



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



PERIMETRE DES DISPOSITIFS DE L'INTERNET DES OBJETS VIS-A-VIS DES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DES COMMUNICATIONS

Comité d'experts techniques sur la mesure

Juillet 2024

A large, abstract graphic in the bottom right corner of the page, composed of numerous overlapping, light 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, Schneider Electric et le Shift Project.

Secrétariat du Comité : Arcep, ADEME.

Edition du Rapport: Ahmed Haddad (Arcep), Charles Joudon-Watteau (Arcep) and Erwann Fangeat (ADEME).

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 : Gillo Malpart (Mavana), David Bol (UCL Belgique) and Thibault Pirson (UCL Belgique).

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

PERIMETRE DES DISPOSITIFS DE L'INTERNET DES OBJETS VIS-A-VIS DES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DES COMMUNICATIONS

RÉSUMÉ

Un nombre croissant de dispositifs et d'appareils sont désormais capables de communiquer en réseau avec leurs pairs ou avec Internet. La connectivité intégrée devient omniprésente parmi une large gamme d'appareils électroniques, y compris l'Internet des objets (IoT), contribuant à brouiller les frontières entre le secteur des technologies de l'information et de la communication (TIC) et celui des médias et du divertissement (M&D) avec le reste des produits connectés.

Il est essentiel de préciser le périmètre des dispositifs connectés pour assurer une comptabilisation cohérente de l'empreinte carbone des secteurs des TIC et des M&D, et de la manière dont l'effort vers l'objectif de zéro émission nette est équilibré entre les secteurs. Avoir une vision claire de ces frontières floues est également nécessaire du point de vue de la résilience. C'est-à-dire comprendre dans quelle mesure notre société numérisée dépend de la connectivité.

La nécessité de formuler des recommandations pour l'élaboration de méthodologies ou de lignes directrices sur cette question a déjà été identifiée dans le rapport du comité Arcep / ADEME publié en 2023¹.

Par conséquent, le but du présent Rapport est d'accompagner les praticiens des études environnementales en leur fournissant des orientations sur la manière d'évaluer le rôle de la connectivité dans les dispositifs IoT et, provisoirement, dans l'ensemble plus large des produits connectés, tout en s'appuyant sur les Recommandations de l'UIT-T et d'autres normes pertinentes. L'évaluation de ce rôle permet de catégoriser les objets connectés au regard des TIC puis d'aborder les règles d'allocation carbone (aux TIC) en se basant, entre autres, sur le degré d'influence de la connectivité sur un produit.

Une heuristique cohérente est développée sur les dispositifs connectés pour définir les frontières et fournir en ce qui concerne les TIC un regroupement de produits au sein de l'IoT et plus largement des dispositifs connectés.

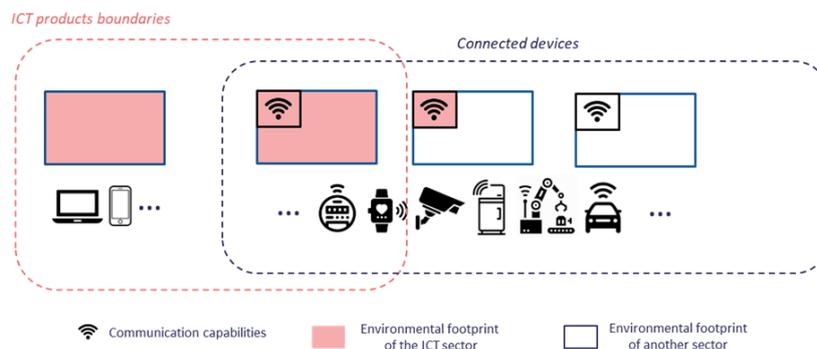
La démarche s'est déroulée en plusieurs étapes :

- Mettre l'accent sur ce que constitue un dispositif IoT parmi les dispositifs connectés ;
- Identifier les facteurs potentiels pouvant impacter la catégorisation d'un dispositif connecté / IoT, justifier leur pertinence et proposer des approches techniques pour caractériser le rôle de la connectivité vis-à-vis de ces dispositifs ;
- Combiner les facteurs identifiés dans un arbre de décision capable d'accompagner un praticien dans la tâche de catégorisation d'un appareil connecté / IoT et, par la suite, dans la tâche d'allocation de l'empreinte carbone.

Pour appuyer une définition des frontières des dispositifs IoT en ce qui concerne les TIC et les M&D et tirer parti de l'heuristique proposée, plusieurs recommandations sont proposées et portent sur :

¹ Comité d'experts techniques Arcep-ADEME, ÉVALUATION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DU SECTEUR DES TIC : ANALYSE DES ÉCARTS MÉTHODOLOGIQUES, avril 2023 [https://en.arcep.fr/uploads/tx_gspublication/environment-impact-ICT-sector-methodological-gap-analysis_april2023.pdf]

- Un label (de performance) environnementale
- Les statistiques économiques ou environnementales qui sous-tendent des politiques publiques sur l'IoT et les objets connectés
- Les politiques publiques sur la trajectoire carbone (en support des stratégies nationales bas carbone pour l'économie numérique)
- L'évaluation de l'empreinte carbone des solutions TIC basées sur l'IoT et des solutions basées sur les produits connectés
- Le développement d'une caractérisation plus fine des produits connectés écologiquement durables



Un autre objectif accessoire de ce rapport est de s'adresser à un public plus large, afin de participer à l'acculturation technique des non-experts et de favoriser une meilleure compréhension. À cette fin, des points saillants supplémentaires sont fournis dans les annexes et appendices. Ces derniers complètent la mise en œuvre de l'heuristique avec des orientations techniques et des exemples. Ils appuient également les efforts visant à clarifier la façon dont le secteur des TIC s'inscrit dans le cadre plus large de ce qui est communément appelé le « secteur numérique ».

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 suivante : ComiteExpertsMesure@arcep.fr

Historique

Edition	Approbation	Titre
1.0	2024-05-24	Périmètre des dispositifs de l'Internet des objets vis-à-vis des Technologies de l'Information et des Communications

Mots clefs

Internet des objets (IoT), produits connectés, secteur TIC, Economie numérique, catégorisation des produits, allocation de l'empreinte carbone à l'échelle sectorielle.

Citation du rapport

Arcep/ADEME Comité d'experts techniques sur la mesure de l'impact environnemental du numérique (2024). *Périmètre des dispositifs de l'Internet des objets vis-à-vis des Technologies de l'Information et des Communications*.

Table des matières

1.	Introduction et énoncé du problème	7
1.1.	Introduction et justification du flux de travail	7
1.2.	Énoncé du problème	8
1.3.	Références	9
1.4.	Termes et définitions	11
1.1.1.	Termes définis dans ce rapport	11
1.1.2.	Termes définis ailleurs	12
1.5.	Abréviations et acronymes	15
2.	Description du périmètre et de l'approche méthodologique	15
2.1.	Périmètre	15
2.1.1.	Secteur des TIC et bien TIC	15
2.1.2.	Dispositifs connectés et dispositifs IoT	16
2.1.3.	Produits connectés et systèmes de produits connectés : l'importance de fixer le périmètre ...	21
2.2.	Approche méthodologique	21
3.	Examen des approches de catégorisation des dispositifs connectés à travers cinq études	22
4.	Une heuristique pour la catégorisation des dispositifs connectés vis-à-vis des TIC	25
4.1.	Critères influents	25
4.1.1.	Qualification du dispositif en tant que IoT et catégorisation en tant que TIC ou M&D	25
4.1.2.	L'importance de la connectivité dans la réalisation de l'objectif du dispositif	26
4.1.3.	La part de la connectivité dans l'empreinte carbone du dispositif	27
4.1.4.	La part incrémentale de la connectivité dans l'empreinte carbone du service délivré par le dispositif	29
4.1.5.	Considérations liées à l'obsolescence matérielle	29
4.1.6.	Considérations liées à l'obsolescence logicielle	30
4.2.	Arbre de décision	31
4.2.1.	Présentation générale de l'arbre de décision	31
4.2.2.	Mise en œuvre de l'arbre de décision	34
4.3.	Affinements	34
5.	Paramètres contextuels pertinents pour les dispositifs IoT	36
6.	Enseignements et recommandations	37
Annexe A	42
A. 1	Secteurs des TIC/M&D et définitions des produits TIC/M&D : l'évolution historique en bref	42
A. 2	Qu'est ce qui définit le « secteur numérique » ?	47
A.2.1	Définir le périmètre du « secteur numérique » à travers ses produits	49
A.2.2	Définir le périmètre du « secteur numérique » à travers ses activités	52
A.2.3	Une approche à plusieurs niveaux pour définir le « secteur numérique »	54
Annexe B	62
B. 1	Orientations pratiques pour la modélisation détaillée de la part des émissions embarquées attribuable aux TIC	62
B. 2	Orientations pour la modélisation détaillée des émissions intrinsèques d'un dispositif connecté	65

Annex C	68
C. 1 Sur l'importance de définir les frontières du système/produit.....	68
C. 2 Recommandations spécifiques sur la mise en œuvre de l'heuristique pour un système de produits connectés.....	69
Annex D.....	71
Appendice I	72
I. 1 Exemples de cadres méthodologiques pour modéliser un dispositif connecté.....	72
I. 2 Recommandations sur la définition des fonctions et des fonctionnalités d'un produit connecté	79
I. 3 Orientations sur les méthodes simplifiées d'évaluation de la part de la connectivité dans l'empreinte carbone du dispositif connecté.....	82
I. 4 Orientations sur l'évaluation de la part incrémentale de la connectivité dans l'empreinte carbone du service fourni par le dispositif connecté	84
I. 5 Recommandations sur l'évaluation des considérations relatives à l'obsolescence matérielle et logicielle	90
I. 6 Approches possibles pour la mise en œuvre du test intermédiaire.....	92
Appendice II	95
II.1 Catégorisation des produits connectés et extension de l'heuristique	95
II.1.1 Produits natifs TIC.....	96
II.1.2 Produits M&D	96
II.1.3 Produits connectés basés TIC	96
II.1.4 Produits connectés non-basés TIC.....	96
II.1.5 Produits connectés non IoT	97
II.2 Proposition de règles d'allocation carbone.....	97
Appendice III	101
III.1 Exemples de mise en œuvre de l'heuristique	101
III.2 Exemples de cas d'usage concrets	117
III.2.1 Cas 1: Dispositifs portatifs IoT pour les soins de santé.....	117
III.2.2 Cas 2: Montre connectée pour le marché grand public	118
III.2.3 Cas 3: Compteur intelligent Linky.....	119
III.3 Exemples de système de produits connectés	121
Appendice IV	126
IV.1 Détermination du nombre de dispositifs IoT connectables en fonction des paramètres contextuels	126
IV.2 Détermination du nombre de dispositifs IoT connectables en fonction du volume d'expéditions	127
IV.3 Exemples de modèle de trafic pour les dispositifs IoT	128
Appendice V	129
Appendice VI	131
Appendice VII	133
VII.1 Adaptation de paradigme de l'heuristique pour une catégorisation généralisée	133
VII.2 Adaptation du paradigme de l'heuristique pour les règles d'allocation carbone	135
Bibliographie	136

PERIMETRE DES DISPOSITIFS DE L'INTERNET DES OBJETS VIS-A-VIS DES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DES COMMUNICATIONS

1. Introduction et énoncé du problème

1.1. Introduction et justification du flux de travail

Un nombre croissant de dispositifs et d'appareils conçus pour différents marchés sont désormais capables de communiquer en réseau avec d'autres dispositifs environnants, ou avec des passerelles acheminant leur flux de données vers un réseau plus large ou vers l'Internet. La connectivité embarquée devient, à des degrés variables, omniprésente dans les équipements électroniques, tant pour l'électronique grand public que pour les applications industrielles.

