime l'empreinte du secteur des TIC de 2013 à la dernière année pour laquelle les données étaient disponibles au moment de publication (2019), et prévoit son développement futur jusqu'en 2025. D'une portée géographique mondiale, l'étude présente toutefois une analyse plus détaillée (périmètre européen ou français) lorsque les données primaires sont disponibles.

Étude n° 3 **[ADEME/ARCEP – 2022]** : « Évaluation de l'empreinte environnementale du numérique en France et analyse prospective » de Lees Perasso et al. (APL/LCIE) pour le compte de ARCEP/ADEME (2022)

Ce rapport s’inscrit dans une démarche d’analyse mais aussi de prospective quant à l’avenir du numérique. Cette étude croise l’ensemble du périmètre, depuis les installations réseaux vers les terminaux tout en considérant les impacts des réseaux, équipements numériques et datacenters. Spécifiquement, la tâche 2 consiste en une évaluation des impacts du numérique en France selon la méthodologie d’Analyse du Cycle de Vie (ACV). Celle-ci porte sur les 3 tiers du numérique : les terminaux utilisateurs, les réseaux et les centres de données, et calcul un panel de 12 indicateurs d’impacts, dont notamment le changement climatique, la consommation de ressources naturelles, ou encore les particules fines. Les résultats sont présentés à l’échelle France, par habitant, et sont détaillés suivant différents niveaux d’analyse afin de disposer d’une interprétation plus fine et d’une meilleure compréhension des enjeux environnementaux directs associés au numérique en France. Enfin sont présentés des cas de calcul des impacts du numérique de foyers et entreprises types.

3.2.2. Analyse d’alignement des périmètres

Chacune des trois études choisies est examinée et analysée en détail au regard des critères énoncés dans une matrice d’analyse (cf. Annexe A) concernant l’alignement sur la Recommandation. L’alignement sur chaque critère est nuancé en fonction du niveau de conformité avec les dispositions connexes décrites dans la Recommandation.

Conformément aux dispositions de la Recommandation :

- i. *Conformité totale* fait référence à la situation où une exigence a été strictement respectée et pour laquelle aucun écart n’a été identifié ;
- ii. *Partiellement conforme* fait référence à la situation où l’étude a respecté la majorité des dispositions requises rattachées au critère, mais pas toutes (en raison de lacunes dans les données, d’un manque de transparence dans les bases de données, etc.) ;
- iii. *La non-conformité* fait référence à une situation où l’étude n’a pas été en mesure de respecter les dispositions requises rattachées au critère.

Les résultats d’analyse d’alignement pour chaque étude de référence sont détaillés dans Appendice I.

Les étapes du cycle de vie des équipements couverts par les trois études de référence, ainsi les hypothèses appliquées sur le périmètre sont résumées dans Tableau 1 et le texte qui suit. En ce qui concerne les critères énumérés dans Annexe A, il s’agit d’un sous-ensemble de critères d’analyse liés principalement au périmètre de l’étude. Toutefois, d’autres critères qui pourraient expliquer la divergence de résultats entre les études, comme les hypothèses concernant la durée de vie, les facteurs d’émission, l’âge des données, la qualité des données et la modélisation de la consommation d’énergie, ne sont pas décrits ou analysés dans le présent chapitre.

NOTE : Les éléments de la liste ci-dessous ne disent rien sur l’importance des éléments individuels qui pourraient être des contributeurs majeurs ou mineurs au résultat global.

Tableau 1 – Récapitulatif des hypothèses de périmètre des trois études

Composant TIC	[Malmodin et Lundén - 2018]	[The Shift Project - 2021]	[ADEME/ARCEP - 2022]	Compris dans le périmètre des TIC d’après UIT- L. 1450
TERMINAL UTILISATEUR				
Smartphones	Oui	Oui	Oui	Oui
Téléphones portables	Oui	Oui	Oui	Oui
Téléphones fixes	Oui	Oui	Oui	Oui
Tablettes	Oui	Oui	Oui	Oui

Ordinateurs portables/de poche	Oui	Oui	Oui	Oui
Ordinateur de bureau	Oui	Oui	Oui	Oui
Écrans	Oui	Oui	Oui	Oui
Périphériques	Oui	Oui	Oui	Oui
Projecteurs	Oui ⁽¹⁾	Non	Oui	Non ⁽¹⁾
Appareils photo / caméras	Oui ⁽¹⁾	Oui	Non	Non ⁽²⁾
Lecteur médias / systèmes audios / enceintes traditionnelles domestiques	Oui ⁽¹⁾	Non	Non	Non ⁽¹⁾
Lecteurs portables	Oui ⁽¹⁾	Non	Non	Non ⁽¹⁾
Enceintes connectées	Oui	Oui	Oui	Oui
Montres connectées / fitness	Oui ⁽¹⁾	Oui	Oui	Oui
Casques / oreillettes	Oui ⁽¹⁾	Non	Non	Non ⁽¹⁾
Consoles de jeux	Oui ⁽¹⁾	Oui	Oui	Non ⁽¹⁾
Consoles arcade	Oui ⁽¹⁾	Oui	Non	Non ⁽¹⁾
RÉSEAUX				
Équipement de l'abonné (routeurs, modems)	Oui	Oui ⁽³⁾	Oui	Oui
Réseaux entreprise	Oui	Oui	Non	Oui ⁽⁴⁾
Équip. de l'abonné à puissance plus faible, plus bas débit pour l'loT	Oui	Non	Non	Oui
Téléphonie fixe RTC	Oui	Non	Non	Oui
Réseaux mobiles	Oui	Oui	Oui	Oui
Réseaux d'accès fixes	Oui	Oui	Oui	Oui
Activités d'opérateur de réseaux (bureaux, déplacement, maintenance des équipements, etc.)	Oui	Oui	Non	Oui
CENTRE DE DONNÉES (CD)				
Serveurs et commutateurs	Oui	Oui	Oui	Oui ⁽⁵⁾
Bâtiment	Oui, bâtiments dédiés	Non	Oui, bâtiments dédiés	Non spécifié
Refroidissement	Oui	Oui	Oui	Oui ⁽⁵⁾
Alimentation de secours	Oui	Oui	Oui	Oui ⁽⁵⁾
Activités d'opérateur de centre de données (bureaux, déplacement, maintenance des équipements, etc.)	Oui	Oui	Oui	Oui ⁽⁵⁾
Téléviseurs, périphériques de téléviseur et réseaux pour divertissements et médias				
Téléviseurs	Oui ⁽¹⁾	Oui	Oui	Non ⁽¹⁾
Radios	Oui ⁽¹⁾	Non	Non	Non ⁽¹⁾

Télévision par câble et réseaux de diffusion, y compris satellite, TNT, amplificateurs d'antennes téléviseur	En partie ^{(1) (10)}	Non	Non	Non ⁽⁶⁾
Antenne parabolique	Oui ⁽¹⁾	Non	Non	Non ⁽¹⁾
Médias écrites	Oui ⁽¹⁾	Non	Non	Non ⁽¹⁾
Imprimantes, photocopieurs et numériseur	Oui ⁽¹⁾	Non	Oui	Non ⁽¹⁾
Équipements des particuliers utilisés pour les loisirs et les médias, y compris les consoles de jeux, lecteurs DVD ; etc.	Oui ⁽¹⁾	Oui	Oui ⁽⁹⁾	Non ⁽¹⁾
Supports de stockage magnétiques ou optiques	Oui ⁽¹⁾	Non	Non	Non ⁽¹⁾
La production de contenus	Oui ⁽¹⁾	Non	Non	Non ⁽¹⁾
Concerts, festivals ou évènements	Oui ⁽¹⁾	Non	Non	Non ⁽¹⁾
Autres technologies numériques ou tendances				
Crypto-monnaies et blockchains	Non	Oui	Non	Non spécifié
IA/ML	Oui	Oui	Non	Oui ⁽⁸⁾
Internet des objets	Champ restreint ⁽¹¹⁾	Champ étendu ⁽¹²⁾	Champ étendu ⁽¹³⁾	Champ restreint ⁽⁷⁾
Satellites de télécommunications	Non	Non	Non	Oui
Internet privé, p. ex à des fins militaires	Partiellement	Non	Non	Non spécifié
Principales hypothèses				
Périmètre géographique	Mondial	Mondial	National (France)	Pays, groupe de pays ou mondial
Stade d'usage inclus	Oui	Oui	Oui	Oui
Y compris embarquées	Oui	Oui	Oui	Oui
Embarquées selon une analyse du cycle de vie	Terminaux utilisateurs, réseaux et centre de données inclus, mais à poids variables dans les estimations	Partiellement (Terminaux utilisateurs)	Partiellement (Terminaux utilisateurs, réseaux et CD)	Oui
Fin de vie incluse	Oui, fondée sur des scénarios	Non	Oui, fondée sur des scénarios	Oui
Vérification	Vérification via un processus d'évaluation, scientifique par des pairs, selon les règles de l'art	Vérification par examen interne	Revue critique par un tiers, selon les exigences ISO 14044	Vérification soit par un tiers, selon les exigences ISO 14064-3 ou par un processus d'évaluation par des pairs
Sensibilité	Non	Non	Oui	Oui

Incertitude	Sources identifiées	Sources identifiées	Sources identifiées	Oui ⁽¹⁴⁾
(1) Eléments appartenant au secteur du divertissement et des médias (E&M)				
(2) Les caméras et les appareils photo appartiennent au secteur du divertissement et des médias (E&M), tandis que les caméras de surveillance appartiennent au secteur du secteur des TIC (terminaux IdO/IoT)				
(3) Les Box TV sont affectés à la catégorie de terminaux utilisateurs				
(4) Les réseaux entreprise sont affectés à la catégorie Centre de Données (CD)				
(5) À l'exception des centres de données de télécommunications (ex. nœud de réseau principal) qui sont affectées à la catégorie Réseaux TIC.				
(6) Les services de télévision par câble fournis par l'opérateur devraient être affectés à la catégorie de biens de réseau TIC (secteur des TIC) si l'organisation de l'entreprise n'est pas structurée de manière à permettre leur séparation – si tel est le cas, ils devraient être considérés comme faisant partie du secteur du divertissement et des médias et non du secteur des TIC.				
(7) L'électronique grand public destiné principalement à des fins de communication. Dans un premier temps, pour catégoriser les données issues de terminaux IdO/IoT, selon la disponibilité des données, les catégories suivantes peuvent être incluses : affichage public, caméras de surveillance, terminaux de paiement, modules de communication des compteurs intelligents et la technologie portable.				
(8) Lorsqu'ils sont considérés des services de TIC, faisant partie de la catégorie Services TIC (étant donné que l'utilisation de des biens de réseau TIC, des biens de TIC pour utilisateur final, des centres de données par les services de TIC est affecté à ces catégories et non à la catégorie de Service TIC).				
(9) Les consoles de jeux sont prises en considération ; les lecteurs DVD sont exclus.				
(10) D'après J. Malmodin, les équipements dits "Amplificateurs d'antennes" qui amplifient le signal télévision d'une antenne de toit ou d'un box TV n'ont pas été pris en compte. Comme ils sont souvent montés près de l'antenne ou dans les greniers, ils restent peu visibles et faciles à ignorer. Et comme ils sont allumés en permanence, ces appareils ont une consommation d'énergie annuelle assez élevée. J. Malmodin indique qu'ils sont maintenant inclus dans toutes les nouvelles études.				
(11) Y compris, pour les TIC : Compteurs intelligents, technologie portable, terminaux de paiement, caméras de surveillance ; pour le divertissement et les médias : Casques et autres terminaux audio, écrans infospéctacle embarqués.				
(12) Y compris : caméras de surveillance IP, caméras de surveillance IP pour applications publiques / professionnelles, Serrures connectées pour systèmes de sécurité, chauffe-eaux connectés, signalisation intelligente, climatisation / chauffage connectés, thermostats intelligents, éclairage intelligent, lampe Wi-Fi connectée, lampe WAN à faible consommation connectée, cuisinière ou hotte connectées, systèmes audio intelligents (enceinte connectées), électroménager connecté (réfrigérateurs, congélateurs, appareils à cuisson, lave-linges, sèche-linges, lave-vaisselles, petits appareils électroménagers), compteurs intelligents, capteurs pour réseau résidentiel étendu à basse consommation (LPWAN), capteurs pour Wifi résidentiel, capteurs industriels pour réseau étendu à basse consommation, Capteurs santé pour réseau étendu à basse consommation (LPWAN), passerelles entreprise, passerelles de réseau étendu à basse consommation (LPWAN) au réseau Wifi, Système de commande pour bâtiment, stores et fenêtres.				
(13) Y compris : les modules de connexion embarqués dans un objet (ex. ampoule ou plaque de cuisson intelligente) ou dans un appareil électroménager (ex. réfrigérateur ou four). La liste est similaire à celle des terminaux IdO/IoT de l'étude [ADEME/ARCEP – 2022].				
(14) Les différentes sources d'incertitude doivent être identifiées, et leur impact doit être examiné qualitativement.				

Les principaux points à retenir de l'analyse de l'alignement sont résumés ci-dessous :

- **Respect de la Recommandation** : L'analyse d'alignement montre différents niveaux de conformité concernant certaines dispositions essentielles de la Recommandation (ex, les dispositions relatives au calcul des émissions embarquées). Les domaines de non-conformité sont principalement dus à des difficultés concernant l'accès aux données primaires, la collecte d'ensembles de données avec la bonne granularité, la disponibilité de données ACV de haute qualité au niveau du produit³ et les règles d'allocation.
- **Périmètre du secteur des TIC et de l'IdO/IoT** : L'analyse d'alignement montre les différentes approches adoptées par les études de référence au périmètre du secteur des TIC, en particulier en ce qui concerne l'IdO.

Contrairement à [The Shift Project – 2021] et [ADEME/ARCEP – 2022] qui adoptent une vision plus large de l'Internet des Objets, [Malmodin & Lundén – 2018] considère une approche plus

³ Les données considérées comme de haute qualité doivent répondre aux critères suivants : actualité, exactitude et accessibilité [UIT L.1450]

conservatrice⁴ recouvrant l'IdO/M2M pour laquelle les auteurs ont pu obtenir des données fiables. [Malmodin & Lundén – 2018] n'inclut pas d'autres terminaux IdO courants, tels que les objets connectés appartenant à d'autres secteurs – par exemple les terminaux embarqués dans des véhicules, des bâtiments ou les objets connectés utilisés à des fins militaires, médicales, de sécurité ou industrielles, bien que l'étude s'attende à ce qu'ils accroissent les émissions de GES à l'avenir. Selon Malmodin, ces terminaux ne représentent qu'une partie minimale de l'IdO/M2M. Ceci relève d'un « scénario prospectif de l'IdO/M2M » examiné dans l'étude.⁵ Le scénario appliqué comprend 1 milliard de nouveaux points d'accès TIC (ex. stations de base sans fil de petites cellules, 28 milliards de modules de communication TIC intégrés à des équipements et des terminaux non-TIC représentant la connectivité de l'équipement et des terminaux des autres secteurs, ainsi que 500 milliards de capteurs ou étiquettes modélisés sur la base de la technologie existante).

Plus précisément, [The Shift Project – 2021] souligne l'essor de l'IdO des objets communicants (la connectivité embarquée dans les machines, capteurs, actionneurs, étiquettes RFID...) qui constituent le fondement de l'industrie 4.0 et de la robotique dans un environnement de production. Dans l'étude [Malmodin et Lundén – 2018] seul le matériel électronique des terminaux l'IdO est inclus. Selon les auteurs, on peut également affirmer qu'un terminal IdO principalement destiné à des fins de communication devrait être affecté au secteur des TIC, tandis que celui pour lequel la connectivité est une caractéristique devrait être affecté en fonction de son utilisation principale (autre secteur).