Les dispositifs connectés au réseau comprennent un large éventail de technologies et d'équipements, tels que des téléviseurs, des téléphones portables, des capteurs, des éclairages, des thermostats, des assistants vocaux, des enceintes, des caméras, etc. Certaines d'entre eux constituent de nouvelles technologies, tandis que bon nombre sont des appareils ou des dispositifs existants nouvellement dotés d'une connexion réseau. À l'ère des technologies de l'information et de la communication, le nombre de dispositifs qui interagissent avec les réseaux et entre eux augmente rapidement. Cette tendance conduit à un chevauchement entre différents domaines (Communication, Contrôle, Appareils, Médias) qui étaient auparavant disjoints, comme l'illustre Figure 1 extrait d'un rapport de l'AIE².

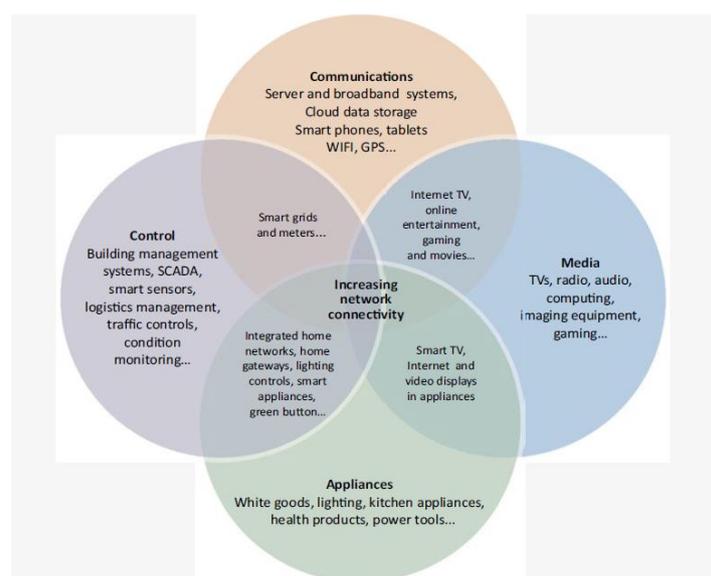


Figure 1 – Équipements connectés résultant du chevauchement du contrôle, des Communications, des Médias et des Appareils (source : AIE [TEM IEA-2019])

Le modèle de consommation énergétique total (« Total Energy Model ») développé par l'AIE [TEM IEA-2019] prévoit que le volume de dispositifs connectés sur le réseau passera d'environ 15 milliards

² Rapport 4E de l'AIE « Plus de données, moins d'énergie : rendre la veille du réseau plus économe en énergie dans des milliards de dispositifs connectés » (2014) : https://iea.blob.core.windows.net/assets/3fad2cb-c2c7-4775-947f-0b8f38be0a19/MoreData_LessEnergy.pdf

en 2018 à 46 milliards en 2030, et que parmi le volume d'objets connectés, ceux entrant dans le champ de l'Internet des objets (IoT) devraient représenter la majorité. Une telle dynamique est propulsée par une numérisation toujours plus poussée de l'économie avec un impact environnemental avéré mais difficile à évaluer avec certitude car les principaux obstacles restent le manque de données et la difficulté à définir clairement le périmètre d'évaluation [France Stratégie – 2022].

Le choix des dispositifs à inclure dans la sous-catégorie IoT peut apparaître comme arbitraire, comme le souligne [Malmodin / Lunden – 2018]. Une voiture moderne peut constituer un bon exemple pour illustrer cet enjeu (cf. Figure 2). La structure d'une automobile accueille de plus en plus de systèmes embarqués, bien qu'ils puissent servir à des fins différentes (confort et commodité, assistance à la conduite) ou prendre en charge l'exécution de différentes fonctionnalités. Ces systèmes embarqués peuvent être équipés de capacités de communication permettant à la voiture d'interagir avec son environnement proche ou des plateformes distantes, soit en mode pair à pair (par exemple, régulateur de vitesse adaptatif et alerte de collision, aide au stationnement / marche arrière, etc.) ou sur Internet (par exemple, télématique, accès à Internet, reconnaissance vocale, GPS, système d'appel d'urgence eCALL, etc.). Dans ce cas, la question est donc de savoir si tous, certains ou aucun de ces dispositifs doivent être considérés comme faisant partie des secteurs des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) ou des médias et contenus. Il est essentiel de clarifier le périmètre des appareils connectés pour assurer une comptabilisation cohérente de l'empreinte des secteurs des TIC et des Médias et du Divertissement (M&D)³ et comment les efforts pour atteindre l'objectif de zéro émission nette sont répartis entre les secteurs.



Figure 2 – Une illustration des différentes fonctionnalités / caractéristiques d'une voiture connectée

1.2. Énoncé du problème

Dans son rapport [Comité ARCEP / ADEME – 2023], le Comité a identifié la classification des dispositifs IoT dans le secteur des TIC (et largement dans le secteur du M&D) ainsi que l'approche d'évaluation (périmètre et allocation) comme un enjeu potentiellement majeur, en particulier avec le nombre croissant attendu de connexions liées aux dispositifs IoT par rapport au nombre total de connexions.

Approcher le sujet de l'impact de l'IoT « nécessite des considérations supplémentaires pour définir le périmètre, éviter le double compte des dispositifs avec d'autres secteurs (par exemple, le secteur des appareils électroménagers) et prendre en considération l'impact du profil matériel d'un dispositif IoT

³ Appelé aussi dans certains articles (par ex. [Malmodin / Lunden – 2018]) Secteur des médias et du contenu. Dans le rapport, « les médias et le contenu » et « les médias et le divertissement » sont des termes équivalents.

(par exemple, l'IoT alimenté par le secteur et l'IoT alimenté par batterie peuvent présenter une différence significative en termes d'évaluation de l'impact, quels principes d'allocation lors de la détermination de la part pertinente de l'empreinte d'un dispositif IoT, etc.) » (cf. Comité ARCEP / ADEME – 2023)

Il est donc nécessaire de proposer des orientations sur l'élaboration de méthodologies concernant le périmètre de l'Internet des objets (IoT) par rapport aux secteurs des TIC et des M&D et à d'autres secteurs (par exemple, le secteur du commerce commercial) ; en outre, la complexité du concept d'abonnement en ce qui concerne l'IoT peut mériter une attention particulière.

Le flux de travail considère les hypothèses suivantes :

- Se concentrer d'abord sur le secteur des TIC avant d'étendre au secteur des médias et du divertissement (M&D).
- Objectif principal du flux de travail : l'IoT et plus largement les dispositifs connectés (voir les définitions et le chapitre 2).

L'un des objectifs de ce flux de travail est de fournir aux praticiens des études environnementales dans les domaines des TIC et des M&D, des suggestions et des perspectives pour enrichir leur réflexion afin de les aider à prendre en compte l'IoT et, potentiellement l'ensemble plus large des produits connectés, tout en tirant parti des Recommandations UIT-T et d'autres normes pertinentes.

Un autre objectif accessoire de ce rapport est de s'adresser à un public plus large que les praticiens des études environnementales, afin de participer à l'acculturation technique des non-experts et de favoriser une meilleure compréhension. À cette fin, certains éléments supplémentaires sont fournis dans les appendices et les annexes.

1.3. Références

- **[OECD -2011]** OCDE (2011), OECD Guide to Measuring the Information Society 2011, OECD Publishing, Paris
<https://doi.org/10.1787/9789264113541-en>.
- **[ITU L.1450]** ITU L.1450 (2018): Methodologies for the assessment of the environmental impact of the information and the communication technology sector.
<https://www.itu.int/rec/T-REC-L.1450>
- **[ITU L.1410]** ITU L.1410 (2014): Methodology for environmental impact assessment of ICT goods, networks and services.
<https://www.itu.int/rec/T-REC-L.1410-201412-I/fr>
- **[ITU L.1023]** ITU L.1023 (2020): Assessment method for circular scoring.
<https://www.itu.int/rec/T-REC-L.1023-202308-I/en>
- **[GHGP- ICT Guidance – 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>
- **[ITU-T Y.4101/Y.2067]** ITU Y.4101/Y.2067 (2017): Common requirements and capabilities of a gateway for Internet of things applications.
<https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.4101-201710-I/en>
- **[ITU-T Y.2060]** ITU Y.4000/Y.2060 (2012): Overview of the Internet of things
<https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-I>

- **[IEC 62301-2011]** IEC 62301:2011 Edition 2.0: Household electrical appliances – Measurement of standby power (01/2011)
<https://webstore.iec.ch/publication/6789>
- **[NF EN 16271 -2013]** AFNOR NF EN 16271 :2013, Value management - Functional expression of the need and functional performance specification - Requirements for expressing and validating the need to be satisfied within the process of purchasing or obtaining a product (02/2013)
- **[ISO 14067 – 2018]** ISO 14067:2018 Greenhouse gases – Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification (2018)
- **[ILCD – 2011]** ILCD Handbook, General guide for life cycle assessment – Detailed guidance, JRC (2010)
<https://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-General-guide-for-LCA-DETAILED-GUIDANCE-12March2010-ISBN-fin-v1.0-EN.pdf>
- **[EN 45553]** EN 45553:2020, General method for the assessment of the durability to remanufacture energy-related products
<https://www.en-standard.eu/bs-en-45552-2020-general-method-for-the-assessment-of-the-durability-of-energy-related-products/>
- **[EC Eco-design – 2023]** Commission Regulation (EU) 2023/826 of 17 April 2023 laying down eco-design requirements for off mode, standby mode, and networked standby energy consumption of electrical and electronic household and office equipment pursuant to Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council and repealing Commission Regulations (EC) No 1275/2008 and (EC) No 107/2009
<https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32023R0826&qid=1681803866374>
- **[ITU-T Y.2061]** ITU-T Y.2061 (06/2012) Requirements for the support of machine-oriented communication applications in the next generation network environment.
<https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2061-201206-I/en>
- **[ETSI EN 303.645]** ETSI EN 303.645 V2.1.1 (2020-06) CYBER; Cyber Security for Consumer Internet of Things: Baseline Requirements
https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/303600_303699/303645/02.01.01_60/en_303645v020101p.pdf
- **[ETSI EN 103.701]** ETSI TS 103.701 V1.1.1 (2021-08) CYBER; Cyber Security for Consumer Internet of Things: Conformance assessment of baseline requirements
https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103700_103799/103701/01.01.01_60/ts_103701v010101p.pdf
- **[ITU-T Y.4451]** ITU-T Y.4451 (09/2016) Framework of constrained device networking in the IoT environments.
<https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.4451/en>
- **[ITU-T Y.4115]** ITU-T Y.4115 (04/2017) Reference architecture for IoT device capability exposure.
<https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.4115/en>

1.4. Termes et définitions

1.1.1. Termes définis dans ce rapport

- **Bien d'accueil (ou appareil d'accueil)** : Un bien spécifique à une application intégrant le dispositif IoT, par exemple un véhicule hébergeant un système d'assistance d'urgence eCall, une machine à laver connectée, un compteur intelligent pour eau/gaz/électricité, une alarme de sécurité, etc.
NOTE – Se référer au concept plus large d' « objet physique » à la section 1.4.2
- **Autre fonctionnalité (d'un produit)** : Il s'agit d'une fonctionnalité du dispositif autre que primaire.
- **Connectivité** : Échange de données par le biais d'interfaces physiques entre les humains, les appareils et les machines.
- **[Dispositif] basé TIC** : un dispositif IoT dont la connectivité est essentielle pour remplir sa fonctionnalité primaire.
NOTE 1 – Cette définition considère la mise en œuvre de l'heuristique selon une approche conservatrice. Voir la section 4 pour plus de détails.
NOTE 2 – Le concept de « dispositif basé TIC » (*ICT-enabled device*) s'inspire du concept de « service basé TIC » (*ICT-enabled service*) introduit par l'UNCTAD et défini comme « des produits de services fournis à distance via des réseaux TIC » [UNCTAD – 2015]
- **Fonctionnalité (d'un produit)** : Une fonction ou l'ensemble minimum de fonctions (d'un produit) déployé dans un contexte donné pour atteindre un objectif particulier.
NOTE – La fonctionnalité et la fonction d'un produit connecté sont des concepts similaires mais pas identiques. Pour les objectifs du présent document (c'est-à-dire le cas des « produits connectés »), le concept de « fonctionnalité » doit être privilégié par le praticien dans la mesure du possible. La pertinence du concept de « fonctionnalité » est soulignée à l'Appendice I, qui fournit également des indications supplémentaires sur la façon d'aborder la fonctionnalité d'un produit connecté à travers ses fonctions.
- **Fonctionnalité primaire (d'un produit)** : Une fonction ou l'ensemble minimum de fonctions (d'un produit) déployé dans un contexte donné pour atteindre son objectif principal (c'est-à-dire pour lequel il a été principalement conçu).
NOTE 1 – Le même produit peut avoir plus d'une fonctionnalité primaire, car le même produit peut avoir plus d'une fonction principale (par exemple, une machine combinée laveuse-sécheuse a deux fonctions principales : « Laver les vêtements » et « Sécher les vêtements »)
NOTE 2 – Par exemple, la fonctionnalité principale d'une brosse à dents est dérivée de sa fonction principale qui est le brossage des dents.
NOTE 3 – Les spécifications du fabricant du produit ainsi que le mode d'emploi / scénario d'utilisation permettent d'identifier les fonctionnalités primaires du produit.
NOTE 4 – Cette définition est valable lorsque l'on considère un produit en tant que tel, mais nécessite des précisions supplémentaires si l'on considère un produit comme faisant partie d'un service par exemple.
NOTE 5 – Les services associés [ETSI EN 303.645] d'un produit IoT font généralement partie de sa fonctionnalité primaire.
- **Produit connecté** : Un produit interagissant avec d'autres produits par le biais d'une ou de plusieurs interfaces physiques.
NOTE – Les équipements en réseau font partie des produits connectés
- **Produit IoT** : un dispositif IoT et ses services associés (définition inspirée de la norme [ETSI EN 303.645])
- **Solution numérique** : système englobant les technologies numériques, les équipements et les installations de l'économie de l'information qui contribue à répondre à un défi technique, sociétal ou commercial.
NOTE – Une solution TIC [UIT L.1480] est une solution numérique.

- **Système de produits connectés** : Un ensemble de produits connectés qui sont interconnectés pour former un système complet.

1.1.2. Termes définis ailleurs

- **Application de dispositif IoT** [GSMA – 2022] : composant logiciel d'application du dispositif IoT qui contrôle le module Communications et interagit avec une plateforme de services IoT via le module de Communication.
- **Approche économique entrées-sorties** [UIT L.1410] : Méthode utilisant des tableaux, appelés Tableaux Entrées-Sorties (TES), qui décrivent les transactions financières entre les secteurs économiques d'une économie nationale, pour estimer les impacts environnementaux.
- **Biens TIC** [UIT L.1410] : Biens matériels dérivés ou utilisant des technologies consacrées à ou concernant :
 - L'acquisition, le stockage, la manipulation (y compris la transformation), la gestion, le déplacement, le contrôle, l'affichage, la commutation, l'échange, la transmission ou la réception d'une diversité de données ;
 - Le développement et l'utilisation du matériel, des logiciels et des procédures associés à cette livraison ; et
 - La représentation, le transfert, l'interprétation et le traitement des données entre les personnes, les lieux et les machines, en notant que le sens attribué aux données est préservé lors de ces opérations.

NOTE – Les termes « biens TIC natifs » et « biens TIC » sont utilisés de manière interchangeable.

- **Communication entre machines (M2M)** [GSMA – 2022] : Le Machine-to-Machine (M2M) fait partie intégrante de l'Internet des objets (IoT) et décrit l'utilisation d'applications rendues possibles par la communication entre deux ou plusieurs machines. La technologie M2M connecte les machines, les dispositifs et les appareils sans fil via une variété de canaux de communication, y compris IP et SMS, pour fournir des services avec une intervention humaine directe limitée, transformant ces dispositifs en actifs intelligents qui ouvrent un éventail de possibilités pour améliorer la gestion des entreprises.
- **Composant** [ETSI TR 103 679] : Partie d'un produit qui ne peut être démontée sans la destruction ou l'altération de l'usage auquel elle est destinée.
- **Couche réseau** [UIT-T Y.2060] : Dans le cadre du modèle de référence de l'IoT, il s'agit des deux types de capacités suivants :
 - Capacités de mise en réseau : fournissent des fonctions de contrôle pertinentes de la connectivité réseau, telles que les fonctions de contrôle des ressources d'accès et de transport, la gestion de la mobilité ou l'authentification, l'autorisation et la comptabilité (AAC).
 - Capacités de transport : concentrées sur la fourniture d'une connectivité pour le transport d'informations de données spécifiques aux services et aux applications IoT, ainsi que pour le transport d'informations de contrôle et de gestion liées à l'IoT.
- **Dispositif IoT grand public** [ETSI EN 303 645] : Dispositif IoT connecté au réseau (et connectable au réseau) qui a des relations avec des services associés et qui est utilisé par le consommateur généralement à la maison ou comme dispositif portable.

NOTE 1 : Les appareils IoT grand public sont également couramment utilisés dans des contextes professionnels. Ces appareils restent classés comme des appareils IoT grand public.

NOTE 2 : Les appareils IoT grand public sont souvent disponibles pour le consommateur à l'achat au détail. Les appareils IoT grand public peuvent également être mis en service et / ou installés à des fins professionnelles.

- **Économie circulaire** [UIT L.1023] : Économie qui clôt la boucle entre les différents cycles de vie grâce à la conception et aux actions / pratiques d'entreprise qui permettent le recyclage et la réutilisation pour un emploi plus efficace des matières premières, des biens et des déchets. Le concept d'économie circulaire fait la distinction entre les cycles techniques et biologiques,

l'économie circulaire est un cycle de développement continu et positif. Il préserve et améliore le capital naturel, optimise le rendement des ressources et minimise les risques du système en gérant les stocks finis et les flux renouvelables, tout en réduisant les flux de déchets.

- **Empreinte carbone (d'un produit)** [ISO 14067 – 2018] : somme des émissions et des absorptions de GES dans un système de produits, exprimée en équivalents CO₂ et basée sur une analyse du cycle de vie utilisant la seule catégorie d'impact du changement climatique
- **Équipement en réseau** [Éco-conception CE – 2013] : Équipement pouvant se connecter à un réseau et disposant d'un ou plusieurs ports réseau.
- **Fonction (d'un produit)** [NF EN 16271 -2013] : action d'un produit ou de l'un de ses constituants exprimés exclusivement en termes de finalité.

NOTE 1 : Se reporter à l'Appendice I pour une autre définition du point de vue énergétique [IEC 62301-2011]

NOTE 2 : Les fonctions du produit peuvent être classées en différentes catégories (telles que « fonctions principales », « fonctions secondaires » ...), voir l'Appendice I pour plus de détails sur les catégories de fonctions.

- **Interface physique** [ETSI EN 303 645] : port physique ou interface air (radio, audio ou optique) utilisé pour communiquer avec le dispositif au niveau de la couche physique.
- **Internet des objets (IoT)** [UIT-T Y.2060] : infrastructure mondiale pour la société de l'information, permettant des services avancés en interconnectant des objets (physiques et virtuels) sur la base des technologies de l'information et de la communication interopérables existantes et en évolution.

NOTE 1 – Grâce à l'exploitation des capacités d'identification, de capture de données, de traitement et de communication, l'IoT utilise pleinement les objets pour offrir des services à toutes sortes d'applications, tout en garantissant le respect des exigences de sécurité et de confidentialité.

NOTE 2 – D'un point de vue plus large, l'IoT peut être perçu comme une vision technologique et sociétale.

- **Isolable** [ETSI EN 303 645] : pouvant être retiré du réseau auquel il est connecté, lorsque toute perte de fonctionnalité causée est liée uniquement à cette connectivité et non à sa fonction principale ; alternativement, pouvant être placé dans un environnement autonome avec d'autres dispositifs si et seulement si l'intégrité des dispositifs dans cet environnement peut être assurée.

EXEMPLE : Un réfrigérateur intelligent a une interface à écran tactile connectée au réseau. Cette interface peut être supprimée sans empêcher le réfrigérateur de garder le contenu au frais.

- **LPWAN** [AIE – 2017] : Les réseaux LPWA offrent une faible consommation d'énergie et une couverture étendue, et sont conçus pour les applications IoT et M2M qui offrent de faibles débits, une longue durée de vie de la batterie, et à faible coût.
- **Module de connectivité** [GSMA-2022] : (alias module de communication) Le composant de communication IoT qui fournit la connectivité. Comprenant le micrologiciel du module de communication, les puces (« chipsets ») de technologie sans fil ou filaire et les cartes à circuit intégré universelles (UICC).
- **Objet** [UIT-T Y.2060] : En ce qui concerne l'Internet des objets, il s'agit d'un objet du monde physique (objets physiques) ou du monde de l'information (objets virtuels), qui peut être identifié et intégré dans des réseaux de communication.

NOTE : Selon la norme [UIT-T Y.2060], un objet peut être des objets physiques (objets du monde physique) ou des objets virtuels (objets du monde de l'information).

- **Objet physique** [UIT-T Y.2060] : Les objets physiques existent dans le monde physique et peuvent être détectés, actionnés et connectés. Des exemples d'objets physiques incluent le milieu environnant, les robots industriels, les marchandises et le matériel électrique.

NOTE 1 : Selon la [UIT-T Y.2066], les objets physiques peuvent être instanciés en « objets artificielles » et « objets naturelles », où un objet artificiel est un objet physique produit par l'homme et qui peut être identifié par un numéro de série de produit.

NOTE 2 : Le bien d'hébergement (ou le dispositif d'hébergement) est un exemple d'objet physique (artificiel).

- **Pièce (d'un produit)** [ETSI TR 103 679] : Sous-unité d'un produit.
- **Passerelle** : Une unité de l'Internet des objets qui interconnecte les appareils aux réseaux de communication. Elle effectue la traduction nécessaire entre les protocoles utilisés dans les réseaux de communication et ceux utilisés par les dispositifs (définition extraite de la [UIT-T Y.4101 / Y.2067]).

NOTE : Selon la norme [UIT-T Y.2060], la passerelle est un type spécifique de dispositif IoT, elle fait partie de la couche « dispositif ». Conformément à la [UIT-T Y.4101], la passerelle peut se trouver à l'interface entre deux réseaux locaux ou entre un réseau local et un réseau de communication étendu (WAN).

- **Plateforme de services IoT** [GSMA – 2022] : plateforme de services, hébergée par le fournisseur de services IoT, qui communique avec un dispositif IoT pour fournir un service IoT. La plateforme de services IoT peut échanger des données avec l'application du dispositif IoT sur le réseau et via le module de communication, en utilisant (entre autres) des protocoles IP sur un canal de données à commutation de paquets. En outre, la plateforme de services IoT offre généralement des fonctionnalités de gestion des dispositifs, agissant comme un serveur de gestion de ces derniers. Enfin, la plateforme de services IoT propose généralement des API pour les applications serveur IoT afin d'échanger des données et d'interagir avec les applications de dispositifs IoT.
- **Reconditionnement** [UIT L.1024] : Restituer à un produit [ou composant] usagé au moins à ses performances d'origine avec une garantie équivalente ou supérieure à celle du produit nouvellement fabriqué.
- **Remise à niveau** [b-EN 45554] : Processus d'amélioration de la fonctionnalité, des performances, de la capacité ou de l'esthétique d'un produit.
- **Réseau actif** [TEM-IEA – 2019]) : Le réseau actif est une condition dans laquelle un appareil communique avec un autre appareil sur un réseau.
- **Réutilisation** [b-EN 45554] : Procédé par lequel un produit ou ses pièces, ayant atteint la fin de leur première utilisation, sont utilisés dans le même but que celui pour lequel ils ont été conçus.
- **Services associés** [ETSI EN 303 645] : Services numériques qui, avec le dispositif, font partie du produit IoT grand public global et qui sont généralement nécessaires pour fournir la fonctionnalité prévue du produit.

EXEMPLE 1 : Les services associés peuvent inclure des applications mobiles, l'informatique en nuage et le stockage et des interfaces de programmation d'applications (API) tierces.

EXEMPLE 2 : Un appareil transmet des données de télémétrie à un service tiers choisi par le fabricant de l'appareil. Ce service est un service associé.