- **Satellite de télécommunications** : Aucune des trois études n'incluent les satellites de télécommunication, en raison d'un manque de données disponibles ([The Shift Project – 2021] [ADEME/ARCEP – 2022]), tandis que [ADEME/ARCEP – 2022] l'aborde à travers une analyse de sensibilité afin de justifier son absence. La Recommandation L. 1450 classe les télécommunications par satellite dans les TIC (biens de réseau TIC) et les satellites de communication pour la radiodiffusion dans le cadre du divertissement et des médias. Avec la prolifération des constellations satellitaires et le rythme accéléré de leur renouvellement (un satellite géostationnaire peut avoir une vie de 15 à 20 ans, alors qu'un satellite en orbite terrestre basse se caractérise par son cycle de vie court (généralement 5 ans)), il n'est aujourd'hui guère raisonnable de ne pas inclure cet élément et le manque de données pour une modélisation fiable doit être abordé.
- **Catégories d'impact** : La plupart des études se concentre sur le changement climatique, mais ne traitent pas d'autres catégories d'impact environnemental (utilisation des ressources / matériaux, eau, toxicité etc.). Tandis que l'évaluation multicritère de l'impact sur l'environnement apporte une information précieuse pour empêcher un transfert de dommages environnementaux d'une catégorie à une autre, les différentes catégories environnementales n'ont pas toutes le même niveau de fiabilité (les méthodes d'analyse d'impact n'ont pas toutes le même niveau de consensus et les données ne sont pas systématiquement disponibles) compte tenu de l'influence des approches de normalisation et de pondération pour mettre en évidence certaines catégories d'impact au détriment des autres.
- **TIC vs. Divertissements et médias (E&M)** : [Malmodin et Lundén – 2018] établit une distinction claire entre le secteur des TIC et celui du divertissement et des médias dans leur évaluation, et le choix de délimitation de périmètre est bien aligné sur la Recommandation. [The Shift Project –

⁴ Selon un commentaire de J. Malmodin, leur liste d'articles IdO / M2M comprend: Pour les TIC: compteurs intelligents, technologie portable, terminaux de paiement, caméras de surveillance; pour divertissements et médias : écouteurs et autres appareils audio, écrans d'info-divertissement pour véhicules.

⁵ Selon un commentaire de J. Malmodin, leur liste d'articles IdO / M2M comprend: Pour les TIC: compteurs intelligents, technologie portable, terminaux de paiement, caméras de surveillance; pour divertissements et médias : écouteurs et autres appareils audio, écrans d'info-divertissement pour véhicules.

2021] et [ADEME/ARCEP – 2022] ont inclus certains Terminaux utilisateurs classés comme équipements de divertissements et médias, selon la Recommandation, tels que : les consoles de jeux, les téléviseurs, les imprimantes / numériseurs.

- **Centre de données (CD) :** Parmi les trois études de référence, seule l'étude [ADEME/ARCEP – 2022] prend explicitement en compte l'impact des bâtiments des centres de données : la construction et la maintenance des bâtiments qui abritent les centres de données, tout en supposant un agencement architectural générique appliqué à tous les types de CD considérés dans l'étude (cloud public / CD de colocation, CD privé, CHP, etc.). D'ailleurs, l'étude [Malmodin et Lundén – 2018] confirme que les émissions embarquées des bâtiments et des petits abris sont incluses dans le calcul des centres de données et des sites de réseaux. Selon les estimations [ADEME/ARCEP – 2022], l'impact du déploiement des installations des CD n'est pas la part la plus significative de l'impact total de CD (surtout lorsqu'on tient compte de l'impact des serveurs). Cependant, dans le périmètre des CD mais en excluant les serveurs, cette contribution n'est toujours pas négligeable (jusqu'à 25 % de l'empreinte totale des CD selon la catégorie d'impact considérée).
- **Services TIC :** Les Services TIC comprennent le développement et la mise à jour de logiciels, de TIC ou les consultants en informatique. Bien que les « Services TIC » soient mis en évidence en tant que catégorie distincte appartenant au périmètre du Secteur des TIC (cf. l'Annexe A de la Recommandation [UIT- L.1450]), aucune des trois études ne le signale comme un élément distinct identifiable, soulignant le niveau élevé d'incertitude lié à la prise en compte de cette catégorie. Les études [ADEME/ARCEP -2022] et [The Shift Project – 2021] n'ont pas pris en compte cette catégorie, faute de données, tandis que [Malmodin et Lundén – 2018] estime que cette catégorie inclut le développement logiciel, les services informatiques et la production de contenus de divertissements et médias. Cependant, ils considèrent que la précision de cette partie est considérablement inférieure à celle des autres parties en raison des difficultés liées à l'établissement du périmètre.
- **Réseaux privés / d'entreprise, incluant les réseaux TIC pour les organisations militaires :** Contrairement à [Malmodin et Lundén – 2018], les études [ADEME/ARCEP -2022] et [The Shift Project – 2021] ne prennent pas en compte les réseaux privés ou d'entreprise, en raison du manque de données. Toutefois, aucune des trois études n'inclut les infrastructures et réseaux de TIC utilisés par des organisations militaires, en raison du manque de données.
- **Biens de support, activités de déploiement et activités de support / maintenance :** On remarque un manque d'exactitude et d'exhaustivité dans la manière d'aborder les biens de support, les activités de déploiement d'infrastructures ou les activités de support / maintenance dans les trois études et à des degrés variables. En particulier, l'affectation des activités de support des opérateurs et des fournisseurs à des produits spécifiques est difficile, car les réseaux ne cessent d'évoluer tandis que les organisations travaillent sur de nombreuses mises à jour parallèles.
- **Crypto-monnaies :** Semblable à la Recommandation L.1450, l'étude [Malmodin et Lundén – 2018] n'inclut pas les crypto-monnaies, avec la justification que le minage de crypto-monnaies nécessite un matériel spécifique, et non pas des serveurs classiques. Une autre justification tient au fait que les estimations pour 2015 sont très faibles, tandis que leur impact est inclus s'ils exécutent leurs opérations sur un serveur TIC / du matériel PC standard. Selon [Freitag – 2020] cela est contesté par Belkhir qui considère que les ordinateurs et les servers utilisés pour le minage emploient des GPU / ERCP utilisés pour les jeux vidéo, et donc dans le périmètre des TIC. [The Shift Project – 2021] inclut l'impact des crypto-monnaies telles que les Bitcoin en tant que futur moteur de la consommation d'énergie des TIC et des émissions GES, raisonnant que cette activité repose sur de l'équipement informatique (notamment des serveurs).

4. Identification des écarts méthodologiques et recommandations

Sur la base de l'analyse des trois études sélectionnées et de leur alignement sur la méthodologie L.1450, y compris, mais sans s'y limiter, les divergences de périmètre décrites au Chapitre 3, plusieurs domaines d'amélioration ont été identifiés pour la Recommandation et pour la normalisation future.

Cette analyse est basée sur la discussion de périmètre au Chapitre 3 et sur l'analyse plus large des trois études.

4.1. Considérations générales

4.1.1. Faisabilité et applicabilité de la Recommandation

a) Description de l'écart :

Il peut être difficile d'estimer l'alignement de l'étude sur la Recommandation, comportant un risque de subjectivité de l'analyste. Pour obtenir une analyse de conformité robuste et fiable, il est possible de vérifier les différents éléments de l'étude : c'est-à-dire, les éléments généraux, les éléments spécifiques aux produits ou aux catégories (ex. les hypothèses, les données collectées, la méthode de calcul) par rapport aux dispositions de la Recommandation – tout en considérant le niveau d'exigence de chaque disposition : obligatoire, recommandé, facultatif.

b) Recommandation :

La grille d'analyse établie par le Comité d'experts (cf. l'Annexe A) pourrait être publiée sous forme de modèle, qui pourrait être complété par des exemples pour illustrer l'exercice. Il faciliterait ainsi la mise en œuvre de la Recommandation (en particulier par des non-experts) et aiderait à identifier facilement les points faibles et les moyens d'améliorer une étude, ainsi qu'accroître la transparence des rapports d'évaluation. Lorsqu'il s'agit de comparer l'alignement de deux ou plusieurs études sur la Recommandation, il est recommandé que la comparaison soit effectuée par le même analyste.

4.1.2. Modulation des dispositions de la Recommandation en fonction du niveau d'évaluation de l'étude

a) Description de l'écart :

Bien que les différentes études montrent des niveaux d'ambition différents, par exemple en ce qui concerne l'objectif (une évaluation préalable de haut niveau pour informer sur les points chauds vs évaluation granulaire détaillée) et du public cible (grand public ou experts), ainsi que les différentes contraintes (disponibilité des données primaires, capacité à investir dans des ressources suffisantes pour la collecte et l'évaluation des données, etc.), certaines dispositions de la Recommandation pourraient être assouplies ou modulées pour tenir compte du niveau d'ambition par rapport aux contraintes de l'étude.

b) Recommandation :

Reconnaissant qu'un alignement complet d'une évaluation du Secteur des TIC sur la Recommandation peut être très difficile, la Recommandation elle-même pourrait être modulée pour tenir compte du niveau d'ambition de l'étude par rapport à ses contraintes et à l'objectif de l'évaluation. Pour parvenir à un tel compromis, trois niveaux d'évaluation pourraient être identifiés à des fins d'estimation ou de contrôle :

- **Évaluation de niveau 1** : Une évaluation détaillée reposant sur des données primaires⁶, tandis que des données secondaires spécifiques aux TIC⁷ sont utilisées en dernier recours ou à des fins de calibrage/vérification. Les spécifications d'une évaluation de niveau 1 sont alignées sur la Recommandation et certaines dispositions spécifiques sont affinées.
- **Évaluation de niveau 2** : Une évaluation simplifiée qui repose sur une combinaison de données primaires et de données secondaires / indirectes spécifiques aux TIC⁸. Les données primaires devraient être privilégiées dans la mesure du possible, tout en utilisant les données secondaires pour combler les lacunes ou à des fins de calibrage.
- **Évaluation de niveau 3** : Évaluation préalable visant à tenir compte des sources d'émissions importantes et pertinentes et à fournir une estimation approximative. Le dépistage (« screening ») est une évaluation « rapide/vue d'ensemble » utilisant principalement des données secondaires/indirectes (données facilement accessibles) ; ce niveau d'évaluation peut regrouper des éléments similaires en utilisant l'élément de plus commun comme indicateur de référence pour se concentrer sur l'empreinte des points chauds.

NOTE : Il est important de privilégier l'utilisation des données les plus actualisées, étant donné la vitesse à laquelle les performances du secteur des TIC évoluent dans le temps.

En raison de son utilisation de moyenne et de son approche de haut niveau, l'évaluation de niveau 3 ne devrait pas être utilisée pour rendre compte de l'impact d'un élément spécifique à granularité fine, car une telle granularité peut nécessiter des allocations spécifiques :

- Exemple 1 : Rendre compte de l'empreinte des réseaux TIC ventilée en réseaux fixes vs réseaux mobiles vs réseaux Wifi ou par technologie sans fil (2G vs 3G vs 4G, etc.) ;
- Exemple 2 : Rendre compte de l'empreinte des TIC ventilée selon le type d'usage (professionnel vs personnel).

NOTE : En raison de son approche de « screening », l'évaluation de niveau 3 ne doit pas être utilisée pour contrôler l'évolution des émissions du secteur, ni pour définir une base de référence des émissions de GES du secteur des TIC lors de l'établissement d'un budget d'émissions de GES pour le secteur envisageant une trajectoire de 2 °C ou moins. La partie II de la Recommandation fournit des orientations pour définir une trajectoire du secteur des TIC compatible avec un scénario de 2 °C ou moins, sur la base du budget carbone mondial global et de différents scénarios d'émissions futures.

D'autres pistes de recommandations sur les spécifications de chaque type d'évaluation sont fournies en Appendice II.

L'analyste détermine le niveau d'évaluation le plus approprié pour chaque (sous-)catégorie du secteur des TIC en fonction du champ d'application, de l'objectif de l'évaluation, du niveau d'ambition de l'étude et des contraintes (coût et calendrier, ressources/personnel impliqués, etc.).

Les évaluations de niveau 3 et de niveau 2 peuvent être adoptées comme point de départ avant de passer à une analyse plus approfondie et engagée à l'aide de l'évaluation de niveau 1 ; dans ce cas, il

⁶ Valeur quantifiée d'un processus élémentaire ou d'une activité, issue d'une mesure directe ou d'un calcul fondé sur des mesures directes au niveau de la source originelle (ISO 14046 :2014, clause 3.6.1)

⁷ Les données secondaires sont des données issues de sources autres qu'une mesure directe ou un calcul fondé sur des mesures directes au niveau de la source originelle (ISO 14046 :2014, clause 3.6.1)

⁸ Les données indirectes sont des données issues d'une activité similaire qui sert de remplaçant de l'activité en question. Les données indirectes peuvent être extrapolées, mises à l'échelle ou adaptées pour représenter cette activité (GHG Protocol – Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard)

est recommandé de préparer un plan pour aller jusqu'au niveau 1. En outre, en fonction de la disponibilité des données, les études peuvent utiliser différents niveaux d'évaluation pour différentes sous-catégories du secteur des TIC.

Lors de la répétition de l'exercice d'évaluation (par exemple dans le cas d'une étude en plusieurs phases ou d'une étude récurrente), il est recommandé que l'analyste, à chaque occurrence de l'évaluation et considérant un niveau d'évaluation donné, vise à apprécier les progrès réalisés en termes d'alignement avec les dispositions de l'Appendice II et à privilégier, dans la mesure du possible, une escalade pour un niveau d'évaluation plus ambitieux.

4.2. Considérations spécifiques

4.2.1. TICs et l'Internet des Objets (IdO), y compris l'IdO industriel

À ce stade, l'IdO ne représenterait pas une part significative des émissions des TIC. En ce qui concerne les prévisions, et compte tenu de leur taux de croissance exponentiel, les dispositifs IdO devraient représenter une part importante de l'inventaire de connectivité et peuvent donc constituer un contributeur majeur à l'empreinte du secteur des TIC; mais cela nécessite une attention supplémentaire pour définir le périmètre, éviter le double compte des terminaux avec ceux appartenant à d'autres secteurs (par exemple, le secteur de l'électronique) et prendre en considération l'impact du profil matériel d'un terminal IdO (ex. un objet IdO à alimentation électrique vs à pile peut présenter une différence significative en termes d'évaluation d'impact, quels principes d'allocation lors de la détermination de la part pertinente de l'empreinte d'un terminal IdO, etc.).

NOTE : Appendice III donne un exemple d'une première approche examinant l'inclusion d'une liste de terminaux IdO/M2M susceptibles de communiquer par les réseaux sans fil.

En outre, avec la prolifération de terminaux ou d'objets IdO, les abonnements qui servent généralement de données primaires contextuelles, pourraient être moins corrélées aux utilisateurs ; par conséquent d'autres paramètres contextuels pourraient devenir plus prégnants ou plus pertinents. La connectivité des terminaux IdO peut ne pas dépendre d'un abonnement, mais serait plutôt fournie via des solutions de type IP ou bas débit qui ne fait pas nécessairement partie des statistiques, ce qui pourrait bien biaiser les estimations. Ceci doit être pris en considération lors de la définition de guide pour calculer les intensités d'abonnement.