- **Solution TIC** [UIT L.1480] : Système englobant des biens TIC, des réseaux TIC et / ou des services TIC qui contribue à relever un défi technique, sociétal ou commercial.
- **UICC** [UIT-T Y.2061] : Carte à circuit intégré universelle. Dispositif physiquement sécurisé, une carte à puce qui peut être insérée et retirée du terminal. Elle peut contenir une ou plusieurs applications. L'une des applications peut être un USIM.
- **Veille réseau** [Éco-conception CE – 2023] : condition dans laquelle l'équipement est capable de reprendre une fonction au moyen d'un déclenchement activé à distance à partir d'une connexion réseau.

NOTE : Cette définition, utilisée dans le présent document, ne préjuge pas de la façon dont le produit à l'étude est alimenté (c.-à-d. alimenté par le secteur ou par batterie).

1.5. Abréviations et acronymes

- **4R** : Recyclage, Réutilisation, Reconditionnement et Remise à niveau
- **M&D** : Médias et divertissement
- **FdV** : Fin de vie
- **LPWAN** : (*Low Power Wide Area Networks*) Réseaux étendus à basse consommation
- **TIC** : Technologies de l'information et de la communication
- **UICC** : (*Universal Integrated Circuit Card*) Carte à circuit intégré universelle

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. Description du périmètre et de l'approche méthodologique

2.1. Périmètre

2.1.1. Secteur des TIC et bien TIC

Conformément à la Recommandation UIT-T L.1450, la définition du secteur des TIC suit la définition sectorielle donnée par l'OCDE qui est basée sur les classes Rev 4.0 de la nomenclature CITI en vigueur depuis 2007⁴. Les définitions ont été élaborées par le Groupe d'experts des classifications du Groupe de travail des indicateurs fondamentaux relatifs aux TIC (GTISI) ils prennent en compte *les produits TIC*⁵ et les *produits de contenu et de médias (ou M&D)*. Actuellement, la définition des produits TIC comprend 10 grandes catégories et 99 produits.

Selon l'OCDE [OCDE-2011], le principe directeur suivant est utilisé pour identifier les produits TIC (adapté du principe directeur convenu pour le secteur des TIC) :

« Les produits TIC doivent être principalement destinés à remplir la fonction de traitement de l'information et de communication par des moyens électroniques, y compris la transmission et l'affichage ».

Le principe directeur des produits TIC (et du secteur des TIC) met en évidence la connectivité (*« communication par des moyens électroniques, y compris la transmission »*) comme l'un de ses principaux piliers.

L'annexe A présente l'évolution historique des secteurs des TIC et des M&D ainsi que des produits TIC et des produits M&D.

⁴ Au moment de la publication du présent rapport, la nomenclature CITI en vigueur depuis 2007 fait l'objet d'une révision.

⁵ Le terme « Produit » fait référence à des biens ou services.

2.1.2. Dispositifs connectés et dispositifs IoT

a) Dispositifs connectés

Les dispositifs connectés sont des appareils électroniques grand public, des appareils électroménagers et d'autres équipements, y compris à des fins industrielles, qui peuvent interagir avec leur environnement distant ou proche. Si, jusqu'à récemment, seuls quelques dispositifs étaient généralement connectés aux réseaux de communication, une variété croissante de dispositifs, d'appareils et d'infrastructures grand public et industriels dans tous les secteurs sont connectés à Internet et entre eux, ce qui est rendu possible par la diffusion généralisée de l'Internet haut débit, ainsi que de l'accès sans fil et mobile.

Dans son rapport « *Digitalization & Energy* » [AIE – 2017], l'AIE emploie la classification suivante pour les dispositifs connectés : « *En parlant de la consommation d'énergie des dispositifs connectés (en tant que segment des TIC), il est utile de distinguer deux types de dispositifs connectés : les « équipements électroniques de périphérie », dont la fonction principale est le stockage / l'utilisation des données, tels que les ordinateurs portables et les smartphones, et « d'autres équipements de périphérie », dont les fonctions principales ne sont pas liées aux données, tels que les appareils de cuisine et les voitures connectés* ».

b) Dispositifs IoT

Selon [UIT-T Y.2060], en ce qui concerne l'Internet des objets, un dispositif IoT est un équipement doté de capacités de communication obligatoires et de capacités facultatives de détection, d'actionnement, de saisie de données, de stockage et de traitement de données.

Le facteur déterminant d'un dispositif IoT est qu'il peut effectuer un certain type de traitement numérique et, grâce à ses capacités de communication, peut être identifié et intégré dans des réseaux de communication. C'est ce qui le distingue des appareils physiques (électroniques) ordinaires qui ne sont dotés que de quelques circuits et éventuellement d'une pile ou batterie. Parmi ces dispositifs IoT citons les stimulateurs cardiaques, les terminaux de point de vente, les réfrigérateurs intelligents, les vélos intelligents, les moniteurs d'activité, les compteurs électriques intelligents, les terminaux de stationnement intelligents, etc.

NOTE 1 : Bien que les termes systèmes IoT / dispositifs IoT soient parfois utilisés de manière interchangeable, les dispositifs IoT font partie d'un système plus vaste pour un cas d'utilisation donné. En permettant à un stimulateur cardiaque de communiquer avec le monde extérieur via une passerelle, par exemple en transmettant des données de rythme cardiaque à une base de données centrale, tous ces biens (y compris le réseau) se transforment en un système IoT.

NOTE 2 : Les capacités de communication d'un dispositif IoT peuvent être utilisées par le dispositif pour se connecter à Internet ou non. Les capacités de communication peuvent inclure la communication via des réseaux sans fil ou fixes (tels qu'Ethernet, Profibus, Profinet).

Les étapes générales de fonctionnement d'un terminal IoT, en ce qui concerne les données, comprennent l'acquisition, le traitement, le stockage et la transmission des données. La première et la dernière étape existent sur tout dispositif IoT, tandis que le traitement et le stockage peuvent exister ou non dans certaines applications.

[UIT-T Y.4460] dérive des modèles de référence architecturaux pour les trois types d'équipements IoT mentionnés dans la Figure 3. Les modèles de référence architecturaux définissent les principales entités fonctionnelles du dispositif IoT et peuvent servir de conception de référence pour la mise en œuvre du dispositif IoT.

NOTE : Les modèles de référence architecturaux définissent les principales entités fonctionnelles « logiques » du dispositif IoT et peuvent servir de conception de référence pour la mise en œuvre du dispositif IoT. Cependant, d'un point de vue

matériel, ces entités « logiques » fonctionnelles doivent être mappées sur des entités « matérielles » fonctionnelles (car différentes entités « logiques » fonctionnelles peuvent être exécutées par la même entité « matérielle » ou une entité fonctionnelle « logique » donnée peut être exécutée par plus d'une entité « matérielle »). L'Annexe B fournit une approche possible pour modéliser un dispositif IoT en fonction de ses entités matérielles.

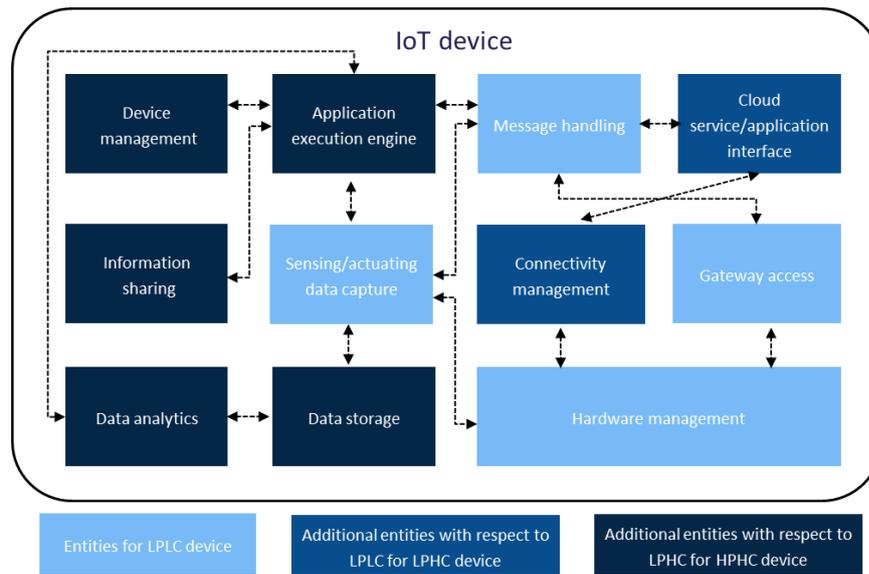


Figure 3 – Modèle de référence architectural montrant les entités logiques fonctionnelles des trois types d'équipements IoT du point de vue de leurs capacités de traitement et de communication selon la norme [UIT-T Y.4460].

Exigences pour la qualification IoT

La Figure 4 illustre une architecture générique de haut niveau d'un dispositif connecté au sein de l'IoT interagissant avec l'infrastructure TIC (réseaux et centres de données). Un dispositif connecté est constitué d'un dispositif d'hébergement (par exemple l'appareil électroménager) embarquant un ou plusieurs dispositifs IoT, qui peuvent être représentés de manière modulaire (*firmware* du dispositif IoT / logiciel embarqué, module microcontrôleur, module de détection, alimentation, ...). Le module de connectivité est composé de plusieurs puces de communication et d'un micrologiciel de connectivité. Dans la Figure 4, les réseaux de communication offrent des capacités de transfert de données fiables et efficaces. L'infrastructure du réseau IoT peut être réalisée par le biais de réseaux existants, tels que les réseaux TCP / IP conventionnels, et / ou de réseaux évolutifs, tels que les réseaux de nouvelle génération (RNG) [b-UIT-T Y.2001].

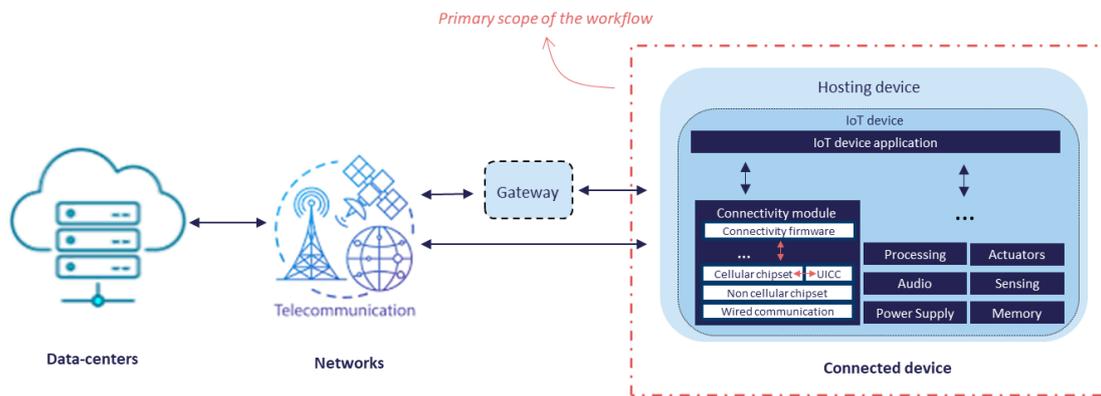


Figure 4 – Illustration d'un dispositif connecté au sein de l'IoT

Modèle de référence IoT [UIT-T Y.2060] : La Figure 5 présente le modèle de référence de l'IoT. Ce modèle comprend quatre couches auxquelles sont associées des capacités de gestion et de sécurité. Les quatre couches sont les suivantes :

- Couche application ;
- Couche de prise en charge des services et des applications ;
- Couche réseau ;
- Couche dispositif.