Le Comité peut mener d'autres travaux pour affiner cette question et formuler des recommandations pour l'élaboration de méthodologies ou des recommandations concernant : le périmètre de l'IdO (y compris, par exemple, les véhicules aériens sans pilote (UAV)/drones) en relation avec les TIC et d'autres secteurs, le périmètre de l'évaluation des terminaux IdO et la complexité du concept d'abonnement en ce qui concerne l'IdO.

4.2.2. TIC et Blockchain, les crypto-monnaies et l'Intelligence Artificielle

Selon l'IEA⁹, le minage de crypto-monnaies semble avoir une consommation électrique non-négligeable (100-140TWh en 2021) par rapport à la consommation globale des centres de données (220-320TWh en 2021). L'analyse de l'IEA souligne que la consommation électrique du minage de crypto-monnaies a augmenté de +2300 %¹⁰ entre 2015 et 2021, largement supérieur à la

⁹ <https://www.iea.org/reports/données-centres-and-données-transmission-networks>

¹⁰ La croissance de 2015 à 2021 part d'un taux d'adaptation très faible, mais une croissance substantielle a été maintenue au cours des dernières années.

consommation électrique des centres de données (hors minage crypto). Il convient de noter la durée de vie inférieure du matériel utilisé pour le minage de crypto-monnaies (GPU et ASICs) ainsi que le manque de données industrielles.

Selon Malmodin, l'estimation de 2020 pour toute l'électricité supplémentaire non prise en compte dans les estimations TIC de l'étude est d'environ +75 TWh, principalement à partir de « machines minières » Bitcoin, mais aussi de l'utilisation supplémentaire de matériel TIC standard (par exemple, GPU). Selon Malmodin, il est important de considérer la crypto-monnaie comme un sous-secteur spécifique, plutôt que de l'intégrer, par exemple, aux centres de données et au secteur des TIC.

Selon The Shift Project, le minage de crypto-monnaies est l'un des moteurs de la croissance de la consommation énergétique des centres de données (420TWh en 2019, soit un taux de croissance annuel de 6 à 10 %) et constitue également un exemple marquant de la méconnaissance de l'intensité énergétique de la technologie numérique.

En ce qui concerne les tendances actuelles et la perspective croissante de l'utilisation de la crypto-extraction et de la blockchain, cela nécessite une attention supplémentaire pour définir le périmètre et éviter la perspective du double compte, cela inclut par exemple la compréhension des spécificités potentielles du matériel et de l'infrastructure utilisés pour mettre en œuvre et exécuter la technologie blockchain et le protocole de consensus utilisé par rapport à l'infrastructure / matériel TIC classiques. En plus des crypto-monnaies, les applications Blockchain incluent les NFT (actifs numériques).¹¹

Le même défi en termes de nécessité de définir la frontière est également exposé dans le cas de l'IA / ML, car les ressources informatiques de l'IA (« piles de matériel et de logiciels utilisés pour prendre en charge les charges de travail et les applications d'IA spécialisées de manière efficace¹² ») peuvent différer des ressources de calcul à usage général.

Il est nécessaire d'élaborer une norme spécifique sur les crypto-monnaies et l'IA/ML ou une version plus inclusive de la Recommandation traitant du secteur des TIC (comme le prévoit la version actuelle de la Recommandation) avec les technologies émergentes associées telles que la Blockchain et IA/ ML.

NOTE : Une part importante de l'empreinte de la crypto-monnaie au sein des centres de données est déjà comptabilisée via l'empreinte du centre de données.

4.2.3. TIC, satellites et systèmes aéroportés

a) Description de l'écart :

Selon Malmodin, les dernières décennies (1990-2020), le nombre de lancements a été inférieur à 100 et les émissions directes de GES d'un lancement sont de l'ordre de 1000 tonnes de CO₂e, et par conséquent inférieures à 0,1 MT CO₂e dans le monde. Même si toutes les émissions de CO₂e embarquées et les autres émissions et effets de GES sont inclus (p. ex. du site de lancement, de l'assemblage de satellites, etc.), le total serait probablement inférieur à 1 MT CO₂e. En outre, les satellites liés aux TIC représenteraient une part inférieure à 50% de l'ensemble ; qui plus est, les lancements de fusées impliquent également les astronautes et les fournitures destinées à la station spatiale. Néanmoins, l'arrivée prochaine de plusieurs méga-constellations de satellite en basse orbite terrestre, destinées à fournir une couverture mondiale, donne à ce sujet une toute nouvelle

¹¹ Spécification technique UIT-T, FG-AI4EE D.WG2-05, « Lignes directrices sur les systèmes blockchain économes en énergie », 03/2021

¹² OCDE (2022), « Mesurer les impacts environnementaux du calcul et des applications de l'intelligence artificielle : l'empreinte de l'IA », *Documents de travail de l'OCDE sur l'économie numérique*, n° 341, Éditions OCDE, Paris, <https://doi.org/10.1787/7babf571-en>

importance car des milliers de nouveaux satellites seront nécessaires et les lancements augmenteront en conséquence.

b) Recommandation :

Le Supplément 26¹³ à la Recommandation UIT L.1410 prévoit une étude de cas sur l'évaluation des émissions de GES d'un système hybride de satellites haut débit au cours de son cycle de vie. Publiée en 2016, l'étude de cas du Supplément considère qu'un satellite géostationnaire fournit des services de TIC. L'UIT pourrait affiner encore ce domaine de recherche en se penchant sur le cas des constellations de satellites en orbite basse terrestre (qui ont une durée de vie plus courte que les autres satellites GEO) et mettre au point des méthodologies spécifiques dans ce domaine qui devraient gagner en importance. Cela permettrait de tirer parti des recommandations existantes telles que l'ensemble de lignes directrices pour l'analyse du cycle de vie des systèmes spatiaux publié en 2016 et l'ensemble de données ACV spécifiques au secteur spatial compilés dans la base de données de l'ESA¹⁴. Lors de la quantification de l'impact du satellite du point de vue de l'empreinte du secteur des TIC, l'évaluation porte également sur tous les différents segments et activités de la mission spatiale associés à l'ensemble du cycle de vie du satellite, notamment :¹⁵

- Le segment de lancement, intégrant la production de matériaux et de propergols, l'assemblage, l'évènement de lancement et la fin de vie du lanceur (avec des raffinements méthodologiques comme la modélisation des lanceurs non-récupérables vs lanceurs récupérables compte tenu du taux de lancement, de l'utilisation de micro-lanceurs, etc.).
- Le segment spatial, intégrant la production de matériaux et de propergols, l'assemblage, l'exploitation du satellite, et l'élimination du satellite (y compris un scénario de gestion de débris spatiaux)
- Le segment terrestre ou les activités de support, y compris les infrastructures, les installations et les activités de support du système terrestre.

La prise en compte de ces calculs dans des métriques implémentables (exprimés par une unité fonctionnelle appropriée, comme "Kg en orbite") – en distinguant les satellites en orbite basse des satellites géostationnaires – pourrait être un intrant utile pour l'évaluation.

NOTE : L'ACV spatiale suscite un intérêt croissant dans la communauté de recherche sur l'ACV. Les systèmes spatiaux comportent une forte particularité qui rend l'utilisation de l'ACV plus difficile : les missions spatiales sont la seule activité humaine qui traverse tous les stades de l'atmosphère et reste « hors » de l'environnement naturel et des écosystèmes. La méthodologie ACV a été développée pour quantifier les impacts environnementaux sur l'écosphère terrestre. Outre les lacunes actuelles, notamment l'épuisement des ressources et l'absence d'approches circulaires et de récupération des matériaux, il y a aussi la question des débris spatiaux (et de l'impact en termes de pollution lumineuse) et la caractérisation de la façon dont le dommage environnemental se déplace entre la Terre et l'environnement orbital, dans le cadre de de l'ACV. Toutes ces lacunes doivent être comblées pour couvrir tout le périmètre des activités spatiales¹⁶.

De même, pour les satellites de télécommunication, l'impact des systèmes de télécommunication aéroportés appelés également systèmes de plates-formes à haute altitude (HAPS) ou les Centres de Données spatioportés, devrait être abordé, bien que ces solutions ne soient pas actuellement largement utilisées.

Des lignes directrices méthodologiques seraient nécessaires pour évaluer l'impact des télécommunications par satellite/systèmes de télécommunication aéroportés dans le cas d'évaluations à l'échelle d'un pays ou d'un groupe de pays. D'autres considérations supplémentaires

¹³ <https://www.itu.int/ITU-T/recommandations/rec.aspx?id=12894&lang=en>

¹⁴ <https://blogs.esa.int/cleanspace/2020/11/19/environmental-lca-donneesbase/>

¹⁵ <https://blogs.esa.int/cleanspace/2020/11/19/environmental-lca-database/>

¹⁶ L. Miraux, « Environmental limits to the space sector's growth » Science of The Total Environment, vol. 806, 2022. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969721059404>

concernant le périmètre d'évaluation pour les satellites de télécommunication sont présentées à l'Appendice IV.

4.2.4. Les catégories d'impact au-delà du Changement Climatique, telles que la biodiversité et autres limites planétaires

a) Description de l'écart :

La Recommandation L.1450 ne fournit aucune spécification pour évaluer d'autres catégories d'impact au niveau du secteur, bien que la Recommandation UIT-T L.1410 ne soit pas spécifique au Changement Climatique. Compte tenu de la nécessité d'une évaluation multicritère et des défis associées (disponibilité des données, seuil de confiance des méthodes ACV, choix de des facteurs de normalisation et de pondération qui sont des facteurs facultatifs selon l'ISO, mais fondés sur des choix de valeurs), la Recommandation pourrait être améliorée en fournissant des lignes directrices méthodologiques pour une évaluation plus complète de l'impact environnemental, intégrant les catégories d'impact intermédiaires recommandées par l'ILCD.¹⁷

b) Recommandation :

En particulier, les voies d'amélioration méthodologique comprennent :

- Fournir des lignes directrices méthodologiques pour évaluer un ensemble de catégories d'impact privilégiées et pertinentes pour le secteur des TIC au-delà du changement climatique, notamment : l'épuisement des ressources naturelles (fossiles, minérales et métalliques), les catégories d'impact considérées comme pertinentes pour le cas du secteur des EEE¹⁸ ou d'autres catégories pertinentes identifiées dans les études d'évaluation multicritère de l'empreinte des TIC¹⁹ y compris les catégories qui peuvent être pertinentes en raison d'autres activités incluses dans le champ de l'évaluation (par exemple, l'appauvrissement de la couche d'ozone dans le cas des activités de lancement de fusées)
- Fournir des lignes directrices méthodologiques pour évaluer des catégories spécifiques supplémentaires qui peuvent être pertinentes pour saisir les spécificités du pays (par exemple, le mix énergétique du pays) en cas d'évaluation au niveau régional. En outre, les indicateurs de flux suivants devraient être évalués et fournis en complément : matières premières (indicateur MIPS), consommation d'énergie primaire et production de déchets. D'autres indicateurs de flux pourraient être envisagés pour attirer l'attention sur des questions spécifiques et fournir ainsi des informations complémentaires pour des actions d'amélioration plus concrètes et opérationnelles. Ces indicateurs de flux peuvent inclure : la consommation brute d'eau, des indicateurs sur mesure pour les débris spatiaux (tels que la masse rentrant dans l'atmosphère, la masse éliminée dans l'océan, la masse laissée dans l'espace).

¹⁷ <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-LCIA-Background-analysis-online-12March2010.pdf>

¹⁸ Par exemple, en appliquant les facteurs de normalisation et de pondération recommandés par le guide EEP (EEP 3.0), les sous-systèmes d'équipement informatique / de stockage des EEP, publiés en 2020, identifient le changement climatique, l'utilisation des ressources fossiles, l'utilisation des ressources minérales et métalliques et les particules comme les catégories d'impact les plus pertinentes pour le groupe de produits équipements informatiques/systèmes de stockage.

NOTE : Comme cette version du document PEF CR a expiré depuis le 31/12/2021, elle n'est citée qu'à titre informatif.

https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR_ITequipment_Feb2020_2.pdf

¹⁹ Sur la base des facteurs de normalisation et de pondération recommandés par le Guide PEF (PEF 3.0), l'étude [ADEME/ARCEP – 2020] a identifié les rayonnements ionisants, l'utilisation des ressources fossiles, l'utilisation des ressources minérales et métalliques, le changement climatique et les particules comme les catégories d'impact pertinentes pour une évaluation de l'empreinte des technologies numériques en France.

Le thème de la biodiversité suscite un intérêt croissant dans la communauté du développement durable des TIC ; toutefois, peu d'orientations méthodologiques sont disponibles sur la manière d'intégrer la diversité biologique dans l'évaluation de l'impact au niveau sectoriel des TIC, en raison de la tâche difficile d'évaluer l'altération de la diversité biologique et des difficultés à procéder aux allocations. Les travaux en cours au sein de l'UIT visent à aborder la biodiversité au niveau organisationnel (c'est-à-dire l'empreinte en termes de biodiversité d'une organisation des TIC) à travers le prisme des trois champs (scope 1, scope 2 et scope 3). D'autres initiatives telles que SBTN²⁰ et la TNFD²¹ visent à aider les organisations / villes à calculer leur empreinte biodiversité et à fixer des objectifs associés.

Une solution consisterait à étendre ces travaux, une fois arrivés à maturité, au niveau sectoriel (par exemple en consolidant / agrégeant la diversité biologique individuelle des organisations de TIC).

Un autre sujet d'intérêt concerne l'intégration du concept des limites planétaires dans l'évaluation de l'impact environnemental du secteur des TIC. Le défi soulevé ici est de savoir comment traduire les variables de contrôle, qui étaient auparavant réalisées à l'échelle mondiale, en une approche sectorielle. Le cas peut même être plus difficile si l'évaluation est effectuée à une échelle géographique plus étroite (pays, groupe de pays, etc.). Bien que ce sujet en soit encore au stade de la recherche, les approches possibles pour intégrer les limites planétaires pourraient consister à envisager l'application de ce concept dans le cadre de l'évaluation de l'impact des organisations de TIC, puis à procéder à l'agrégation pour obtenir une estimation au niveau sectoriel (approche organisationnelle), cette approche est considérée comme une manière appropriée et plus conforme aux initiatives actuelles (SBTN, TNFD); une autre approche consisterait à considérer le concept des limites planétaires dans le contexte de l'ACV des TIC (c'est-à-dire via la perspective des produits du secteur des TIC, c'est-à-dire les biens, les réseaux et les services²²).

Il convient également de noter que la biodiversité est prise en compte dans le cadre des frontières planétaires par le biais du processus du système terrestre d'intégrité de la biosphère (y compris la diversité génétique et la diversité fonctionnelle). Dans l'ensemble, l'extension des catégories d'impact pour l'évaluation sectorielle est considérée comme importante mais difficile en raison des contraintes de données (peu d'études disponibles) et de l'absence de consensus autour de la façon de recalculer les données de l'inventaire du cycle de vie pour les associer aux impacts à l'étape de l'évaluation de l'impact sur le cycle de vie.

4.2.5. Biens support, activités de déploiement et activités de support/maintenance

a) Description de l'écart :

Selon la Recommandation, le déploiement et la maintenance de l'infrastructure de réseau sont classés dans les « activités de support », c'est-à-dire les actifs / activités / processus suivants :

²⁰ Le « Science Based Targets Network » cible l'eau douce, les terres, les océans et la biodiversité <https://sciencebasedtargetsnetwork.org/>

²¹ Groupe de travail sur le cadre de divulgation financière relative à la nature (TNFD) : <https://tnfd.global/>

²² Bergmark, P., Zachrisson, G., (2022) "Vers la prise en compte des frontières planétaires dans les analyses du cycle de vie des TIC". Conférence internationale sur les TIC au service de la durabilité (ICT4S), 2022, p. 128-139 <https://doi.org/10.1109/ICT4S55073.2022.00024>

Erlandsson, Bergmark et Höjer (2022) "Établir le cadre des frontières planétaires dans les rapports sur le développement durable des entreprises du secteur des TIC – Une proposition d'indicateurs indirects" <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479722026056?via%3Dihub>

- (i) Les biens installés sur le site ou dans les installations du réseau et l'alimentation électrique hors réseau alimentant les réseaux TIC et à des fins de refroidissement ;
- (ii) Activités de support, y compris les activités de déploiement (telles que : creusement de tranchées et creusement pour le déploiement du réseau, renforcement des infrastructures, etc.) et les activités de support pour la maintenance et la supervision (reprise après défaillance, renouvellement des actifs, etc.).

La version actuelle de la Recommandation ne dispose pas de spécifications permettant une meilleure caractérisation de ces éléments.

b) Recommandation :

Les options possibles basées sur la modélisation selon une approche ascendante pour combler ces lacunes peuvent inclure :

- (i) Biens installés sur des sites/installations à des fins de refroidissement ou d'alimentation électrique : La consommation d'énergie de ces biens pourrait être calculée en tenant compte des hypothèses relatives l'indicateur d'efficacité énergétique d'un site / d'une installation (installation de centre de données, site du réseau).
- (ii) Activités de support, notamment :
 - Activités de déploiement : La possibilité de réutiliser des données secondaires basées sur des études d'ACV lorsque les unités fonctionnelles pertinentes expriment l'impact en termes unitaires étalés sur toute la durée de vie de l'actif (par exemple, impact de la construction de fibres par km et par an, impact de la construction par antenne et par an) est plus pertinente car ces données peuvent difficilement évoluer dans le temps (les processus de construction et de creusement de tranchées sont moins susceptibles de varier sur une période significative). Un raffinement supplémentaire pourrait être envisagé pour une plus grande précision, par exemple en modulant l'unité fonctionnelle susmentionnée avec le géotype (par exemple, espace vert dans les zones rurales, surfaces asphaltées dans les zones urbaines), le type de déploiement de la fibre (par exemple, aérien vs enfoui), la méthode de construction du réseau de fibres (par exemple, excavation classique, micro-tranchées, tranchées étroites...).
 - Activités de support pour la maintenance et la supervision : rapports statistiques tirant parti des indicateurs de performance clés pertinents (tels que le temps moyen avant défaillance (MTTF), le temps moyen entre défaillances (MTBF), le nombre d'interventions par site) pour l'installation / l'infrastructure TIC, associés à des hypothèses sur un parcours de maintenance typique.

Une autre option fondée sur les rapports d'opérateur selon une approche descendante limiterait les biais de modélisation de l'approche ascendante en reflétant le rendement réel, mais on peut reconnaître les défis liés à la réalisation d'allocations robustes si l'analyste a l'intention d'isoler ces éléments.

4.2.6. Déploiement de bâtiments de centre de données

a) Description de l'écart :

La Recommandation précise les règles d'inclusion des installations de CD (bâtiment et conteneur), y compris la construction et l'entretien d'installations de CD, ou si elles sont considérées comme faisant partie du secteur de la construction/ du bâtiment. Dans certains cas, un centre de données peut être logé dans un bâtiment commercial.

Selon la structure du bâtiment, les installations de centre de données peuvent durer entre 5 (pour le conteneur) et 20 ans (pour le bâtiment).

b) Recommandation :

Les activités incluses dans la construction et l'entretien des bâtiments peuvent être précisées dans la Recommandation pour inclure la réhabilitation et la restauration des bâtiments.

Lorsque le centre de données est déployé de manière modulaire (c.-à-d. à l'intérieur de conteneurs), l'impact du conteneur doit être inclus dans l'évaluation, car un conteneur serait considéré comme un site. La même situation s'applique pour un conteneur utilisé pour les réseaux.

Pour le bâtiment, il n'est pas souvent habituel d'inclure le bâtiment dans l'ACV des produits TIC,²³ cependant, pour une évaluation au niveau sectoriel, il doit être inclus lorsque le bâtiment est spécifique aux TIC (par exemple, les bâtiments à centre de données, les usines de plaquettes ou les fab d'écrans sont attribuables au secteur des TIC). Dans le cas où le bâtiment n'est pas spécifique aux TIC (par exemple, bureaux, magasins), l'inclusion est facultative et, si elle est incluse, une allocation doit être effectuée en tenant compte de la durée de vie et de la proportion du bâtiment utilisé. Bien que l'on ne s'attende pas actuellement à ce que ceux-ci modifient de manière significative l'empreinte au niveau sectoriel, le développement éventuel de bâtiments au sein desquels un mini-CD coexiste avec d'autres activités non-TIC (bureaux, services tertiaires, résidentiels, etc.) pour soutenir le déploiement de l'*Edge Computing* mériterait une attention accrue en ce qui concerne l'allocation.

Un principe général peut être que si un bâtiment ne peut pas être facilement et rapidement réutilisé à d'autres fins, il doit être considéré comme un bâtiment spécifique.

4.2.7. Les centres de données de télécommunications

a) Description de l'écart :

La Recommandation précise que le CD de télécommunication d'un opérateur de réseau TIC doit être attribué au réseau TIC, tandis que les autres CD d'un opérateur de réseau TIC doivent être attribués aux centres de données (cf. Annexe A de [UIT L.1450]).

b) Recommandation :

Le centre de données de télécommunication fait référence à un centre de données hébergeant des équipements de réseau TIC (nœuds de réseau central de télécommunication, nœuds de réseau central de transmission de données métropolitain/périphérie/IP). Les autres centres de données d'un opérateur de réseau désignent généralement les centres de données qui hébergent des systèmes de support commercial et opérationnel (BSS/OSS) et d'autres systèmes informatiques de support d'un opérateur.

Avec la virtualisation et la *cloudification* croissantes des fonctions réseau, de plus en plus d'équipements réseau sont transférés vers des machines virtuelles et doivent être exécutés dans les mêmes centres de données où la charge de travail informatique « cloud » régulière est exécutée. Avec la *cloudification* des fonctions réseau, l'affectation de ces fonctions réseau entre les réseaux et les centres de données doit faire l'objet d'un examen plus approfondi et des recommandations. En raison

²³ Les bâtiments traités comme des biens d'équipement et donc considérés comme des processus non imputables, conformément au Protocole GES – Guide TIC (Chapitre 1, Introduction et principes généraux) [GHGP- Lignes directrices TIC – 2017]

de la difficulté de faire la distinction entre les charges de travail informatiques (régulières) et celles liées au réseau lorsqu'elles sont prises en charge par la même plate-forme cloud, une affectation à la catégorie Centre de Données peut être un moyen facile d'aller de l'avant car d'autres principes d'affectation peuvent être trop complexes à mettre en œuvre.

4.2.8. Développement et support opérationnel des services TIC

a) Description de l'écart :

Le service TIC comprend : le développement et la mise à jour de logiciels, les activités des consultants IT/TIC. L'utilisation des services TIC, en termes de consommation d'énergie des biens TIC/réseaux/CD, est déjà incluse dans l'empreinte de la phase d'utilisation de ces biens/réseaux/CD. En incluant les activités de support des opérateurs de réseaux et de centres de données, leurs services sont également couverts. Le défi réside dans la comptabilisation de la partie restante de l'empreinte due à d'autres fournisseurs de services que les opérateurs (par exemple, les fournisseurs de services en ligne), ce qui est lié aux impacts embarqués et opérationnels associés aux bureaux, aux magasins, aux transports et aux déplacements effectués par le développeur des services ainsi que le support à l'exploitation et la maintenance. Il est considéré comme difficile d'estimer ce chiffre car il n'existe pas de statistiques mondiales fiables sur le nombre de personnes employées dans le sous-secteur des Services TIC.

b) Recommandation :

La Recommandation reconnaît que les incertitudes liées aux données peuvent être plus importantes pour cette partie de l'empreinte. Pour cette raison, il peut être pratique de présenter les résultats avec et sans Services TIC inclus.

L'utilisation de Services TIC est déjà comptabilisée dans l'empreinte des biens, réseaux et centres de données TIC et doit donc être déclarée en conséquence et non pas dans la catégorie de services TIC afin d'éviter un double compte.

Les rapports sur les services TIC ne comprennent donc que la part imputable à l'utilisation des bureaux, aux transports, aux voyages des développeurs / consultants en services TIC (dans les limites géographiques évaluées de l'étude) et à l'élaboration de programmes et de logiciels TIC (phase dite « Déploiement ») pour les services qui ne sont pas déjà pris en compte dans les catégories des réseaux et des centres de données.

Pour les principaux fournisseurs de services, l'approche suivante peut être appliquée : dans le cas des émissions de GES, par exemple, le développement de services TIC et le soutien à l'exploitation peuvent être dérivés de la déclaration des GES de toutes les entreprises de TIC englobant les champs des émissions 1, 2 et certaines catégories d'émissions de GES du champ d'émission 3 (y compris au moins les catégories de voyages d'affaires et de déplacements domicile-travail des employés). Cette méthode de calcul suppose deux approximations :

- Toutes les organisations du secteur des TIC sont traitées de manière équivalente, quel que soit leur positionnement sectoriel (c'est-à-dire qu'une organisation opérant à 100 % dans le secteur des TIC est traitée de la même manière qu'une organisation intersectorielle des TIC dont les activités, par exemple, couvrent les TIC et le divertissement et les médias).
- Elle comprend tous les employés de l'organisation TIC.

Tout en reconnaissant qu'il peut y avoir des différences entre les organisations TIC, l'approche proposée fournirait une estimation raisonnable (sans qu'il soit nécessaire de procéder à une allocation

complexe) de la sous-catégorie du développement des services informatiques et de l'appui opérationnel aux TIC lors de l'évaluation au niveau mondial.

Pour une évaluation au niveau régional (c'est-à-dire pour un pays ou un groupe de pays), on peut déduire des calculs ci-dessus les émissions de GES par employé et les combiner avec le nombre d'employés impliqués dans la fourniture de services TIC dans les limites géographiques de l'étude. Cependant, une telle approche peut ne pas tenir compte de paramètres susceptibles d'avoir un impact, notamment : le niveau de contractualisation, la localisation du client type servi par l'organisation TIC et la localisation du service fourni (par exemple, pour une évaluation en France, comment considérer le service exécuté en France mais pour lequel la phase dite de « Déploiement » est entreprise à l'étranger).

Pour d'autres parties des services TIC, le nombre d'employés dans le secteur des TIC pourrait être estimé, en excluant les activités des fabricants (OEM) et des opérateurs de réseaux, puis est utilisé avec des estimations de l'impact environnemental moyen d'un employé de bureau dans le domaine des TIC.

4.2.9. Internet privé pour des besoins spécifiques

a) Description de l'écart :

L'Internet privé désigne les biens, réseaux et services TIC déployés et utilisés à des fins spécifiques et sont généralement associés à des exigences strictes (qualité de service, sécurité, isolation...). Cela peut couvrir une gamme d'objectifs différents, y compris : les TIC à des fins militaires, les TIC pour les missions critiques, les TIC pour la protection publique et les secours en cas de catastrophe ou pour toute verticale avec des contraintes ou des besoins très spécifiques (déployés en tant que réseaux dédiés autonomes).

b) Recommandation :

À l'heure actuelle, l'Internet privé (à des fins militaires) peut ne pas être considéré pour des raisons de confidentialité.

Toutefois, l'Internet privé devrait être considéré comme faisant partie de l'évaluation car, en ce qui concerne la définition du secteur des TIC donnée par l'ISIC²⁴, le statut juridique ou institutionnel n'est pas, en soi, le facteur déterminant pour qu'une activité appartienne à une division donnée de l'ISIC. Les réseaux à usage spécial et associés à des exigences strictes telles que les réseaux de protection publique et de secours en cas de catastrophe font partie du secteur des TIC.

4.2.10. Estompement des frontières entre les secteurs TIC vs Divertissement et media (E&M)

Avec l'augmentation de la numérisation, la frontière entre les secteurs du divertissement et les médias et des TIC devient difficile à mettre en place. La distinction entre les deux secteurs conformément à la Recommandation a été établie à l'origine selon la définition de ces secteurs de l'OCDE, qui est à son tour basée sur la dernière révision de la classification des activités économiques de l'ISIC.

²⁴ https://unstats.un.org/unsd/classifications/Econ/Download/In%20Text/ISIC_Rev_4_publication_English.pdf

La capacité de se connecter à un réseau, de communiquer et d'échanger des informations est intégrée dans un nombre croissant de nouveaux terminaux et équipements utilisés par d'autres secteurs, ce qui rend la frontière entre les TIC et le divertissement et les médias de plus en plus floue, le même défi s'appliquerait également lorsque l'on compare la portée des TIC avec d'autres secteurs.

Lorsque l'on examine la frontière entre les secteurs des TIC et du divertissement et les médias, la raison d'être de la catégorisation peut être de se concentrer sur l'utilisation principale, qui est encore sujette à des choix subjectifs, en particulier pour les futurs terminaux (terminaux AR/VR) et applications (métavers). Plusieurs arguments peuvent motiver une telle définition, tout en étant contestés en particulier pour l'évaluation prospective :

- On peut soutenir que cette définition de périmètre vise à refléter les utilisations pour lesquelles une catégorie de produits donnée a été conçue à l'origine (par exemple, le cas de la radiodiffusion, de la télévision et de la radio dédiées au divertissement et médias). Cependant, cet argument ne tient pas compte de la question de savoir si et comment l'utilisation du produit (et donc sa conception) a pu changer au fil du temps. C'est le cas, par exemple, des réseaux de télévision par câble considérés comme divertissement et médias, qui ont été modernisés et évolués pour inclure également les services de communication à haut débit.
- Certaines activités comme les cinémas, les théâtres, les festivals et autres événements de divertissement nécessitent une présence humaine presque physique et reflètent davantage la motivation initiale (divertissement plutôt que le but de la communication). Avec la généralisation de l'événement culturel virtuel et l'avènement du métavers, la numérisation des événements culturels peut remettre en question cet argument.
- L'intégration / l'embarcation de caractéristiques ou de capacités de communication dans un équipement / terminal n'implique pas de l'intégrer systématiquement dans le secteur des TIC, sinon la définition du secteur perdrait tout son sens. Cependant, la télévision connectée est un exemple d'appareil dont l'inclusion dans divertissement et médias est encore discutable car la partie connectée devient de plus en plus importante. Dans le même temps, on peut soutenir que la fonction principale des téléviseurs est de divertir, alors cette information pourrait provenir d'un réseau spécifique ou sur Internet. Ceci est conforme à un réfrigérateur connecté avec une fonction principale pour garder les aliments froids. Un téléviseur qui n'est pas connecté sur Internet (ou pas du tout) peut toujours fonctionner. De ce point de vue, un téléviseur connecté peut n'être qu'un autre appareil IdO. D'un point de vue conceptuel, l'étude de la fonction principale du terminal pourrait être le principe directeur de la catégorisation, ce qui soulève la question de la possibilité de conserver la division sectorielle actuelle ou d'élargir la définition actuelle du secteur des TIC

Le Comité pourrait mener d'autres travaux pour affiner ses connaissances et formuler des recommandations pour l'élaboration de méthodologies ou des lignes directrices concernant les frontières entre les secteurs des TIC et du divertissement et les médias.