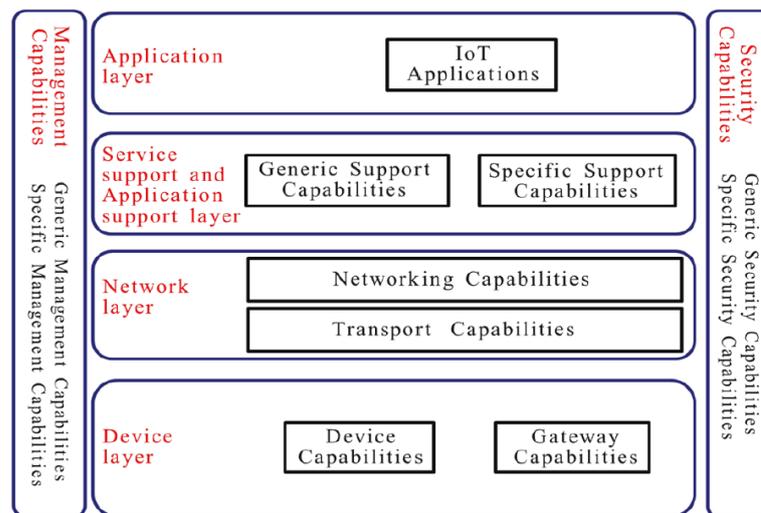


Figure 5 – Modèle de référence de l'IoT [UIT-T Y.2060]

Conformément à la [UIT-T Y.2060], une infrastructure IoT comprend les éléments essentiels suivants, ce qui permet une caractérisation initiale d'une solution IoT :

- (1) L'application de dispositif IoT et l'application IoT hébergée sur une plateforme de services IoT (par exemple, un serveur situé dans un centre de données) ou au sein d'un équipement d'exposition des capacités (*Device Capabilities Exposure* (DCE)) du dispositif IoT interagissent ensemble dans le cadre de la couche application de la solution IoT.
- (2) Réseau de communication reliant la plateforme de services IoT soit directement au dispositif connecté à l'IoT, soit à une passerelle, qui effectue la traduction nécessaire entre les protocoles utilisés dans le réseau de communication et ceux utilisés par le dispositif IoT. Ce réseau de communication fait partie de la couche réseau de la solution IoT et doit être

conforme ou similaire à la couche 3 du modèle OSI⁶ (par exemple, le transfert et le routage de paquets utilisant généralement l'IP avec éventuellement des technologies d'accès radio comme la 4G, la 5G).

- (3) Connectivité basée sur l'identification : La connectivité entre un objet (c'est-à-dire IoT) et l'IoT est établi en fonction de l'identifiant (unique) de l'objet.

NOTE : L'identification est une caractéristique importante pour être qualifié de dispositif IoT. Dans le cadre de la version 19, le 3GPP travaille sur l'intégration de dispositifs IoT basés sur l'alimentation ambiante dans les réseaux cellulaires 5G / 6G (appelés « Ambient IoT ») avec des capacités et des cas d'utilisation équivalents aux terminaux RFID / NFC.

- (4) Différentes topologies et structures de réseau peuvent être envisagées sous l'égide de l'IoT, notamment : les réseaux ad-hoc, les réseaux de dispositifs avec communications directes, les réseaux de dispositifs limités isolés ou connectés, etc. Dans le cas d'un réseau de dispositifs contraint tel que spécifié dans la [UIT-T Y.4451], une « couche d'adaptation » dans la pile de protocoles est nécessaire pour émuler les fonctions généralement liées aux architectures de réseau et aux caractéristiques de réseau (telles que la compression d'en-tête de paquet, la fragmentation de paquets, l'adressage de réseau...).

- (5) Selon la norme UIT Y.2060, « les dispositifs IoT peuvent, par exemple, communiquer avec d'autres dispositifs au moyen d'une liaison directe sur un réseau local (c'est-à-dire un réseau assurant une connectivité locale entre les dispositifs eux-mêmes et entre ceux-ci et une passerelle, comme un réseau ad-hoc) ». Dans ce cas, la solution doit être conforme à l'architecture de référence de l'IoT DCE telle que spécifiée dans la Recommandation UIT-T Y.4115 [UIT-T Y.4115].

L'ensemble complet des exigences communes de l'IoT est détaillé dans la Recommandation UIT-T Y.2066⁷. Outre les Recommandations UIT-T susmentionnées, le praticien peut se référer à des exigences plus spécifiques pour les cas d'utilisation liés aux :

- Dispositifs portatifs IoT (IoT grand public) : Se référer à la Recommandation UIT-T Y.4117⁸.
- Dispositifs IoT industriels : Se référer à la Recommandation UIT-T Y.4003⁹.
- Dispositifs IoT pour l'automobile et les systèmes de transport intelligent (ITS) : Se référer à la Recommandation UIT-T Y.2281¹⁰.
- Dispositifs IoT communiquant par lumière visible : Se référer à la Recommandation UIT-T Y.4465¹¹ et à la Recommandation UIT-T Y.4474¹².

L'Appendice III illustre la mise en œuvre de cette caractérisation initiale à travers des exemples de dispositifs connectés.

⁶ Modèle d'interconnexion des systèmes ouverts

⁷ <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2066-201406-I/en>

⁸ <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.4117-201710-I/en>

⁹ https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=s&id=T-REC-Y.4003-201806-I!!PDF-E&type=items

¹⁰ https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-Y.2281-201101-I!!PDF-E&type=items

¹¹ https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-Y.4465-202001-I!!PDF-E&type=items

¹² https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-Y.4474-202008-I!!PDF-E&type=items

Catégories d'équipements IoT

Les dispositifs IoT peuvent être classés selon différentes perspectives :

- Les dispositifs IoT peuvent être classés en fonction **de la manière dont un dispositif interagit avec les objets physiques** (équipement d'accueil). Selon la [UIT-T Y.2060], 4 types canoniques sont identifiés : dispositifs porteurs de données, dispositifs de capture de données (exemples : lecteurs infrarouges, lecteurs de cartes, lecteurs de codes-barres...), dispositifs de détection et d'actionnement (exemples : capteurs et actionneurs) et dispositifs généraux (où des capacités de communication et de traitement sont intégrées dans le dispositif), y compris les équipements et les appareils pour différents domaines d'application de l'IoT, tels que les machines industrielles, les appareils électroménagers et les smartphones.

Figure 6 illustre les 4 types mentionnés et leur relation avec l'objet physique.

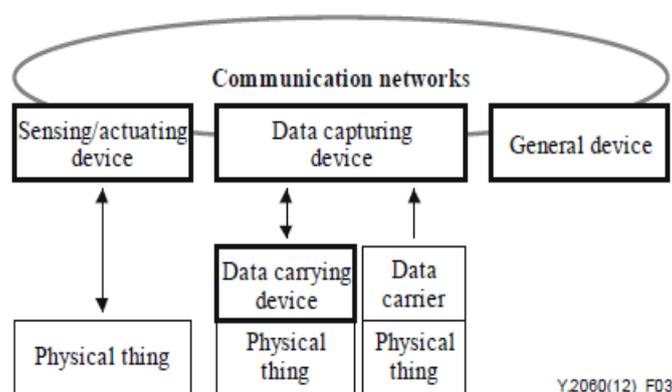


Figure 6 – Les différents types de dispositifs et leurs relations avec les objets physiques [UIT-T Y.2060]

- Les dispositifs IoT peuvent être classés, **d'un point de vue architectural, en fonction de la puissance de traitement (calcul) et de la communication**, deux capacités qui sont parmi les plus essentielles. En corrélant ces deux capacités, la norme UIT-T Y.4460 identifie 3 types de dispositifs : les dispositifs à faible capacité de traitement et à faible connectivité (LPLC – par exemple, les capteurs contraints), les dispositifs à faible capacité de traitement et à haute connectivité (LPHC – par exemple, les dispositifs dans les applications domestiques intelligentes) et les dispositifs à capacité de traitement élevée et à haute connectivité (HPHC – par exemple, une caméra de surveillance à IA intégrée).

NOTE 1 : Comme la capacité de connectivité dépend également de la capacité de traitement, la combinaison d'une capacité de traitement élevée et d'une faible connectivité n'est pas usuelle (car en général, un dispositif qui a déjà une capacité de traitement élevée aura également des capacités de connectivité élevées) conformément à la [UIT-T Y.4460].

NOTE 2 : En ce qui concerne l'Internet des objets, les dispositifs sans capacité de traitement sont des dispositifs IoT passifs (terminaux à faible coût sans microcontrôleurs) tels que les étiquettes d'identification basées sur NFC / RFID.

L'IoT au sein de l'ensemble plus large des dispositifs connectés

Il convient de noter que tous les produits connectés ne sont pas des produits IoT. Les produits TIC, les produits M&D, les produits IoT et les produits connectés peuvent se chevaucher mais font référence à des types de produits distincts, comme illustré dans Figure 7.

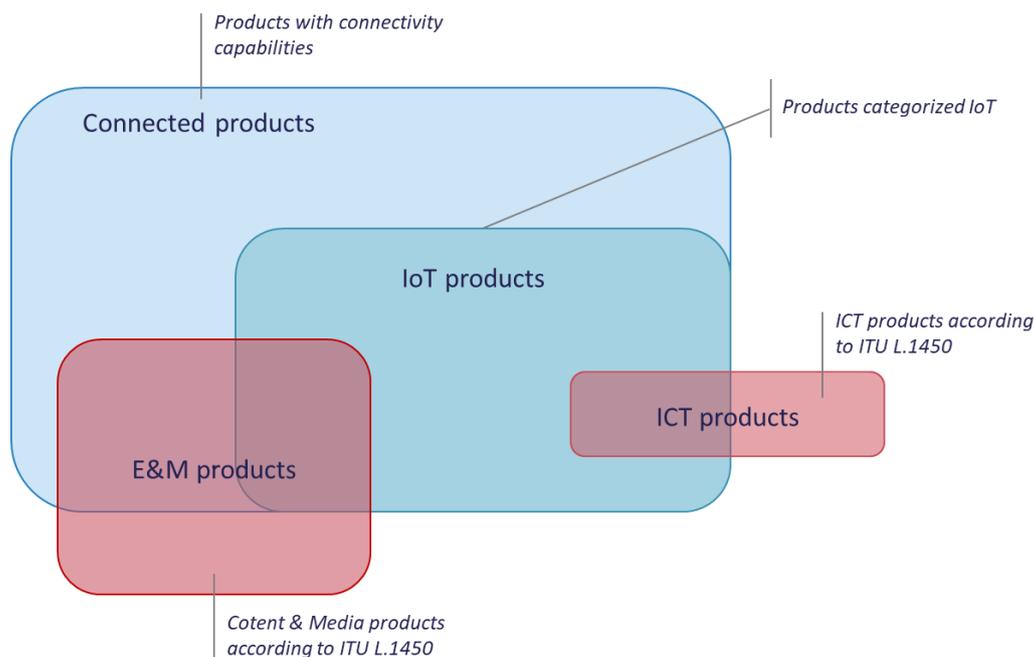


Figure 7 – Cartographie des différents types de produits : produits connectés, produits IoT, produits TIC et produits M&D (la taille de chaque article ne reflète pas la taille du marché concerné)

L'Appendice III fournit des exemples de différents types de dispositifs connectés.

NOTE : Fixer le périmètre exact des secteurs des TIC et du M&D en ce qui concerne les produits IoT et les produits connectés est complexe. Au moment de la publication de la Recommandation UIT-T L.1450 (2014), il a été considéré comme « facultatif » d'inclure la connectivité intégrée dans le périmètre des TIC, mais à mesure que ce secteur se développe, cela pourrait faire l'objet d'un examen plus approfondi.

2.1.3. Produits connectés et systèmes de produits connectés : l'importance de fixer le périmètre

Comme le montre la cartographie de la Figure 7, il existe de nombreuses sous-catégories possibles pour un produit connecté (M&D et IoT, uniquement IoT mais ni M&D ni TIC, etc.). En outre, comme indiqué dans l'introduction du présent rapport, la numérisation croissante peut conduire à des systèmes complexes composés de plusieurs produits connectés. Ainsi, lorsqu'il aborde un système de produits connectés, le praticien doit prendre soin des limites utilisées car cela peut avoir un impact sur le résultat de la classification.

D'autres recommandations sur ce sujet sont fournies à l'Annexe C, complétées par des exemples fournis à l'Appendice III.

2.2. Approche méthodologique

Le flux de travail s'effectue selon les étapes suivantes :

- (1) Décrire les approches suivies de cinq études sélectionnées pour la catégorisation des dispositifs connectés (par rapport au secteur TIC ou aux secteurs TIC/M&D) et les choix d'allocation pour la comptabilité carbone ;

- (2) Identifier les facteurs potentiels pouvant impacter la catégorisation d'un dispositif connecté / IoT, justifier leur pertinence et proposer des approches techniques sous-jacentes en matière de caractérisation ;
- (3) Combiner les facteurs identifiés et en tirer un arbre de décision capable d'appuyer un praticien dans la tâche de catégorisation ;
- (4) Mettre en évidence les principaux enseignements et formuler des recommandations pertinentes pour appuyer une définition du périmètre des dispositifs IoT en ce qui concerne les TIC et le M&D.

3. Examen des approches de catégorisation des dispositifs connectés à travers cinq études

À la connaissance du Comité, peu d'études ont abordé explicitement la question de la catégorisation des dispositifs connectés et des implications connexes en termes de comptabilisation et d'allocation de l'empreinte carbone aux secteurs des TIC et des M&D. Cinq études ont été considérées les plus pertinentes pour aborder cette question, bien que la comptabilisation de l'empreinte des dispositifs connectés et de l'IoT et la part allouée au secteur des TIC et des M&D n'aient pas été considérées comme leur objet principal.

Erreur ! Source du renvoi introuvable. résume les principales conclusions concernant la justification suivie par les cinq études en ce qui concerne la catégorisation des dispositifs connectés et l'allocation de leur empreinte au secteur des TIC.

NOTE : Le lecteur peut se référer au [Comité ARCEP/ADEME – 2023] pour une analyse comparative détaillée entre les études [Malmodin & Lundén – 2018], [The Shift Project – 2021] et [ADEME/ARCEP – 2022] concernant le périmètre de l'IoT et l'approche méthodologique de l'évaluation de l'empreinte des TIC.

Tableau 1 – Logique de la catégorisation IoT selon cinq études

Étude	Logique de la catégorisation
[Malmodin & Lundén – 2018]	<p>Pour les TIC : compteurs intelligents, appareils portatifs, terminaux de paiement, caméras de surveillance, écrans publics et projecteurs. Pour les M&D : Casques et autres appareils audio et écrans d'info-divertissement embarqués dans les véhicules. Selon les auteurs, ces appareils sont considérés comme des TIC intégrées existantes.</p> <p>L'étude reconnaît le défi de fixer des frontières entre le secteur des TIC et les autres secteurs vu le rythme croissant de la numérisation.</p> <p>Pour les distributeurs automatiques et les compteurs intelligents, les appareils de communication reliant ces produits à Internet sont comptabilisés dans l'empreinte du secteur des TIC.</p> <p>Les équipements électroniques spécifiques pour les bâtiments, les véhicules, la production, les soins médicaux, l'industrie militaire et la sécurité ne sont pas considérés comme faisant partie des secteurs des TIC ou des M&D, sauf s'ils appartiennent aux catégories générales de produits.</p> <p>L'étude a examiné un scénario futur de l'IoT tenant compte des modules de communication TIC intégrés dans des équipements et des dispositifs non-TIC représentant la connectivité des équipements et dispositifs électroniques d'autres secteurs (y compris les capteurs et les étiquettes (« tags »)) ; l'empreinte carbone évaluée a été attribuée au secteur des TIC.</p>
[The Shift Project - 2021]	<p>L'étude souligne l'essor des objets communicants IoT (connectivité embarquée dans les machines, capteurs, actionneurs, tags RFID...) ils constituent le socle de l'industrie 4.0 et de la robotique dans un milieu manufacturier.</p> <p>La liste des dispositifs est similaire à celle de l'[ADEME/ARCEP – 2022]. L'étude a pris en compte les modules de connexion intégrés sur un objet (par exemple, une ampoule intelligente, une cuisinière, etc.) ou un appareil (par exemple, un réfrigérateur, un four, etc.).</p>

[ADEME/ARCEP – 2022]	<p>L'étude comprend tous les éléments déjà énumérés dans le rapport de l'AIE / ENDA [IEA-TEM – 2019] dans la catégorie des dispositifs d'automatisation et de sécurité¹³.</p> <p>Pour l'évaluation de l'empreinte carbone, l'étude prend en compte le matériel électronique du dispositif IoT, c'est-à-dire l'ensemble des modules constituant l'appareil IoT et pas seulement le module de connectivité (actionneurs, PCB, alimentation, sécurité, mémoire, module de détection, module de traitement, boîtier, interface utilisateur, etc.) sur la base d'une approche « <i>bottom-up</i> » (ascendante) développée par Pirson & Bol¹³. Les étiquettes RFID n'ont pas été incluses en raison du manque de données. Lors de discussions avec Pirson & Bol, les auteurs ont été confrontés au manque de définitions précises pour la large gamme d'équipements considérés, car au sein d'une catégorie d'équipement, certains d'entre eux peuvent n'avoir que des fonctionnalités de base ou présenter des capacités de communication élevées (par exemple, un réfrigérateur connecté avec des capacités améliorées telles que l'affichage pour communiquer sur la gestion des stocks). Ainsi, cela peut causer une certaine incertitude.</p>
[UIT L.1470]	<p>La Recommandation [UIT L.1470] fournit des trajectoires détaillées des émissions de GES pour le secteur mondial des TIC compatibles avec l'Accord de Paris de la CCNUCC. L'Appendice III de la [UIT L.1470] détaille le calcul de l'empreinte de référence du secteur et des sous-secteurs des TIC, calculée conformément à la méthodologie décrite dans la [UIT L.1450]. Dans l'Annexe IV, cette trajectoire d'empreinte de référence est extrapolée jusqu'en 2030 en tenant compte, entre autres, du développement propre des TIC.</p> <p>En se référant à [Malmodin & Lundén – 2018], le scénario de base et son extrapolation prennent en compte les dispositifs IoT suivants : compteurs intelligents, caméras de surveillance, terminaux de paiement, projecteurs, écrans publics et dispositifs portables. Toutefois, l'inventaire va au-delà de ces dispositifs spécifiques en incluant des modules de communication TIC dans des produits non-TIC.</p> <p>L'Appendice IV indique que « dans la prochaine itération de ces travaux, tous les objets connectés devraient être inclus » [UIT L.1470]</p>

¹³ « Assessing the embodied carbon footprint of IoT edge devices with a bottom-up life-cycle approach », 2021, Thibault Pirson et David Bol.

<p>[IEA-TEM – 2019] & [IEA-TEM-2021]</p>	<p>Dans ces rapports, le problème est abordé sous l'angle de la consommation d'énergie. Si la question de la catégorisation des objets connectés par rapport aux TIC n'est pas abordée en tant que telle, la question des implications énergétiques de la connexion est abordée (cf. Cf. Section 4).</p> <p>Le rapport calcule (par modélisation) la consommation totale d'énergie supplémentaire des dispositifs connectés au réseau (c'est-à-dire la composante de la consommation d'énergie qui est supplémentaire en raison de la connexion à un réseau en état actif ou en mode veille).</p> <p>Pour les « périphériques » (désignant l'équipement TIC des utilisateurs finaux⁽²⁾ et les dispositifs de réseau local / LAN⁽³⁾), tous les modes / conditions d'utilisation de l'énergie des périphériques connectés sont pris en compte.</p> <p>Pour les « Autres périphériques » (englobant un large éventail de dispositifs connectés, y compris les appareils de divertissement⁽⁴⁾, les dispositifs de sécurité⁽⁵⁾ et l'automatisation⁽⁶⁾), tous les modes / conditions des dispositifs connectés qui existent pour prendre en charge ses fonctions lorsque ceux-ci sont connectés au réseau, en complément du fonctionnement normal du dispositif en cours d'exécution.</p> <p>Les rapports soulignent que la consommation d'énergie supplémentaire des produits résultant de la connexion de dispositifs à un réseau de communication peut être difficile à mesurer et à estimer dans la pratique. Par exemple, une caméra IP aura une consommation d'énergie associée à la caméra et aux communications réseau. Pour isoler la consommation d'énergie de la composante des communications réseau, il faudrait estimer la consommation d'énergie des communications réseau, car elle n'est généralement pas déclarée ou mesurée. En pratique, la consommation totale d'énergie du dispositif devrait être considérée comme supplémentaire, car elle ne serait pas présente sans connexion réseau (par exemple, une caméra IP connectée au réseau par rapport à une caméra de sécurité câblée à un appareil d'enregistrement). Cette simplification suppose que tous les dispositifs qui ne peuvent remplir leur fonction principale qu'avec une connexion réseau seraient considérés comme « supplémentaires » en eux-mêmes, et donc toute la consommation d'énergie est supplémentaire.</p> <p>En guise d'observations, [IEA-TEM – 2019] souligne que les dispositifs connectés multifonctionnels nécessitent des études plus approfondies car la connectivité est susceptible d'inclure d'autres fonctions au sein du dispositif (ces dispositifs multifonctions connectés au réseau peuvent être de plus en plus disponibles sur le marché). Exemple : dans le cas d'un réfrigérateur connecté intégrant un dispositif d'affichage dans la porte du dispositif, le rapport suggère que l'énergie utilisée par le dispositif d'affichage est supplémentaire (car l'affichage ne serait vraisemblablement pas présent si le réfrigérateur n'avait pas été connecté).</p>
<p>(1) Caméras IP vidéo de sécurité pour la maison, Caméras IP vidéo de sécurité pour le public / les entreprises, Serrures intelligentes de contrôle de sécurité, Chauffe-eau domotique, Lampadaires domotiques, Thermostats intelligents de climatisation domotique, Climatiseurs domotiques, Éclairages domotiques – lumière intelligente Wifi, Éclairages domotiques – lumière intelligente LPWAN, Cuisson domotique (four + table de cuisson) et hotte, Audio domotique (haut-parleurs VA), Appareils domotiques (réfrigérateurs, congélateurs, lave-linge, sèche-linge, lave-vaisselle, petits électroménagers), compteurs intelligents, capteurs pour LPWAN résidentiel, capteurs pour wifi résidentiel, capteurs industrie LPWAN, capteurs santé LPWAN, passerelles pour entreprise, passerelles LPWAN vers Wifi, contrôle des bâtiments de communication, stores + fenêtres.</p> <p>(2) Y compris les tablettes, les stockages, les PC et les téléphones portables.</p> <p>(3) Y compris les périphériques d'accès (accès intégré, modems filaires et sans fil) et autres périphériques LAN (points d'accès sans fil, routeurs, commutateurs, répéteurs).</p> <p>(4) Y compris les écrans (par exemple, les téléviseurs intelligents et l'affichage numérique), les appareils audio (par exemple, les haut-parleurs intelligents) et les appareils multimédias (par exemple, les consoles de jeux, les lecteurs multimédias STB et OTT, clés USB « cast sticks »)</p> <p>(5) Y compris les dispositifs de sécurité de contrôle (par exemple, les serrures intelligentes) et les dispositifs vidéo liés à la sécurité (par exemple, la caméra IP)</p> <p>(6) Y compris les appareils électroménagers, la cuisine, les dispositifs IoT (par exemple, passerelles, stores + fenêtres, capteurs, compteurs intelligents, etc.), les lumières intelligentes, la climatisation des espaces, les chauffe-eaux.</p>	

La variabilité observée dans cette revue souligne la nécessité de développer une méthodologie plus explicite et systématique pour aider un praticien de l'ACV à catégoriser les dispositifs connectés en ce qui concerne les secteurs des TIC et des M&D et soulève les questions suivantes :

- Tenir compte ou non d'équipements électroniques spécifiques (appareils électroniques non grand public ou appareils technologiques non polyvalents) ;
- Quelle partie inclure : la partie « communication », l'ensemble des modules constituant le dispositif IoT ou l'ensemble du dispositif connecté ? Comprendre comment la connectivité est

supplémentaire ou non au fonctionnement prévu du dispositif et la faisabilité d'isoler l'apport de la partie « connectivité ».

4. Une heuristique pour la catégorisation des dispositifs connectés vis-à-vis des TIC

4.1. Critères influents

En s'appuyant sur l'examen de la section précédente et au-delà, plusieurs critères peuvent influencer la catégorisation des dispositifs connectés dans le secteur des TIC dans le cadre d'un système IoT. Le Comité recense ci-après les facteurs prééminents, souligne leur pertinence et propose des approches techniques possibles pour étayer leur évaluation.