4.2.11. Nécessité de recommandations méthodologiques supplémentaires sur d'autres considérations

En plus des domaines d'amélioration méthodologique identifiés ci-dessus, l'analyse des lacunes des trois études a mis en évidence la nécessité d'élaborer des orientations supplémentaires pour tenir compte d'autres considérations :

a) Analyse Entrée-Sortie Etendue à l'Environnement (ESEE) :

Il est nécessaire d'élaborer des dispositions spécifiques pour assurer une application rigoureuse de l'approche ESEE lors de l'évaluation de l'impact du secteur des TIC ; cela pourrait conférer une plus grande robustesse aux études d'évaluation de niveau 3 et de niveau 2 utilisant l'approche ESEE, et pourrait être utilisé pour combler les lacunes dans les données pour l'évaluation de niveau 1.

b) Calibrage de l'évaluation avec des estimations de l'empreinte des TIC selon une perspective organisationnelle :

La Recommandation vise principalement à examiner l'empreinte du secteur des TIC du point de vue de ses livrables (biens, réseaux et services TIC). En complément, la Recommandation a inclus des orientations sur la manière de calculer l'empreinte du secteur selon une perspective organisationnelle, tout en soulignant les lacunes d'une telle approche.

Tandis que les organisations TIC sont de plus en plus incitées à déclarer leur empreinte GES et à améliorer constamment leurs comptabilisations, l'approche organisationnelle gagne en maturité. Si une approche organisationnelle était utilisée en complément pour calibrer le résultat de l'évaluation de l'empreinte du secteur des TIC du point de vue de ses livrables, des recommandations techniques supplémentaires seraient nécessaires pour faciliter l'alignement des deux approches.

c) Guide à l'attention d'un utilisateur de jeu de données sur les critères de sélection et de collecte des données d'impact et d'activité :

L'analyste évalue les différentes sources de données afin de créer la meilleure estimation possible de l'empreinte du secteur des TIC, tout en respectant les principes de la Recommandation (pertinence, exhaustivité, cohérence, exactitude et transparence). En se référant à ces principes, l'analyste doit utiliser une combinaison des données les plus reconnues, représentatives et de haute qualité disponibles, compte tenu de leur actualité, de leur exactitude et de leur accessibilité.²⁵

La disponibilité de données représentatives et de haute qualité est une exigence fondamentale pour assurer une évaluation fiable et réduire les biais et les incertitudes. Plusieurs ensembles de données ont été développés au cours des dernières années (ensembles de données des fabricants sur l'empreinte carbone, ensembles de données d'universités / centres de recherche / groupes de réflexion sur l'environnement, ensembles de données de consortiums industriels / environnementaux privés, ensembles de données d'entités institutionnelles ...) et bien d'autres devraient venir, **des recommandations peuvent être nécessaires pour supporter un analyste avec des critères pertinents qui pourraient constituer une base pour une approche de notation afin d'aider à la sélection et la collecte de données d'impact les plus appropriées en fonction du niveau d'ambition de l'évaluation.**

d) Guide à l'attention du fournisseur de jeu de données sur les bonnes pratiques concernant la construction et la maintenance des données d'impact et d'activité :

L'élaboration d'un jeu de données de bonne qualité pour permettre une estimation robuste de l'empreinte du secteur des TIC au niveau mondial / local peut être difficile et consomme beaucoup de ressources, ce qui imposerait également des exigences concernant la mise à jour de l'ensemble de données pour refléter aussi fidèlement que possible la dynamique rapide du développement du secteur des TIC. Un analyste pourrait avoir besoin de recommandations sur les meilleures pratiques et

²⁵ La disponibilité des données ne préjuge pas de la condition d'accès aux données (accès gratuit vs payant)

les règles de conformité pour la création et la maintenance/actualisation d'un jeu de données d'impact et d'activité.

En s'appuyant sur les travaux existants (ex. niveau d'entrée ILCD du JRC²⁶) et en tenant compte des spécificités de l'approche de l'évaluation du secteur des TIC, des **bonnes pratiques/règles de conformité pourraient être envisagées pour la construction et la maintenance de jeu de données à différents niveaux** : données au niveau des composants, données au niveau de l'équipement/terminal, données au niveau du système (réseaux, centre de données, etc.), données au niveau du service/projet. L'analyse des incertitudes doit permettre de comprendre la sensibilité des résultats aux intrants et sortants majeurs, aux choix méthodologiques, ainsi qu'aux scénarios d'usage définis.

NOTE : Selon le niveau visé du jeu de données, la complexité et l'efficacité de l'analyse des incertitudes doivent être équilibrées (voir l'Appendice VIII de la recommandation UIT L.1410 pour plus d'informations).

²⁶ Par exemple, ILCD recommande l'utilisation de cinq critères (qualité globale des données, y compris la représentativité technologique, la représentativité géographique, la représentativité temporelle, l'exhaustivité, la précision / incertitude, la pertinence méthodologique et la cohérence ; Méthode (cadre de modélisation de l'ICV appliqué) ; Nomenclature ; Examen et documentation) pour classer les ensembles de données de manière harmonisée et comparable.

Se référer au Manuel ILCD – Guide général sur l'ACV – Lignes directrices détaillées – Annexe A (Concepts et approche de la qualité des données) (2010) : <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/ilcd.html>

Annex A Grille d'analyse pour l'étude d'alignement avec la Recommandation UIT L.1450

(Cette Annexe est associée à la Section 3.1)

Tableau A.1 – Modèle de la grille d'analyse conformément à la version en vigueur de la Recommandation ITU L.1450

#	Critères	Descriptif de la disposition associée	Référence L.1450	Remarques
Partie portant sur l'étude entière				
1	Principes générales et contexte		8.2.a	UIT-T L.1450 étape 1 (voir Fig. 1)
1.1	Normes et cadres standardisés	UIT-T L.1450 (part I), UIT-T L.1410, ISO 14040/44		La L.1450 fait référence au secteur mondial, la L.1410 fait référence aux produits, réseaux et services TIC individuels ISO 14040/44 fait référence aux produits et services génériques
1.2	Principes	Est-ce que l'étude a cherché à appliquer les principes de pertinence, de complétude, de cohérence, de précision ou de transparence ?	6	
2	Définition d'objectif et du champ		8.2.a	UIT-T L.1450 étape 1 (voir Fig. 1)
2.1	Objectif de l'étude	Définir l'objectif global de l'étude par rapport au secteur des TIC : couverture, horizon temporel et couverture géographique	8.2.a.1, 8.3.1	Exemple extrait de la L.1450 : « Cette étude porte sur l'empreinte du secteur des TIC, tel que défini par le périmètre, pour Pays A. Les résultats sont spécifiés en termes d'émissions de GES absolues de type 1, pour chaque année entre 20xx et 20yy ».
2.2	Empreinte absolue vs relative	Établir si l'étude évalue seulement une empreinte absolue du secteur des TIC ou si elle vise une empreinte relative du secteur des TIC.	8.2.a.2, 8.3.1, 8.3.4	La L.1450 fait principalement référence à une approche basée sur les livrables du secteur. Voir L.1450 Annexe III pour plus d'information sur l'approche organisationnelle.
2.3	Unité de référence	Définir the l'unité de référence / l'unité fonctionnelle	8.2.a.3, 8.3.2	L.1450 emploie le terme « unité de référence » et la définit ainsi : <i>L'unité de référence sera définie comme suit :</i> 1) <i>L'ensemble des émissions de GES tout au long du cycle de vie générées par le secteur des TIC, tel que défini par le périmètre, et pour la couverture géographique précisée pendant une année.</i> Elle exprime aussi les émissions de GES par abonnement et émissions de GES par données comme flux référentiels supplémentaires facultatifs. (Un terme alternatif serait « unité fonctionnelle »)

2.4	Périmètre de l'étude	Définir le périmètre du Secteur des TIC (voir l'Annexe A de L.1450)	2, 8.3.3.1, l'Annexe A	Le résultat est une liste de tout écart (ajout ou suppression) par rapport à l'Annexe A de la L.1450
2.5	Périmètre de l'étude	Définir le périmètre géographique (qui représente l'usage des TIC dans un pays, un groupe de pays, mondial, etc.)	8.2.a.4, 8.3.3.2	
2.6	Périmètre de l'étude	Définir the horizon temporel (empreinte historique, courante ou future)	8.2.a.4, 8.3.3.3	Définir le périmètre du secteur des TIC (voir l'Annexe A de la L.1450)
3a	Collecte et analyse de données (étude entière)		8.2.b	UIT-T L.1450 étape 2 (voir Fig. 1)
3.3	Référence pour émissions relatives		8.2.b.3, 8.3.4, 8.5, 8.5.8	Incluant les données sources
4	Calcul de l'empreinte du secteur des TIC		8.2.c, 8.6-8.7	UIT-T L.1450 étape 3 (voir Fig. 1)
4.1	Calcul de l'équipement de TIC		8.2.c.1, 8.6	Pour chaque catégorie d'équipement, préciser tout écart par rapport aux lignes directrices du 8.6
4.2	Calcul du secteur des TIC		8.2.c.2, 8.7	Préciser tout écart par rapport aux lignes directrices du 8.7
4.3	Extrapolation future		8.7.2	Préciser la manière dont toute extrapolation au futur a été réalisée et tout écart par rapport aux lignes directrices du 8.7.2
5	Interprétation de résultats		8.2.d, 8.8	UIT-T L.1450 étape 4 (voir Fig. 1)
5.1	Principes		8.2.d.1, 6, 8.8	
5.2	Analyse de sensibilité		8.8.2	
5.3	Couverture des données (globale)		8.8.2	
5.4	Qualité des données (globale)		8.8.2	
5.5	Analyse de tendances		8.8.3	
5.6	Comparaison		8.2.d.2, 8.8.3	
5.7	Intensités (facultatif)		8.2. d.3	Le nombre d'utilisateurs et le volume de données doivent être collectés séparément
6	Compte-rendu		8.9	UIT-T L.1450 étape 5 (voir Fig. 1)
	Compte-rendu		8.9	Indiquer tout écart par rapport au 8.9
7	Examen critique		8.10	UIT-T L.1450 étape 5 (voir Fig. 1)
	Examen critique		8.10	Indiquer tout écart par rapport au 8.10
Partie spécifique à la catégorie de produit				
3b	Collecte et analyse de données (spécifique à la catégorie de produit)		8.2.b	UIT-T L.1450 étape 2 (voir Fig. 1)
3.1	Collecte de données et modelage par type d'équipement / catégorie de biens		8.2. b.1	Lorsque possible basé sur la L.1410
3.1.1	Données équipement	Sales volumes	8.2.b.1, 8.5, 8.5.1	
3.1.2	Données équipement	Base installée	8.2.b.1, 8.5, 8.5.1	
3.1.3	Données équipement	Durée de vie utile	8.2.b.1, 8.5, 8.5.2	
3.1.4	Données équipement	Émissions de GES par catégorie de biens : Émissions de GES de la phase d'usage	8.2.b.1, 8.5, 8.5.3-6	

3.1.5	Données équipement	Émissions de GES par catégorie de biens : Émissions de GES embarquées	8.2.b.1, 8.5, 8.5.3-6	
3.1.6	Données équipement	Facteurs d'émissions de GES appliquées	8.2.b.1, 8.5, 8.5.7	Incluant les données sources
3.1.7	Données équipement	Données contextuelles	8.2.b.1, 8.5, 8.5.9	Données servant à l'interprétation des résultats tels que nombre d'abonnés, volume de données, etc.
3.2	Collecte de Métadonnées type d'équipement / catégorie de biens			
3.2.1	Métadonnées	Matériels et basée sur les processus d'analyse du cycle de vie, étendue à l'environnement Entrées-sorties ou hybride		L.1410 recommande une analyse basée sur les processus
3.2.2	Métadonnées	Hypothèses établies pour la Collecte de données par type d'équipement (y compris les profils d'usage)	8.2. b.4	
3.2.3	Métadonnées	Données sources détaillées par type d'équipement et de données	8.2.b.4, 8.4.2	Incluant les références et la qualité (évaluée par des pairs, par un tiers...)
3.2.4	Métadonnées	Données sur l'âge (infos distinctes sur les produits, processus, etc.)		
3.2.5	Métadonnées	Flux de référence	8.2. b.4	
3.2.6	Métadonnées	Toute allocation effectuée durant ou entre les cycles de vie (y compris le traitement de fin de vie)	8.2. b.4	Voir la L.1410 pour les règles d'attribution
3.2.7	Métadonnées	Seuils, extrapolations et utilisation de données indirectes	8.2.b.4, 8.4.3	
3.2.8	Métadonnées	Outil d'analyse du cycle de vie et base de données	8.2. b.4	Outil d'analyse du cycle de vie et base de données (par équipement)
3.2.9	Métadonnées	Données qualité (actualité, exactitude accessibilité)	8.2.b.4, 8.4.1	
3.2.10	Métadonnées	Données primaires ou secondaires	8.2. b.4	
3.2.11	Métadonnées	Méthode ACV		Basé sur la L.1410, PEF ou son équivalent

Annex B Sommaire des écarts méthodologiques par rapport à la Recommandation L.1450

(Cette Annexe est associée à la Section 4)

Cette Annexe (Tableau B.1) récapitule tous les écarts méthodologiques et les pistes d'amélioration de la Recommandation L.1450 présentées dans le corps principal de ce document, et dans les clauses annexes. En outre, le présent document (y compris ses annexes) contient plusieurs recommandations qui doivent également être prises en considération.

Tableau B.1 – Récapitulatif des écarts méthodologiques décrits dans ce document

Écart méthodologique	Type	Para. associé
Faisabilité et applicabilité de la Recommandation	Général Approche méthodologique	4.1.1 Annexe A Appendice I
Modulation des dispositions de la Recommandation en fonction du niveau d'évaluation de l'étude	Général Approche méthodologique	4.1.2 Appendice II
TIC et l'IdO/IoT, y compris l'IldO/IIoT	Spécifique TIC et technologies émergentes	4.2.1 Appendice III
TIC et Blockchain, crypto-monnaies et Intelligence Artificielle	Spécifique TIC et technologies émergentes	4.2.2
TIC et Satellites/systèmes aéroportés	Spécifique TIC et technologies émergentes	4.2.3 Appendice IV
Les catégories d'impact au-delà du Changement Climatique, telles que la biodiversité ou autres limites planétaires	Général Évaluation d'impact	4.2.4
Biens de support, activités de déploiement et activités de support/maintenance	Spécifique Périmètre	4.2.5
Déploiement des bâtiments de centres de données	Spécifique Centre de Données	4.2.6
Centre de données de télécommunications	Spécifique Centre de Données	4.2.7
Développement et support opérationnel des services TIC	Spécifique Service TIC	4.2.8
Internet privés à des fins précises	Spécifique Réseaux TIC	4.2.9
Estompement des frontières entre les secteurs des TIC et du divertissement et des médias	Spécifique Scope	4.2.10
Analyse Entrées-Sorties Etendue à l'Environnement	Général Approche méthodologique	4.2.11
Calibrage de l'évaluation avec des estimations de l'empreinte des TIC selon une perspective organisationnelle	Général Approche méthodologique	4.2.11
Guide à l'attention d'un utilisateur de jeu de données sur les critères de sélection et de collecte des données d'impact et d'activité	Général Collecte de données et modélisation	4.2.11
Guide à l'attention du fournisseur de jeu de données sur les bonnes pratiques concernant la construction et la maintenance des données d'impact et d'activité	General Collecte de données et modélisation	4.2.11

Appendice I Détails de l'analyse d'alignement pour les trois études de référence

(Cet appendice est associé à la Section 3.2)

L'analyse détaillée de l'alignement des trois études de référence est incluse en tant que supplément sous forme de grille d'analyse tabulaire. Ils peuvent être fournis sur demande.