Ces facteurs comprennent :

- (1) La qualification du dispositif en tant que IoT et vérification si le dispositif est classé comme produit TIC ou M&D
- (2) L'importance de la connectivité dans la réalisation de l'objectif du dispositif ;
- (3) La part de la connectivité dans l'empreinte carbone du dispositif ;
- (4) La part incrémentale de la connectivité dans l'empreinte carbone du service fourni par le dispositif ;
- (5) L'obsolescence matérielle ;
- (6) L'obsolescence logicielle.

4.1.1. Qualification du dispositif en tant que IoT et catégorisation en tant que TIC ou M&D

Ce critère préliminaire remplit un premier objectif d'isoler les produits connectés qui font partie d'un système IoT ou non. Un autre objectif accessoire est alors de diviser, au sein des dispositifs catégorisés IoT, ceux qui peuvent être classés comme TIC ou M&D pour poursuivre le travail sur des cas dont la caractérisation nécessite plus de matière à réflexion.

Pour vérifier si le dispositif connecté est catégorisé dans l'IoT, le praticien doit se référer aux exigences spécifiées à la Section 2.

Pour déterminer si le produit est catégorisé dans le secteur des TIC, le praticien doit utiliser le principe directeur d'identification d'un produit TIC¹⁴ de l'OCDE, en se demandant si le dispositif connecté est principalement destiné à être utilisé à des fins de communication (« *pour remplir ou permettre la fonction de traitement de l'information et de communication par des moyens électroniques, y compris la transmission et l'affichage* » [OCDE-2011]).

NOTE : L'Annexe A de la [UIT L.1450] fournit des exemples de dispositifs IoT inclus dans le secteur des TIC.

Pour déterminer si le produit est catégorisé dans le secteur des M&D, le praticien doit se référer aux catégorisations internationales de produits existantes.

De plus amples indications sont fournies à l'Annexe A, complétée par l'Appendice V, pour la liste complète des produits TIC et M&D selon les catégorisations internationales pertinentes.

¹⁴ La définition est adaptée du principe convenu pour le secteur des TIC (voir l'Annexe A)

4.1.2. L'importance de la connectivité dans la réalisation de l'objectif du dispositif

Le rôle de la connectivité dans la réalisation des fonctionnalités primaires du dispositif est un critère important à prendre en compte dans l'appréciation. Pour certains dispositifs connectés, la connectivité est essentielle pour fournir les fonctionnalités prévues, tandis que pour d'autres, la connectivité peut être une fonctionnalité supplémentaire ou accessoire. Il n'est pas facile de faire la distinction entre une connectivité qui joue soit un rôle essentiel soit un rôle subordonné dans la réalisation des fonctionnalités primaires du produit, car il faudrait souvent une compréhension détaillée du fonctionnement du dispositif (c'est-à-dire de la façon dont il utilise ses capacités de communication) pour fournir ses fonctionnalités.

Ce critère pourrait être mis en œuvre selon ces 2 étapes :

- i. Identifier toutes les fonctionnalités du dispositif connecté ; distinguer les fonctionnalités primaires des autres fonctionnalités.
- ii. Remettre en question la nécessité de la connectivité pour remplir une fonctionnalité considérée comme « primaire » en appliquant l'heuristique. Celle-ci examine si une fonctionnalité primaire donnée peut encore être remplie en supposant que l'appareil soit définitivement hors ligne (déconnecté).

NOTE : Il est crucial d'avoir une compréhension détaillée du dispositif connecté testé, en particulier en ce qui concerne ses différents scénarios d'utilisation prévus, afin de pouvoir catégoriser ses fonctionnalités (primaire vs autres). Les sources d'information à l'appui comprennent par exemple les spécifications du fabricant / fournisseur de services.

On peut considérer que la fonctionnalité doit être considérée comme « remplie » dès lors qu'une qualité de service spécifique associée est respectée. Ainsi, lors de la mise en œuvre de ce critère, il est important de décrire au mieux la fonctionnalité testée notamment au regard de sa qualité visée ou d'autres contraintes connexes. L'Annexe I fournit des recommandations pour la caractérisation des fonctionnalités d'un produit.

Un produit IoT isolable est un produit IoT dont la connectivité n'est pas nécessaire pour remplir ses fonctionnalités primaires.

Lors de la mise en œuvre de l'heuristique, le praticien doit prendre en compte tous les autres moyens de « secours » spécifiés par le fabricant du dispositif qui sont capables de faire en sorte que le produit continue de remplir ses fonctionnalités primaires tout en étant définitivement hors ligne.

EXEMPLE : Le cas d'un capteur de fenêtre qui peut détecter l'ouverture ou la fermeture d'une fenêtre et soumet son état via ZigBee® à une plate-forme ZigBee® [ETSI TS 103.701] :

"Le capteur de fenêtre peut être déconnecté du réseau ZigBee® sur la plate-forme (« Smart Hub ») à laquelle il est connecté. Ensuite, les signaux du capteur de fenêtre ne peuvent plus affecter le réseau. Dans ce cas, capteur de fenêtre reste sa fonctionnalité primaire pour avertir un utilisateur de l'ouverture ou de la fermeture d'une fenêtre par un court bip sonore émis en cas d'un tel événement¹⁵.

L'approche décrite ci-dessus est illustrée dans Tableau 2 sous la forme d'une matrice [fonctionnalité x connectivité]. Dans cet exemple illustratif, l'appareil dispose de 4 fonctionnalités au total et est équipé de 3 types de connectivité (cellulaire, sans fil à courte portée et communication filaire). L'heuristique est appliquée aux fonctionnalités 1 et 3 (identifiées comme primaires). Il convient de noter que certaines combinaisons (fonctionnalité x solution de connectivité) peuvent ne pas être applicables dans le cas d'un type de connectivité donné ne serait pas pertinent à prendre en compte lors du test de la réalisation d'une fonctionnalité primaire donnée (par exemple, une connectivité filaire peut ne pas être pertinente pour une fonctionnalité destinée à être fournie en mode mobile).

¹⁵ La qualité du service décrit peut varier en fonction de la distance à laquelle l'utilisateur est censé entendre le bip. Comme expliqué ci-dessus, cela montre l'importance de décrire correctement les scénarios d'utilisation prévus pour conférer une plus grande robustesse au résultat de l'heuristique.

Tableau 2 - Illustration de l'application de l'approche matricielle [fonctionnalité x connectivité]

Solution de connectivité	Technologie cellulaire	Sans fil à courte portée	Connectivité filaire
Fonctionnalité n°1 - primaire	<i>Est-ce que la fonctionnalité continue à être remplie lorsque le dispositif est définitivement hors ligne ? [Oui/Non]</i>		N/A
Fonctionnalité n°2 - autre	<i>Hors du champ de l'heuristique</i>		
Fonctionnalité n°3 - primaire	<i>Est-ce que la fonctionnalité continue à être remplie lorsque le dispositif est définitivement hors ligne ? [Oui/Non]</i>		
Fonctionnalité n°4 - autre	<i>Hors du champ de l'heuristique</i>		

L'Appendice III fournit des exemples illustrant la mise en œuvre de l'heuristique pour un ensemble de dispositifs connectés.

4.1.3. La part de la connectivité dans l'empreinte carbone du dispositif

a) Emissions embarquées

L'évaluation de la part de la connectivité dans l'empreinte carbone du dispositif pourrait être un autre moyen de déterminer l'importance de la connectivité dans le profil du produit. Cela peut se faire par une approche ACV simplifiée considérant le dispositif comme un système de produit. Lors de l'évaluation de l'impact du module de connectivité, il est important d'aller au-delà du circuit intégré du modem lui-même et de prendre en compte, par le biais d'allocations pertinentes, tous les processus / composants attribuables.

L'Annexe B fournit une liste de contrôle des processus et des composants attribuables pertinents à prendre en compte pour l'évaluation. Il présente des paramètres clés et des exemples de paramètres qui peuvent être pris en compte lors de l'application de la méthode de caractérisation des composants matériels comme exemple d'une approche simplifiée pour l'évaluation des émissions embarquées [GHGP- ICT Guidance – 2017].

D'autres approches d'évaluation simplifiées possibles incluent : l'approximation du ratio carbone par d'autres ratios physiques (par exemple, la masse) ou monétaires (par exemple, le coût), l'utilisation de l'approche de déploiement de la fonction qualité et l'utilisation d'approches économiques. De plus amples indications sur ces approches alternatives sont fournies à l'Appendice I.

b) Emissions opérationnelles

L'évaluation de la phase d'usage correspond à la consommation totale d'énergie supplémentaire attribuable au dispositif connecté, lorsqu'elle résulte de la connexion de dispositifs aux réseaux. Cette approche est conforme à celle du [TEM-AIE – 2019]. L'évaluation de la phase de consommation d'énergie doit inclure à la fois l'énergie active du réseau et l'énergie de veille du réseau du dispositif (y compris les modes inactif / veille, le cas échéant). Cela peut être fait en considérant un profil d'utilisation typique d'un modèle représentatif du dispositif (par exemple, un modèle de console de jeu présente le profil d'utilisation typique suivant : 80 % du temps est associé à des modes à faible consommation avec connectivité réseau (c'est-à-dire en mode veille), 5 % en mode attente (où l'appareil est censé reprendre à tout moment, par exemple une pause de jeu), 15% du temps en mode actif (ex. jeu, menu, affichage des médias, etc.)

Il est préférable de mesurer la consommation d'énergie réelle pendant l'utilisation pour un large éventail d'utilisateurs, mais une telle approche peut être difficile à mettre en œuvre dans la pratique

en raison de problèmes d'allocation¹⁶. Dans ce cas, la consommation d'énergie peut être modélisée en tenant compte d'un scénario d'utilisation réaliste.

Lors de l'évaluation de la part de la connectivité, l'ensemble du dispositif (c'est-à-dire y compris les composants nécessaires à la réalisation des fonctionnalités primaires ou non primaires) doit être pris en compte.

Tableau 3 fournit un exemple de l'étape d'évaluation de la consommation d'énergie pour le cas d'un réfrigérateur intelligent connecté. Ce cas illustré simple se compose d'un réfrigérateur (l'appareil avec un système embarqué), équipé de capteurs de présence (pour la détection des denrées alimentaires) et d'un composant d'affichage (affiche des informations sur les articles stockés et des publicités personnalisées « poussées » par le prestataire) intégré à la porte ; le frigo intelligent est relié au Cloud par Wifi :

Tableau 3 - Exemple d'application pour un réfrigérateur intelligent connecté

Appareil	Modes	Fonction	Attribuable ?	Logique
Frigo connecté	Mode allumé	Faire circuler le réfrigérant à l'intérieur du frigo pour garder les aliments au froid	Non	La consommation énergétique de l'appareil n'est pas supplémentaire car le mécanisme de refroidissement est rempli sans qu'une connexion soit nécessaire
Frigo connecté (affichage intégré)	Mode allumé	Affichage d'informations sur les articles stockés et info-divertissement	Oui	Consommation énergétique supplémentaire car la fonctionnalité serait impossible sans la présence d'une connexion réseau
Frigo connecté (capteur de remplissage)	Réseau en veille et mode actif	Activer la détection	Oui	Consommation énergétique supplémentaire du réseau
Passerelle (routeur Wifi)	Réseau actif	Connecter l'appareil à internet	Oui (recommandé)	Toute la consommation d'énergie est supplémentaire, afin que le frigo connecté puisse communiquer

NOTE : Dans l'exemple du Tableau 3, si le mécanisme de refroidissement est régulé par un serveur distant, la consommation d'énergie du dispositif lui-même (mode On) est attribuable au module de connectivité.

¹⁶ Entre la consommation d'énergie du dispositif en lui-même et la consommation d'énergie « incrémentale » due à la connectivité. Par exemple, une caméra IP aura une consommation d'énergie associée à la caméra et aux communications réseau. Pour isoler la consommation d'énergie de la composante des communications réseau, il faudrait estimer la consommation d'énergie des communications réseau, car elle n'est généralement pas déclarée ou mesurée. En pratique, on peut supposer que la consommation d'énergie totale du dispositif devrait être considérée comme supplémentaire, car elle ne serait pas présente sans connexion réseau.