Appendice II Précisions supplémentaires sur les spécifications méthodologiques des niveaux d'évaluation proposés

(Cet appendice est associé à la Section 4.1)

Cet appendice fournit des indications supplémentaires sur les spécifications méthodologiques des trois niveaux d'évaluation proposés.

Quel que soit le niveau d'évaluation choisi pour l'étude, l'analyste doit s'efforcer de suivre les principes de pertinence, d'exhaustivité, de cohérence, d'exactitude et de transparence lorsqu'il entreprend l'évaluation. En se référant à ces principes concernant la collecte de données, l'analyste doit évaluer différentes sources de données afin de parvenir à la meilleure estimation possible.

II.1 Evaluation de niveau 1

Les spécifications de ce type d'évaluation sont alignées sur la Recommandation. D'autres spécifications incluent :

- Émissions embarquées : L'ACV basée sur les processus pourrait être combinée avec les estimations selon une approche ESEE (calibrage) pour obtenir une ACV hybride capable de compenser les erreurs de troncature potentielle due à l'ACV basée sur les processus.
- Une analyse gravimétrique²⁷ ainsi qu'une analyse quantitative de l'incertitude devraient être traitées à travers ses trois catégories (paramètre, scénario et incertitude du modèle) et en caractérisant les sources importantes d'incertitudes conformément à la Recommandation L.1410.²⁸ L'incertitude peut être quantifiée par une analyse de sensibilité (conformément aux exigences relatives à l'analyse de sensibilité telle que définie dans la norme ISO 14044) et par l'essai de scénarios alternatifs. L'incertitude du paramètre comprend l'évaluation de l'incertitude propagée des données d'entrée aux résultats globaux. Pour cela, des paramètres d'incertitude sur les données brutes (paramètres d'entrée) doivent être définis. L'incertitude des indicateurs d'impact sur l'environnement (paramètres de sortie) pourrait alors être calculée à l'aide d'une simulation Monte Carlo, le cas échéant. La Recommandation pourrait être améliorée en recommandant un ensemble de paramètres d'entrée pertinents pour chaque étape du cycle de vie et la loi statistique correspondante (par exemple, log-normal) et la variance pour atteindre un intervalle de confiance donné²⁹.
- Une analyse de sensibilité doit être effectuée.
- Rapports et présentation des résultats : outre la présentation de l'empreinte totale du secteur des TIC, les principaux résultats doivent présenter l'empreinte au moins pour les sous-catégories TIC suivantes : les biens utilisateurs finaux à l'exclusion de l'internet des objets, les terminaux de l'IdO, les réseaux fixes, les réseaux mobiles, les réseaux d'entreprise, les centres de données et le développement des services TIC et leur support opérationnel. Les résultats doivent être ventilés par étapes du cycle de vie.

²⁷ L'analyse gravimétrique (par exemple, l'analyse de Pareto) est une procédure statistique qui identifie les données/éléments ayant la plus grande contribution au résultat de l'indicateur. Ces données/éléments peuvent ensuite faire l'objet d'une enquête avec une priorité accrue afin de s'assurer que des décisions judicieuses sont prises. [ISO 14044]

²⁸ L'analyste se reportera à l'annexe VIII de la L. 1410 pour plus de détails.

²⁹ Le Protocole GES fournit des lignes directrices sur les approches de quantification de l'incertitude des paramètres : <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/Quantitative%20Uncertainty%20Guidance.pdf>

- Tout raffinement de la granularité dans le reporting pour soutenir une interprétation perspicace est encouragé tout en maintenant la conformité avec les exigences de la Recommandation,³⁰ cela peut inclure par exemple: la focalisation/mise en évidence d'un objet spécifique (télécommunication par satellite/HAPS, réseaux d'entreprise, etc.) ou d'applications spécifiques (blockchain, IA / ML, etc.), réseaux fixes vs réseaux Wifi vs réseaux mobiles cellulaires, réseaux par technologie d'accès, centre de données classique vs centres de données cloud vs centre de données de calcul en périphérie (Edge computing), etc.
- L'autocontrôle de conformité à la Recommandation doit être effectué (l'annexe A peut servir de modèle pour l'analyse de l'alignement).
- Examen critique : La vérification doit être effectuée par un tiers indépendant. Dans ce cas, le nom et les coordonnées de ce tiers doivent être indiqués. En outre, cette vérification par un tiers doit être gérée conformément à la norme [ISO 14064-3], qui spécifie les exigences relatives à la sélection des validateurs ou des vérificateurs de GES, à l'établissement du niveau d'assurance, des objectifs, des critères et du champ d'application, à la détermination de la méthode de validation ou de vérification, à l'évaluation des données, des informations, des systèmes d'information et des contrôles des GES, à l'évaluation des déclarations de GES et à l'élaboration d'avis de validation ou de vérification, ainsi que conformément à la [ISO 14044]. En outre, une déclaration de l'examen critique doit être fournie.

II.2 Evaluation de niveau 2

- Périmètre de l'évaluation : l'évaluation couvre l'ensemble des différentes étapes du cycle de vie.
- Les émissions de carbone embarquées doivent être basées sur des ACV simplifiées³¹ avec un âge maximal de trois ans pour les équipements de point chaud. Pour les équipements à faible impact, les méthodes alternatives incluent la ECP (empreinte carbone du produit) basée sur la caractérisation des composants et le paramétrage matériel (par exemple, modèle Boavizta,³² l'outil ACV Eco-Impact Estimator de iNEMI³³).
- La phase de fin de vie doit être évaluée en tenant compte des paramètres pertinents (poids, proportion de matériaux constitutifs recevant un traitement en fin de vie, etc.) et des options de gestion de la fin de vie (recyclage complet, incinération / valorisation énergétique, mise en décharge avec / sans récupération de gaz, etc.). La modélisation basée sur des scénarios de fin de vie pourrait être utilisée. D'autres indications sur la répartition entre les étapes du cycle de vie pour les activités de recyclage et de modélisation de la fin de vie sont fournies par L.1410 et la méthodologie EE, par exemple.
- Dans le cas d'une évaluation nationale / d'un groupe de pays :
 - Compte tenu du cas des centres de données utilisés à l'international et en se référant à la Recommandation et à l'exemple d'allocation décrit à l'Annexe VII de L. 1440, il est conseillé de répartir les impacts des centres de données desservant les utilisateurs à

³⁰ En cas de non-respect de l'ensemble du standard de qualité de niveau 1 tout en visant un rapport plus granulaire, l'analyste devrait envisager la possibilité de revenir à une évaluation de niveau 2.

³¹ Une nouvelle question d'activité est en cours de lancement au sein de l'UIT-T en vue de l'élaboration de lignes directrices sur la manière de procéder à une évaluation simplifiée de l'ACV avec des exemples pour les marchandises. Une fois publiée et mise en œuvre par les fabricants d'équipements TIC, la nouvelle recommandation favoriserait une production rationalisée d'ACV simplifiées pour les dispositifs des utilisateurs finaux des TIC.

³² Pour plus de détails sur le Guide TIC du Protocole GES [Guide GHGP-TIC – 2017]

³³ <https://www.inemi.org/>

l'intérieur et à l'extérieur des frontières du pays / groupe de pays, situés à l'intérieur des pays ou à l'étranger en fonction du trafic.

- Compte tenu du cas d'un satellite de télécommunication, il est conseillé de procéder à des répartitions dans toutes les activités de la chaîne de valeur du satellite (phase de lancement, activités d'exploitation et de support).
- D'autres biens / réseaux des TIC utilisés au niveau international, tels que les systèmes de câbles de communication sous-marins et le réseau dorsal Internet, devraient être traités avec des répartitions.
- Répartition des émissions entre des produits indépendants qui partagent le même procédé / actif : les règles de répartition des recommandations L.1450 et L.1410 s'appliquent, la méthode choisie devrait refléter le plus fidèlement l'utilisation sous-jacente de l'actif partagé en fonction du facteur le plus limitant ou contraignant. Chaque fois que plusieurs règles de répartition semblent applicables, la variation du résultat avec la règle de répartition doit être testée (cela peut faire partie de l'analyse de sensibilité).
- Reporting des résultats : les résultats devraient être ventilés par étapes du cycle de vie; les résultats sont présentés pour les quatre principales catégories de TIC (terminaux utilisateurs finaux, y compris l'internet des objets, réseaux, centres de données, développement service TIC et support opérationnel).
- Une analyse de sensibilité doit être effectuée. L'analyse des incertitudes doit être qualifiée à travers ses trois catégories (paramètre, scénario et incertitude du modèle) en identifiant les sources importantes d'incertitudes³⁴
- L'autocontrôle de la conformité à la Recommandation est fortement recommandé (l'Annexe A peut servir de modèle pour l'analyse de l'alignement).
- Examen critique :
 - Cette vérification peut être effectuée par un tiers indépendant. Dans ce cas, le nom et les coordonnées de ce tiers doivent être indiqués. En outre, cette vérification par un tiers doit être gérée conformément à la norme [ISO 14064-3], qui spécifie les exigences relatives à la sélection des validateurs ou des vérificateurs de GES, à l'établissement du niveau d'assurance, des objectifs, des critères et du champ d'application, à la détermination de la méthode de validation ou de vérification, à l'évaluation des données, des informations, des systèmes d'information et des contrôles des GES, à l'évaluation des déclarations de GES et à l'élaboration d'avis de validation ou de vérification. , ainsi que conformément à la [ISO 14044]. En outre, une déclaration d'examen doit être fournie.
 - Cette vérification peut également être effectuée au moyen d'un processus scientifique d'examen par les pairs organisé conformément aux règles de l'art.

II.3 Evaluation de niveau 3

Les exigences potentielles de la Recommandation qui pourraient être assouplies sont les suivantes :

³⁴ L'Appendice VIII de la [L.L.1410] fournit de plus amples détails sur la gestion des incertitudes des ACV pour les TIC et des exemples de sources d'incertitude importantes à chaque étape du cycle de vie.

- Périmètre de l'évaluation : L'évaluation peut porter sur toutes les étapes du cycle de vie, à l'exception de l'étape de fin de vie. Le stade de fin de vie pourrait être soit coupé, soit intégré aux « émissions embarquées ». ³⁵
- Pour les terminaux utilisateurs finaux :
 - L'évaluation peut se concentrer sur les catégories de terminaux utilisateurs finaux considérés comme points chauds, notamment : les écrans (y compris de télévision, d'ordinateurs, etc.), les ordinateurs portables/ordinateurs et les smartphones.
NOTE : À mesure que le secteur des TIC évolue au fil du temps, les catégories de terminaux utilisateurs finaux qualifiés de points chauds pour une période donnée pourraient ne plus être encore considérées comme des points chauds pour une période prospective. Tout choix d'articles spécifiques fait l'objet d'un rapport transparent et dûment justifié. Cela doit tenir compte des volumes de ventes de produits ainsi que de l'impact par produit.
 - Lorsqu'il n'existe pas d'ACV à jour pour les dispositifs concernés, les émissions de carbone embarquées devraient être fondées sur les ACV d'une durée maximale de 5 ans, tout en tenant compte de leur représentativité. Lorsque les ACV disponibles peuvent être obsolètes (5+ ans), ces ACV pourraient être réutilisées après avoir appliqué des facteurs d'ajustement appropriés pour extrapoler leur évolution. Plusieurs sources de données pour les émissions embarquées des terminaux utilisateurs finaux sont disponibles, certaines d'entre elles sont des bases de données publiques / gratuites telles que : Base Empreinte de l'ADEME, Boavizta DB, plateforme de communication des informations énergétiques publiées par les fabricants^{36,37}; d'autres telles que la PAIA Project Database³⁸, NegaOctet Database³⁹ sont payantes ...
NOTE : Lorsque différentes sources de données sont disponibles, l'analyste devrait privilégier la sélection d'une source de données avec une méthodologie décrite publiquement.
 - En cas de manque de données, l'analyste peut envisager une approche descendante en calculant les émissions embarquées globales de l'industrie des TIC des biens d'utilisateur final sans l'affecter à des catégories de produits spécifiques sur la base des rapports de comptabilité carbone (champs 1, 2 et 3) des

³⁵ Selon [GHGP-Lignes directrices TIC – 2017], les émissions embarquées désignent toutes les émissions autres que celles de la phase d'utilisation.

³⁶ Base Empreinte® est la nouvelle base de données d'empreinte de l'ADEME issue de la fusion des bases de données Base Carbone® et Base IMPACTS®.

<https://base-impacts.ademe.fr/>

³⁷ Boavizta met à disposition une base de données ouverte (référentiel de données) de l'empreinte carbone (phase d'utilisation et émissions de carbone embarquées) de différentes sous-catégories d'équipements (ordinateur portable, écran, smartphone, ordinateur de bureau, serveur, tablette, imprimante) et de différents fabricants.

<https://dataviz.boavizta.org/>

³⁸ PAIA (Product Attribute to Impact Algorithm) est un outil d'ACV simplifié développé par le MIT de concert avec l'Arizona State University et l'Université de Californie. PAIA fournit de façon économique des estimations de l'empreinte carbone d'une catégorie de produits, y compris les ordinateurs portables, les ordinateurs de bureau, les moniteurs LCD, les serveurs, les commutateurs réseau et le stockage. L'outil PAIA est conforme aux exigences de la CEI 62921 et utilise les données des entreprises participantes et les facteurs d'émission secondaires provenant de sources tierces (telles que Ecoinventer).

<https://quantis.com/who-we-guide/our-impact/sustainability-initiatives/paia/>

³⁹ D'après le site web de NegaOctet, NegaOctet La base de données contient 1 500 composants et équipements classés selon quatre niveaux de granularité (composants numériques, équipements, systèmes et services numériques). Chaque équipement est associé à jusqu'à 30 facteurs d'impact.

<https://negaoctet.org/en/home/>

entreprises. Lorsqu'il n'est pas possible d'être exhaustif, les données primaires publiées pour les grandes entreprises de TIC pourraient être utilisées et adaptées (par exemple en fonction de paramètres économiques tels que les chiffres d'affaires ou de paramètres physiques tels que le volume des expéditions) au champ d'application visé.⁴⁰

- L'évaluation des entrées / sorties économiques pourrait être utilisée comme autre approche descendante compte tenu des données économiques (par exemple, les données financières) et de l'analyse multirégionale des Entrées-Sorties Etendues à l'Environnement (ESEE) disponible. Toutefois, il convient de reconnaître qu'il n'existe peut-être pas d'ensembles de données de l'ESEE pour tous les pays et que les catégories de l'ESEE sont larges et que le coût/donnée économique n'est pas toujours corrélé avec les incidences sur l'environnement. Néanmoins, les données de l'ESEE peuvent aider à combler les lacunes en matière de donnée, à l'aide d'une mise en correspondance appropriée de l'équipement évalué avec les entrées des tableaux de l'ESEE. Des exemples de données de l'ESEE telles que E3IOT sont fournis sur le site Web du GHG Protocol.⁴¹⁴²
- Pour les réseaux et les centres de données :
 - Les émissions de carbone embarquées pourraient être calculées au moyen d'un ratio du cycle de vie (dans ce cas, en tant que ratio des émissions opérationnelles) si l'évaluation cible un pays / groupe de pays ayant un réseau électrique à intensité carbone relativement élevée ou pour une évaluation au niveau mondial, bien que cette méthode soit plus pertinente pour les produits / systèmes ayant une longue durée de fonctionnement. Des exemples de ratio des émissions incorporées peuvent être trouvés dans la littérature⁴³. Pour les pays dont le réseau électrique est d'une intensité carbone relativement faible, les émissions de carbone embarquées pourraient être fondées sur des données secondaires dérivées d'une modélisation ascendante prête à l'emploi de biens de réseau / CD pertinents (c'est-à-dire qualifiés de points chauds) (par exemple, modèle de Boavizta), de la littérature scientifique ou de l'utilisation d'ACV avec une actualité allant jusqu'à 5 ans. À titre d'exemple, les biens pertinents pour les réseaux (respectivement pour le centre de données) comprennent les stations de base radio pour les réseaux mobiles (respectivement les serveurs informatiques et le stockage). Si l'on applique l'approche par ratio⁴³ des étapes du cycle de vie, il est important de

⁴⁰ En fait, son approche irait au-delà des émissions embarquées de l'équipement, à moins d'effectuer des affectations pour exclure des catégories spécifiques de niveau 3 si elles sont bien traitées.

⁴¹ Les données AEESEE sont des données secondaires non basées sur des processus dérivés de l'analyse AEESEE. Les données AEESEE sont souvent complètes. Cependant, un inconvénient de l'utilisation des données AEESEE pour les émissions embarquées du matériel est que les TIC évoluent rapidement avec des innovations débutantes, mais tardent à être inclus dans les bases de données AEESEE (mises à jour généralement tous les 5 ans) [GHGP-Lignes directrices TIC – 2017]. Contrairement aux ACV basées sur les processus qui peuvent conduire à des résultats sous-estimés en raison d'erreurs de troncature, les estimations fondées sur l'AEESEE ont l'avantage de prendre en compte les émissions de toutes les voies de la chaîne d'approvisionnement. D'autre part, les données de l'AEESEE comprennent des mesures économiques qui peuvent ne pas correspondre entièrement aux émissions ; elles peuvent également fournir des estimations disproportionnées pour la partie haut de gamme (comme les TIC) des grandes catégories établies.

⁴² <https://ghgprotocol.org/life-cycle-databases>

⁴³ L'appendice 5.2 du Guide sectoriel sur les TIC – Chapitre 5 Matériel fournit des exemples de chiffres de ratio [Guide GHGP-TIC – 2017]. Il convient de noter qu'une approche de précaution est nécessaire lors de l'utilisation du profilage du rapport des étapes du cycle de vie, car les chiffres relatifs aux rapports ont généralement été établis sur la base d'évaluations historiques du cycle de vie du matériel TIC et ces rapports peuvent donc être sensibles au type d'équipement, à son âge, au profil d'utilisation (par exemple, l'activation de fonctions d'économie d'énergie) et au pays / région d'utilisation.

considérer que les données ne peuvent être réutilisées que si elles reflètent le même mix énergétique que celui applicable dans les limites étudiées.

D'autres approches descendantes, telles que l'évaluation des entrées / sorties économiques et les rapports sur l'empreinte organisationnelle de l'industrie des TIC (réseau/CD) pourraient également être utilisées comme méthode alternative. Voir ci-dessus.

- Émissions de carbone opérationnelles : en l'absence de données mesurées sur la consommation d'énergie pendant l'exploitation d'un réseau/CD, la consommation d'énergie pourrait être calculée au moyen de mesures d'intensité (par exemple en utilisant les données disponibles sur le facteur d'intensité réseau/CD multipliées par des données d'activité appropriées telles que les abonnements au réseau/CD, etc.) avec un usage maximal de 3 ans.

NOTE : Une attention particulière doit être accordée à la portée physique des mesures d'intensité utilisées pour l'évaluation ; toute mesure utilisée doit être définie de manière transparente.

D'autres méthodes comprennent l'utilisation de données sur la consommation d'énergie telles que rapportées dans les rapports ESR (champ 1, champ 2 et des catégories spécifiques du champ 3 GES) et, éventuellement, après application d'une répartition appropriée (par le biais d'une allocation économique par exemple) pour cibler le périmètre spécifique de l'étude.^{44 45}

- [GHGP- Lignes directrices TIC – 2017] fournit plusieurs exemples d'évaluation de type de niveau 3.
- Dans le cas d'une évaluation nationale / d'un groupe de pays :
 - L'attribution des biens et réseaux TIC utilisés au niveau international (par exemple, centres de données, réseaux de câbles sous-marins, réseaux dorsaux Internet, etc.) pourrait suivre les principes énoncés dans la Recommandation L.1440 (c'est-à-dire que l'impact des biens / réseaux des TIC situés à l'intérieur du pays / groupe de pays et utilisés à l'intérieur et à l'extérieur de ses frontières devrait être entièrement attribué au pays / groupe de pays; tandis que les incidences des biens / réseaux TIC situés à l'étranger mais utilisés par le pays / groupe de pays peuvent ne pas être attribué au pays / groupe de pays).
 - Dans le cas des satellites de télécommunication, et en appliquant la même approche, on peut envisager d'écarter l'impact des activités du segment de lancement et du segment sol (c'est-à-dire les activités de soutien (par exemple, les centres de contrôle des opérations) ou les installations (par exemple, les stations au sol), si elles ont eu lieu ou sont situées en dehors des limites géographiques de l'étude tout en appliquant les affectations pertinentes (par exemple, en mettant à l'échelle avec des paramètres tels que le temps d'utilisation ou la quantité de données) pour obtenir la part des impacts des activités du segment spatial (c'est-à-dire le satellite).

⁴⁴ Y compris les émissions liées au carburant et à l'énergie de catégorie 3 (Scope 3 GES) pour prendre en compte les pertes du puits au réservoir et les pertes de transport et de distribution lors du « réajustement » des facteurs d'émission.

⁴⁵ La disponibilité de données actualisées pour une évaluation à l'échelle mondiale serait favorisée par les travaux en cours en vue de l'élaboration d'une nouvelle Recommandation UIT-T visant à fournir des orientations pour appuyer la création d'une base de données de l'UIT sur les émissions de GES du secteur des TIC à l'échelle mondiale.

- Reporting des résultats : les résultats sont déclarés pour les émissions embarquées et les émissions opérationnelles (étape d'utilisation) ou ne peuvent être déclarés que pour les étapes très importantes du cycle de vie. Les rapports peuvent être effectués pour les trois principales catégories de TIC (terminaux utilisateurs finaux, réseaux et centres de données).
- Une analyse de sensibilité doit être effectuée. Lorsqu'une incertitude élevée est identifiée, les hypothèses conservatrices sont privilégiées.
- Bien qu'un autocontrôle de conformité à la Recommandation puisse être effectué (l'Annexe A peut servir de modèle pour l'analyse de l'alignement), le principe de transparence en ce qui concerne les hypothèses méthodologiques et les données utilisées prévaut. De plus, les résultats doivent être présentés avec une clause de non-responsabilité concernant leurs limites.

Tableau II.1 Donne un aperçu des dispositions des trois niveaux d'évaluation

Tableau II.1 - Synthèse des trois niveaux d'évaluation

Aspect méthodologique	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Type	Évaluation détaillée alignée avec la Recommandation, avec des spécifications complémentaires	Évaluation simplifiée, largement alignée avec la Recommandation, avec des dispositions souples	Screening, évaluation moyenne
Données types	Données primaires complétées par / calibrées avec des données secondaires spécifiques aux TIC	Les données primaires sont privilégiées et complétées, le cas échéant, par des données secondaires spécifiques aux TIC / données proxy	Principalement des données secondaires / données proxy
Étapes de cycle de vie	Cycle de vie entier	Cycle de vie entier	Cycle de vie entier sauf la fin de vie
Granularité d'évaluation	Évaluation fine, niveau de détail moyen ou haut	Évaluation fine, niveau de détail moyen ou haut	Évaluation sommaire (points chauds), peu détaillée
Affectation / allocation	Permise	Permise	Pas recommandée
Émissions embarquées	ACV détaillée et actualisée ACV hybride : Basée sur les processus, calibrée avec l'approche ESEE	ACV simplifiée, pour points chauds (réalisée il y a 3 ans) Basée sur les processus	ACV simplifiée (réalisée il y a 5 ans) ; compte-rendu de l'industrie des TIC ; Estimations à base de l'approche ESEE
Émissions opérationnelles des réseaux/CD	Données mesurées	Données mesurées	Modélisation utilisant des métriques d'intensité
Modélisation de fin de vie	Requis	Requis	Peut-être ignoré (<i>cutoff</i>)

Test et sensibilité	Analyse gravimétrique conseillée Incertitude quantitative conseillée Analyse de sensibilité requis	Incertitude quantitative conseillée Analyse de sensibilité requis	Analyse de sensibilité requis
Granularité de compte- rendu	Par étapes de cycle de vie Par sous-catégories TIC	Par étapes de cycle de vie Par catégories principales TIC	Embarquées vs opérationnelles ou Étapes de cycle de vie significatives Par catégories principales TIC
Exigences de Reporting	Auto-contrôle de conformité Examen critique requis	Auto-contrôle de conformité Examen critique conseillé	Auto-contrôle de conformité Avis de non- responsabilité conseillé Priorité à la transparence
Restrictions	Pourrait servir pour contrôler l’empreinte des TIC et de référentiel de trajectoires futures	Pourrait servir pour contrôler l’empreinte des TIC et de référentiel de trajectoires futures	Ne pourrait pas servir pour contrôler l’empreinte des TIC et de référentiel de trajectoires futures

Appendice III Un exemple de catégorisation d'équipement IdO selon le secteur des TIC

(Cet appendice est associé à la Section 4.2)

Cet appendice (tableau III.1) donne un exemple de catégorisation (c'est-à-dire d'inclusion ou d'exclusion) d'un ensemble de dispositifs IdO / M2M en ce qui concerne le secteur des TIC. Le tableau ci-dessous fait partie d'une réponse du Comité d'experts (publiée le 05/2022) à une demande du Comité d'experts mobiles (soumise le 03/2022) concernant le périmètre de l'IdO en ce qui concerne les TIC.

Des critères d'inclusion des terminaux connectés dans le périmètre des TIC / IdO devraient être élaborés pour décider si un terminal est entièrement inclus ou en fonction de sa partie connectivité ou pas du tout. Cette catégorisation est considérée comme une première proposition du Comité, un examen plus développé pourrait être nécessaire dans un travail futur.

Tableau III.1 – Exemple de catégorisation des équipements IdO/M2M relevant du périmètre des TIC

Terminal IdO /M2M	Relevant du champ actuel des TIC ⁴⁶	Relevant du champ futur des TIC ⁴⁷
Alarme à distance pour installation industrielle (marché entreprises)	Non	Non anticipé à ce stade
Logistiques et télématiques : Système de positionnement pour le suivi des actifs, y compris l'équipement, les camions, un vélo, un scooter de ville...	Oui, facultatif, lignes directrices détaillées pas encore fournies	A débattre
Terminaux de paiement	Oui, facultatif, lignes directrices détaillées pas encore fournies	A débattre
Système de connectivité embarqué dans les véhicules (e-Call, télémétrie, télématique, SOFA/FOTA, info-divertissement/Wifi embarqué...) fournit par le constructeur	Non	Non anticipé à ce stade
Terminaux de paiement	Non	Non anticipé à ce stade
Système de connectivité embarqué dans les véhicules (e-Call, télémétrie, télématique, SOFA/FOTA, info-divertissement/Wifi embarqué...) fournit par le revendeur	Oui, facultatif, lignes directrices détaillées pas encore fournies	A débattre
Distributeur (de boissons, nourriture, etc.)	Non	Non anticipé à ce stade
Équipement de soutien de maintenance pour train / transport	Non	Non anticipé à ce stade
Ascenseurs	Non	Non anticipé à ce stade
Interphone/Intercom	Oui, facultatif, lignes directrices détaillées pas encore fournies	A débattre
Systèmes de contrôle de vitesse / radar	Non	Non anticipé à ce stade
(Construction) Grue de chantier	Non	Non anticipé à ce stade
Station de recharge pour véhicule électrique	Non	A débattre
Parcomètre intelligent / assistant de stationnement	Oui, facultatif, lignes directrices détaillées pas encore fournies	A débattre
Technologies portables (marché grand public)	Oui, facultatif, lignes directrices détaillées pas encore fournies	A débattre
Appareils ménagers : Alarme à distance (marché grand public)	Non	Non anticipé à ce stade

⁴⁶ Conformément à l'UIT- L.1450 - l'Annexe A : version actuelle en vigueur

⁴⁷ Conformément à l'UIT- L.1450 - l'Annexe A : travail en cours / élément d'étude prochaine au sein de l'UIT-T

Appareils ménagers : assistant vocal, dispositif de téléassistances pour seniors / personnes handicapées...	Non	A débattre
Appareils ménagers : réfrigérateurs connectés	Non	Non anticipé à ce stade
Appareils ménagers : machines à laver	Non	Non anticipé à ce stade
Appareils ménagers : caméras de surveillance	Oui, facultatif, lignes directrices détaillées pas encore fournies	A débattre
Appareils ménagers : sonnettes / serrures de porte	Non	Non anticipé à ce stade
Appareils ménagers : ampoules	Non	Non anticipé à ce stade
Appareils ménagers : thermostats	Non	Non anticipé à ce stade
Appareils ménagers : autres terminaux connectés	Non	A débattre

Appendice IV Considérations sur le périmètre d'évaluation des satellites de télécommunication

(Cet appendice est associé à la Section 4.2)

Étant donné que très peu de missions spatiales remplissent un but ou une fonction identique (observation de la Terre, télécommunications, science), il est difficile d'obtenir une unité fonctionnelle pertinente qui permette la comparaison sur la base de la « fonction » d'un satellite ou qui pourrait être facilement réutilisée par un analyste pour une étude d'évaluation de l'empreinte des TIC. Par exemple, pour une mission spatiale de télécommunications, deux exemples d'unités fonctionnelles possibles pourraient être envisagés :

- (i) « Une mission spatiale répondant à ses besoins »
- (ii) « Provisionnement de Mo de données transférées sur une distance de x km ».

Si la première option permet de bien refléter la spécificité d'une mission spatiale, cette unité fonctionnelle peut faire l'objet de débats en raison de la difficulté de comparer les missions spatiales entre elles. En revanche, la deuxième option permettrait une intégration directe des résultats prêts à l'emploi, ainsi que de comparer les missions ayant le même objectif et les mêmes exigences. Cependant l'analyste devra généralement aborder avec soin certaines considérations (champ de l'évaluation, règles d'affectation, mise à l'échelle pour répondre aux besoins de l'étude) avant de réutiliser les résultats.

Quelle que soit l'unité fonctionnelle choisie et conformément aux lignes directrices de l'ESA en matière d'ACV, une évaluation complète du système de mission spatiale porte sur le segment spatial, le segment de lancement et le segment au sol ; la répartition de toutes les phases (A à F) de la mission spatiale est illustrée à la figure IV.1.

Pour tenir compte de la contribution d'un satellite de télécommunications dans le secteur des TIC, il faut examiner son impact dans une perspective de cycle de vie complet et appliquer une part pertinente à certaines activités connexes de la mission spatiale. C'est pourquoi il est recommandé d'envisager une perspective de mission spatiale conforme aux Lignes directrices de l'ESA⁴⁸ (ACV de niveau 1 dans le secteur spatial), puis de mettre en œuvre des affectations adéquates sur certaines activités / processus / actifs afin de s'aligner sur le périmètre (services de télécommunication par satellite) et les périmètres (limites temporelles et géographiques) de l'évaluation. Ce faisant, cette annexe préconise une approche d'évaluation à mi-chemin entre une ACV du segment spatial⁴⁹ et une ACV d'une mission spatiale. En particulier, l'établissement des limites de l'évaluation des satellites de télécommunication du point de vue des TIC devrait être entrepris à la lumière des considérations suivantes :

- Les processus unitaires exclus du périmètre d'évaluation d'une mission spatiale peuvent être exclus des périmètres d'évaluation des satellites de télécommunication
- Le processus unitaire inclus dans le périmètre d'évaluation d'un segment spatial doit être inclus dans le périmètre de l'évaluation des satellites de télécommunication. Toute exclusion doit être justifiée.

⁴⁸ Analyse du cycle de vie (ACV) du segment spatial, ESA (2016).

<https://blogs.esa.int/cleanspace/2020/11/19/environmental-lca-database/>

⁴⁹ L'ACV du segment spatial vise à évaluer les impacts environnementaux liés à un engin spatial spécifique tout au long de son cycle de vie, de la phase de R&D à l'élimination des étages (du berceau à la tombe) sans tenir compte des impacts de son segment de lancement ou de ses activités du segment sol.

- Lors du calcul de l'impact des satellites de télécommunications, certaines des activités de la mission spatiale sont considérées comme des activités de premier plan et d'autres comme des activités d'arrière-plan, comme indiqué dans Tableau IV.1.

Tableau IV.1 – Activités de la mission spatiale et périmètre d'évaluation des satellites de télécommunication

Segment [Phase]	Activité/processus	Type	Appréciation du périmètre d'évaluation par rapport aux TIC
Segment spatial [A+B] ⁽¹⁾	Travail de bureau et Déplacement de personnels. Test	Arrière plan	Peut être exclu ⁽⁶⁾ . Si cela est inclus, ne considérez que la consommation d'énergie pour le fonctionnement de la conception des installations et les déplacements du personnel, tous deux directement liés à la mission.
Segment spatial [C+D] ⁽²⁾	Extraction de ressources, fabrication de composants de la navette spatiale / satellites	Premier plan	Doit être inclus. « Cradle-to-Gate » ACV de tous les matériaux / équipements (composants de la plate-forme) et instruments inclus dans la navette spatiale/Satellite La production et la fin de vie de l'emballage des éléments de la navette sont ignorées (supposées négligeables).
Segment spatial [C+D] ⁽²⁾	Extraction de ressources, production de propergols pour navettes / satellites	Premier plan	Doit être inclus
Segment spatial [C+D] ⁽²⁾	Assemblage, intégration et essais (AIE)	Premier plan	Doit être inclus. Tous les niveaux AIE (instrument/charge utile, plate-forme et satellite). Consommation d'énergie des principales activités d'essais ayant un impact, y compris la consommation d'énergie pour le chauffage, la ventilation et la climatisation des installations AIE et le nettoyage des couches de salle blanche. Les émissions embarquées des installations de l'AIE et les activités de R&D et de frais généraux liées à l'AIE peuvent être exclues ⁽⁶⁾ .
Segment spatial [C+D] ⁽²⁾	Transport de composants de navette/satellites et assemblage	Premier plan	Doit être inclus
Segment spatial [C+D] ⁽²⁾	Travail de bureau et déplacement de personnels	Premier plan	Ne devraient être inclus que la consommation d'énergie pour le fonctionnement des installations de conception et les déplacements du personnel, tous deux directement liés à la mission ⁽⁶⁾ .
Segment de lancement [C+D] ⁽²⁾	Travail de bureau et déplacement de personnels	Arrière-plan	Peut être exclu
Segment de lancement [C+D] ⁽²⁾	Production de composants de lanceurs et propulseurs pour lanceur	Arrière-plan	La production d'un lanceur peut être exclue. Les émissions en amont causées par l'extraction et la production de propergols doivent être incluses.
Segment de lancement [C+D] ⁽²⁾	Assemblage à la phase de lancement	Arrière-plan	Peut être exclu
Segment spatial [E1a] ⁽³⁾	Transport de la navette / satellite jusqu'au site de lancement	Premier plan	Doit être inclus. Les émissions embarquées du conteneur sont incluses (allocation au nombre d'utilisations si elles sont réutilisées pour plusieurs missions) ⁵⁰
Espace et Segment sol [E1a] ⁽³⁾	Campagne de lancement	Premier plan	Doit être inclus. Seule la phase d'utilisation (exploitation de la station au sol et exploitation du centre de contrôle) correspondant à la préparation de la navette/satellite.
Segment de lancement [E1b] ⁽³⁾	Production et assemblage, campagne de lancement	Arrière-plan	Peut être exclu

⁵⁰ Par exemple, 20 fois pour des satellites de télécommunications (hypothèse par défaut selon le manuel Guide d'analyse du cycle de vie de l'ESA)

Segment de lancement [E1b] ⁽³⁾	Événement de lancement	Arrière-plan	Devrait être inclus
Segment sol [E2] ⁽⁴⁾	Utilisation des centres de contrôle des opérations aériennes pendant toute la durée de vie de la mission	Premier plan	Devrait être inclus Y compris la communication entre les stations du segment sol
Segment sol [E2] ⁽⁴⁾	Utilisation des stations au sol pendant toute la durée de vie de la mission	Premier plan	Devrait être inclus Y compris la communication entre les stations du segment sol
Segment sol [E2] ⁽⁴⁾	Utilisation de la station de traitement des données de la charge utile pendant toute la durée de vie de la mission	Premier plan	Devrait être inclus Y compris la communication entre les stations du segment sol
Segment sol [E2] ⁽⁴⁾	Utilisation du ou des centres de contrôle des données de la charge utile pendant toute la durée de vie de la mission	Premier plan	Devrait être inclus Y compris la communication entre les stations du segment sol
Segment spatial [F] ⁽⁵⁾	Fin de vie des engins spatiaux/satellites	Premier plan	Doit être inclus. Autres lignes directrices nécessaires ⁵¹
Segment sol [F] ⁽⁵⁾	Opération au sol pour fin de vie de l'engin spatial /satellite	Premier plan	Peut être jeté (supposé négligeable)
Infrastructure	Construction et fin de vie des installations de conception, de production et d'essais	Arrière-plan	Peut être exclu ⁽⁶⁾ Les émissions embarquées de biens TIC utilisés dans ces installations peuvent être exclues
Infrastructure	Construction et fin de vie des installations de lancement	Arrière-plan	Peut être exclu ⁽⁶⁾ Les émissions embarquées de biens TIC utilisés dans ces installations peuvent être exclues
Infrastructure	Construction et fin de vie des centres de contrôle de mission et d'exploitation	Arrière-plan	Devrait être inclus ⁽⁶⁾ Les émissions embarquées de biens TIC utilisés dans ces installations peuvent être exclues
Infrastructure	Construction et fin de vie des stations au sol	Arrière-plan	Devrait être inclus ⁽⁶⁾ Les émissions embarquées de biens TIC utilisés dans ces installations peuvent être exclues
Infrastructure	Construction et fin de vie du segment sol des données de charge utile	Premier plan	Devrait être inclus ⁽⁶⁾ Les émissions embarquées de biens TIC utilisés dans ces installations peuvent être exclues

(1) Phase A+B : Faisabilité + Définition préliminaire

(2) Phase C+D : Définition détaillée + Qualification et production

(3) Phase E1 : Lancement et mise en service ; Sous-phase E1a : Activités liées à la navette spatiale/satellite ; Sous-phase E1b : Activités liées au lanceur

(4) Phase E2 : Phase d'utilisation

(5) Phase F : Élimination : Cette phase couvre les activités liées à la fin de vie de la navette spatiale / satellite, la passivation ou soit la rentrée de la navette / satellite dans l'atmosphère ou son placement sur une orbite cimetière et les opérations du segment au sol associées.

(6) En général, les investissements dans les infrastructures (installations de conception, de production et d'essai, installations de lancement, centres de contrôle et d'exploitation de mission, stations au sol et stations de traitement des données de charge utile et centres de contrôle) sont évalués séparément en raison de la disponibilité des données et pourraient être inclus en tenant compte d'hypothèses d'affectation spécifiques pour refléter la part de la mission. Toutefois, dans le cas où certaines de ces installations pourraient être facilement reconfigurées pour servir à d'autres fins (par exemple, conception et fabrication de satellites d'observation de la Terre) au-delà du champ d'application du secteur des TIC, elles pourraient donc être exclues de l'évaluation.

⁵¹ À l'heure actuelle, comme il existe des lignes directrices spécifiques à l'analyse du cycle de vie pour caractériser l'impact environnemental de rentrée et/ou de placement dans une orbite de cimetière ; seuls les indicateurs de débit (par exemple, la masse sèche laissée dans l'espace et masse rentrée dans l'atmosphère) pourraient être envisagés.

Selon les études pilotes de type *screening* commandées par l'ESA, la phase [C+D], la phase [E1] et finalement la phase [E2] sont considérées comme les points chauds d'un impact environnemental d'une mission spatiale de télécommunications⁵² Les points chauds font référence à plusieurs catégories d'impact.

Une fois qu'une évaluation complète du système de mission spatiale aura été obtenue, d'autres lignes directrices méthodologiques seraient nécessaires pour traiter les questions suivantes :

- Règles de répartition pour traiter le cas des missions spatiales polyvalentes : Selon les lignes directrices de l'analyse du cycle de vie de l'ESA, le critère de masse est recommandé en règle générale pour résoudre la multifonctionnalité (par exemple, la répartition de l'impact du lanceur entre deux engins spatiaux en cas de double lancement).
- Règles de répartition pour traiter le cas des études d'évaluation des TIC au niveau des pays / groupes de pays.
- Règles de répartition pour résoudre les chevauchements potentiels entre le secteur des TIC et d'autres secteurs pour des activités spécifiques lancement de satellites/véhicules spatiaux, fret spatial et activités de soutien au transport a priori classées dans le secteur Transport et Stockage.⁵³

⁵²[C+D] et [E1] les phases sont Points chauds Considérer un score unique multicritères Évaluation (Normalisation de l'EEP et méthode de pondération); [C+D], [E1] et Les phases [E2] sont Points chauds Si nous nous concentrons sur Changement climatique.

Augustin Chanoine (Deloitte), Impact environnemental de lanceurs et missions spatiales – Clean Space Industrials Days, 2017 https://indico.esa.int/event/181/contributions/1443/attachments/1336/1561/2017_CSID_Chanoine_analyse_du_cycle_de_vie_launcher_space_missions_FV.PDF

⁵³ Conformément à la Classification internationale type, par industrie, de toutes les branches d'activité économique (CITI), Rév.4 (2008).

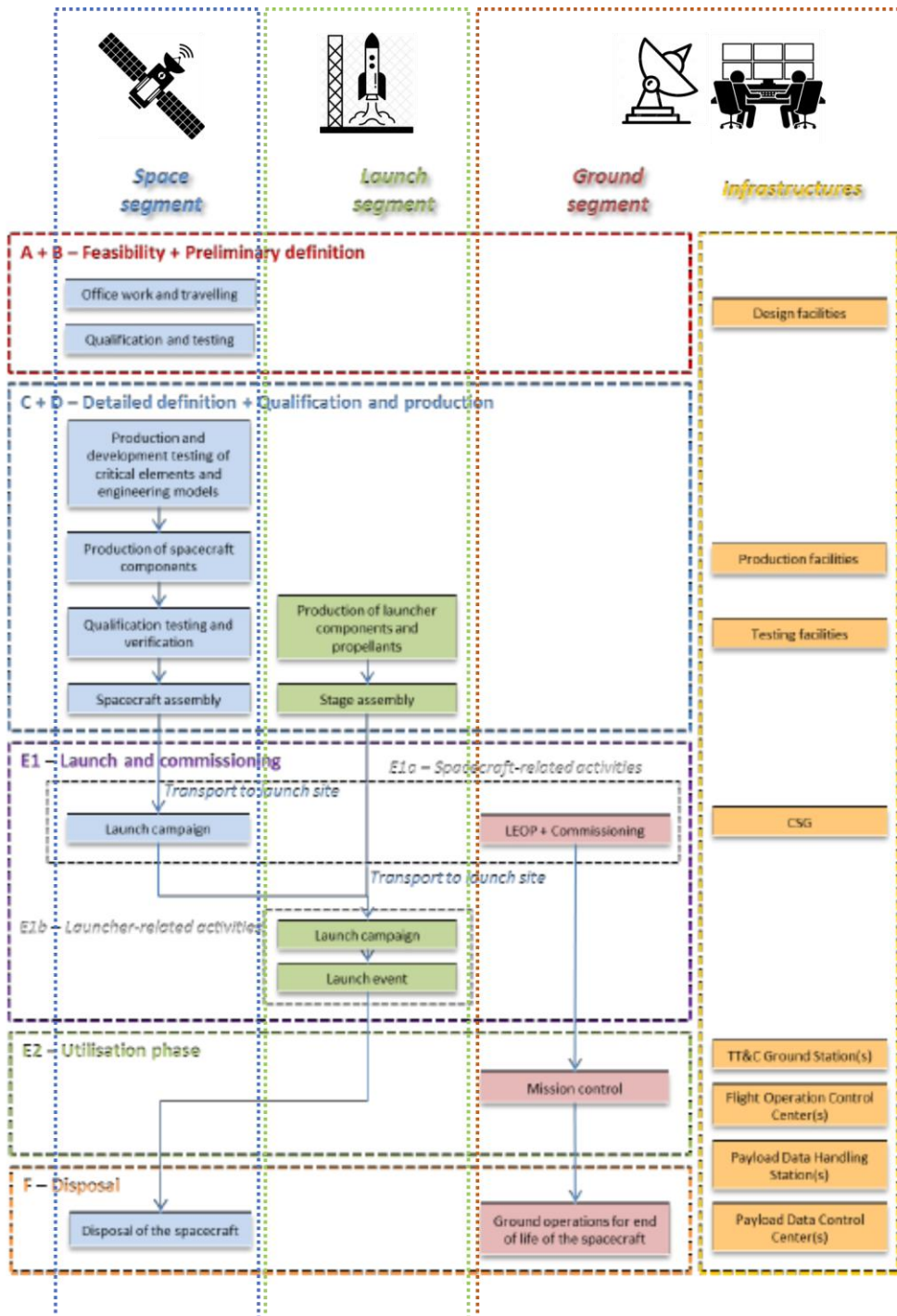


Figure IV.1 – Périmètre du système de la mission spatiale : les différentes phases/activités concernées (source : *ESA Space LCA Handbook*)



autorité de régulation
des communications électroniques,
des postes et de la distribution de la presse



A propos de l'Arcep

L'Autorité de régulation des communications électroniques, des postes et de la distribution de la presse, arbitre expert et neutre au statut d'autorité administrative indépendante, est l'architecte et la gardienne des réseaux d'échanges internet, télécoms fixes, mobiles et postaux en France.

A propos de l'ADEME

A l'ADEME – l'Agence de la transition écologique -, nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources. L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.