4.1.4. La part incrémentale de la connectivité dans l’empreinte carbone du service délivré par le dispositif

Ce critère prend en compte la part incrémentale de la connectivité dans l'empreinte carbone du service fourni par le dispositif connecté. L'impact de la connectivité ne doit pas se limiter à l'appareil lui-même, mais doit également inclure les impacts de l'utilisation du réseau et des plateformes de centre de données (car la plupart des dispositifs IoT / connectés sont exploités dans le Cloud). Ce critère prend en compte un périmètre plus large du système de produit, c'est-à-dire une vue d'ensemble du système englobant : l'appareil, les dispositifs compagnons/appariés ou la passerelle (le cas échéant), le réseau et le centre de données.

Ce critère est testé en calculant la part incrémentale de la connectivité dans l'ensemble du système de produits. La part incrémentale fait référence au rapport entre l'empreinte carbone supplémentaire et la connectivité par rapport à l'empreinte carbone d'un modèle (hypothétique) non connecté du dispositif. Les émissions supplémentaires de GES sont la quantité d'émissions dans le système de produit (c'est-à-dire le produit lui-même et l'infrastructure support pour la fourniture du service, y compris les réseaux, les centres de données et les passerelles, le cas échéant) attribuables à la connectivité, c'est-à-dire les émissions qui pourraient être évitées si l'appareil n'était pas équipé de capacités de connexion.

Pour calculer les émissions de GES supplémentaires de la connectivité, une évaluation comparative entre une situation de référence considérant le produit connecté et une situation alternative considérant une version hypothétique non connectée du produit est effectuée. Le praticien peut se reporter à l'Appendice I pour obtenir des recommandations méthodologiques supplémentaires sur l'évaluation comparative à l'échelle d'un seul produit.

L'heuristique aborde la part incrémentale de la connectivité dans l'empreinte carbone du service uniquement par des effets de premier ordre (c'est-à-dire les émissions de GES supplémentaires attribuables à la connectivité) et ne tient pas compte des effets positifs potentiels (émissions de GES qui seraient économisées grâce au fait que le produit est connecté). Le cadre théorique développé ici suppose une situation contrefactuelle où le produit fonctionnellement équivalent n'est pas connecté, car le but de l'heuristique est d'affirmer des externalités incrémentales de premier ordre de la connectivité.

NOTE 1 : Le praticien applique les allocations pertinentes pour calculer les émissions de GES supplémentaires provenant des réseaux, des centres de données et d'autres biens support (tels que les passerelles, les smartphones, etc.). En particulier pour les équipements / infrastructures partagés tels que la plateforme de services IoT, le praticien inclut toutes les infrastructures nécessaires à la fourniture du service IoT, en tenant compte des allocations appropriées.

NOTE 2 : Ce critère vise à examiner l'incidence de la connectivité en tant que tel sans cibler des types spécifiques de connectivité (filaire, cellulaire, non cellulaire, etc.).

Pour évaluer l'empreinte carbone au-delà du périmètre des produits connectés, le praticien doit suivre une réflexion conséquentielle même si une méthode attributionnelle est appliquée pour l'évaluation comparative. Un arbre des conséquences pourrait être utilisé comme approche possible par un praticien pour identifier les conséquences pertinentes. De plus amples indications sont fournies à l'Appendice I.

4.1.5. Considérations liées à l’obsolescence matérielle

Il peut être pertinent d'évaluer dans quelle mesure l'intégration de la connectivité dans l'appareil peut avoir un impact sur sa circularité. En particulier, lors de l'intégration de capacités de connectivité dans

l'appareil, plusieurs considérations liées à la durabilité du produit, à la capacité de 4R au niveau de l'équipement¹⁷ et au niveau du fabricant¹⁸, peuvent mériter une attention particulière, telles que :

(1) Durabilité du produit :

- la résistance des pièces de boîtier du module de connectivité, susceptibles d'être rayées,
- la disponibilité des consommables, pièces d'usure, qui devraient être remplacées périodiquement,
- sa robustesse
- la durée de vie de la batterie,
- ...

(2) 4R au niveau de l'équipement (module de connectivité) :

- Les fixations et les connecteurs sont réutilisables / amovibles,
- ...

(3) 4R au niveau du fabricant :

- Réparer, réutiliser, améliorer la disponibilité des services
- ...

NOTE : Ces considérations sont liées à tous les composants matériels impliqués dans la connectivité.

D'autres critères similaires à ceux proposés dans l'indice de réparabilité (par exemple, la disponibilité des pièces, la facilité de démontage et d'accès aux outils, etc.) pour les produits électriques et électroniques, établis en vertu de l'article 16 de la loi n° 2020-105 du 10 février 2020 de lutte contre¹⁹ le gaspillage et pour l'économie circulaire, pourraient également être proposés.

Des orientations supplémentaires sur l'évaluation des considérations d'obsolescence liées au matériel sont fournis à l'Appendice I.

NOTE : Bien qu'une conception modulaire (y compris la partie connectivité) puisse être accueillie favorablement pour limiter le risque d'obsolescence liée au matériel, il est important de garder à l'esprit que la modularité aura également un effet sur l'évaluation du produit sous les autres indicateurs de circularité. La modularité est susceptible d'avoir un effet sur la durabilité, ce qui inclut l'usure due au vieillissement et à l'usure due aux conditions environnementales et de fonctionnement. Des interfaces supplémentaires pour la modularité et une bonne protection contre les infiltrations entrant en conflit avec un accès facile aux pièces et aux composants sont des indicateurs que la durabilité des produits modulaires pourrait être pire que pour les conceptions conventionnelles. La recyclabilité peut plutôt être améliorée par une conception modulaire²⁰.

4.1.6. Considérations liées à l'obsolescence logicielle

Ce critère examine dans quelle mesure le logiciel / micrologiciel prenant en charge la connectivité peut avoir un impact sur la circularité du dispositif connecté. Il évalue spécifiquement la durée de disponibilité des mises à jour et des mises à niveau des logiciels ou micrologiciels du module de connectivité.

¹⁷ Cela concerne la structure du produit et l'accès à ses pièces prioritaires pour la réparation, les systèmes de connexion pour faciliter le démontage et le remontage, les pièces de rechange, le diagnostic et la disponibilité des informations (source : [UIT L.1023])

¹⁸ Cela est lié à la capacité du fabricant (au niveau de l'entreprise) à faciliter le recyclage, la réparation, la réutilisation et la mise à niveau. Ces exigences ne sont pas directement liées à l'équipement, mais à l'infrastructure et au support à développer ou à soutenir par le fabricant (source : [UIT L.1023]).

¹⁹ https://www.ecologie.gouv.fr/indice-reparabilite#scroll-nav_6

²⁰ Pour en savoir plus, consultez : Schischke, K., Proske, M., Nissen, N., & Schneider-Ramelow, M. (2019). Impact of modularity as a circular design strategy on materials use for smart mobile devices. MRS Energy & Sustainability, 6, E16. doi:10.1557/mre.2019.17

De plus amples recommandations sur l'évaluation des considérations liées à l'obsolescence logicielle sont fournis à l'Appendice I.

Le Tableau 4 fournit un résumé des critères de catégorisation susmentionnés, de leur pertinence et des approches supportant leur évaluation.

Tableau 4 – Résumé des critères, de leur pertinence et des approches supportant de leur évaluation

Critère	Pertinence	Approches à l'appui
Qualification du dispositif en tant que IoT et vérification si il est classée comme produit TIC ou M&D	Définition des produits TIC et M&D selon l'OCDE.	Exigences pour être considérées comme des dispositifs IoT développées dans la section 2 Systèmes internationaux actuels de catégorisation pour identifier les produits TIC et des M&D
L'importance de la connectivité dans la réalisation de l'objectif de l'appareil	« Dans quelle mesure le fait d'être connecté est-il nécessaire pour remplir une fonctionnalité primaire de l'appareil ? »	Évaluation qualitative de l'importance de la connectivité à l'aide par exemple de l'heuristique étayée par des informations explicites sur le rôle de la connectivité (par exemple, spécification du fabricant/fournisseur de services)
La part de la connectivité dans l'empreinte carbone de l'appareil	La connectivité comme poste d'émission important dans l'empreinte carbone de l'appareil	Analyse de type « Screening » ou ACV simplifiée considérant le dispositif comme le système de produit et appliquant une règle d'attribution pertinente.
La part de la connectivité dans l'empreinte carbone du service délivré par l'appareil	La connectivité comme point chaud dans l'empreinte carbone des fonctionnalités fournies par l'appareil	Calcul de la part incrémentale de la connectivité dans un périmètre de système de produit plus large (appareil, réseau, centre de données)
Risque d'obsolescence matérielle	Comment l'implémentation matérielle du module de connectivité entrave la circularité de l'appareil. La gestion des déchets devient critique car le module de connectivité et le dispositif d'hébergement sont hautement intégrés (leurs FdV sont interconnectées)	Critères de notation de la circularité des biens liés à la durabilité du produit et à la capacité à 4R au niveau de l'équipement et au niveau du fabricant
Risque d'obsolescence logicielle	Comment le cycle de vie du logiciel / micrologiciel qui alimente / prend en charge la connectivité entrave la circularité de l'appareil.	Critères de notation de la circularité des biens liés à la durabilité du produit logiciel / micrologiciel

4.2. Arbre de décision

4.2.1. Présentation générale de l'arbre de décision

Les différents facteurs sont regroupés, combinés et disposés sous la forme d'un arbre de décision. Le regroupement est effectué en fonction du domaine pertinent : trois domaines pertinents sont identifiés. L'arbre de décision est ensuite structuré autour de 3 étapes renvoyant aux trois domaines pertinents :

- **La première étape** traite du rôle de la connectivité dans l'accomplissement de la ou des fonctions / usages prévus du dispositif connecté.
- **La deuxième étape** porte sur la part, en termes d'impact environnemental (par exemple, GES), de la connectivité dans le dispositif connecté.

- **La troisième étape** traite des considérations de fin de vie du dispositif connecté, y compris les aspects liés à la circularité du dispositif et à l'obsolescence matérielle / logicielle.

Cependant, alors que la première étape étudie la catégorisation d'un appareil connecté d'un point de vue fonctionnel / d'usage, les deuxième et troisième étapes abordent le problème d'un point de vue environnemental, ce qui n'est généralement pas habituel pour la catégorisation des produits. La prise en compte d'une perspective environnementale peut être justifiée dans la tâche de catégorisation dès lors que la « Connectivité » constitue le critère décisif pour acquérir ou vendre le produit connecté du point de vue du marché (consommateur ou fournisseur). Par conséquent, un test intermédiaire est inclus pour aider le praticien à déterminer s'il doit terminer l'heuristique avec le résultat de l'étape 1 ou poursuivre l'analyse avec les étapes suivantes. L'Appendice I fournit des recommandations supplémentaires sur les approches possibles pour la mise en œuvre de ce test intermédiaire.

La présentation générale de l'arbre de décision est illustrée dans la Figure 8. Sur la base des critères mentionnés ci-dessus, l'arbre de décision conduit à cinq résultats possibles :

- « *Bien non-IoT* »
- Bien IoT, subdivisé en :
 - « *Bien TIC natif* »
 - « *Bien M&D* »
 - « *Bien basé TIC* » ou
 - « *Bien non basé TIC* »

D'autres éléments d'analyse sont développés à l'Appendice II pour comprendre comment les critères caractérisent un produit et conduisent à l'un ou l'autre résultat de l'arbre de décision afin de fournir des éléments de réflexion pour une catégorisation des dispositifs IoT (et plus largement connectés).

Compte tenu des quatre types de dispositifs IoT mentionnés à la section 2.1.2, on pourrait en déduire que les dispositifs de détection / actionnement IoT, les dispositifs de capture de données seraient considérés comme des dispositifs basés TIC ; bien qu'aucune conclusion systématique n'ait pu être tirée avec les dispositifs porteurs de données et les dispositifs IoT généraux, ce dernier type de dispositifs IoT fait référence à une grande variété d'équipements.

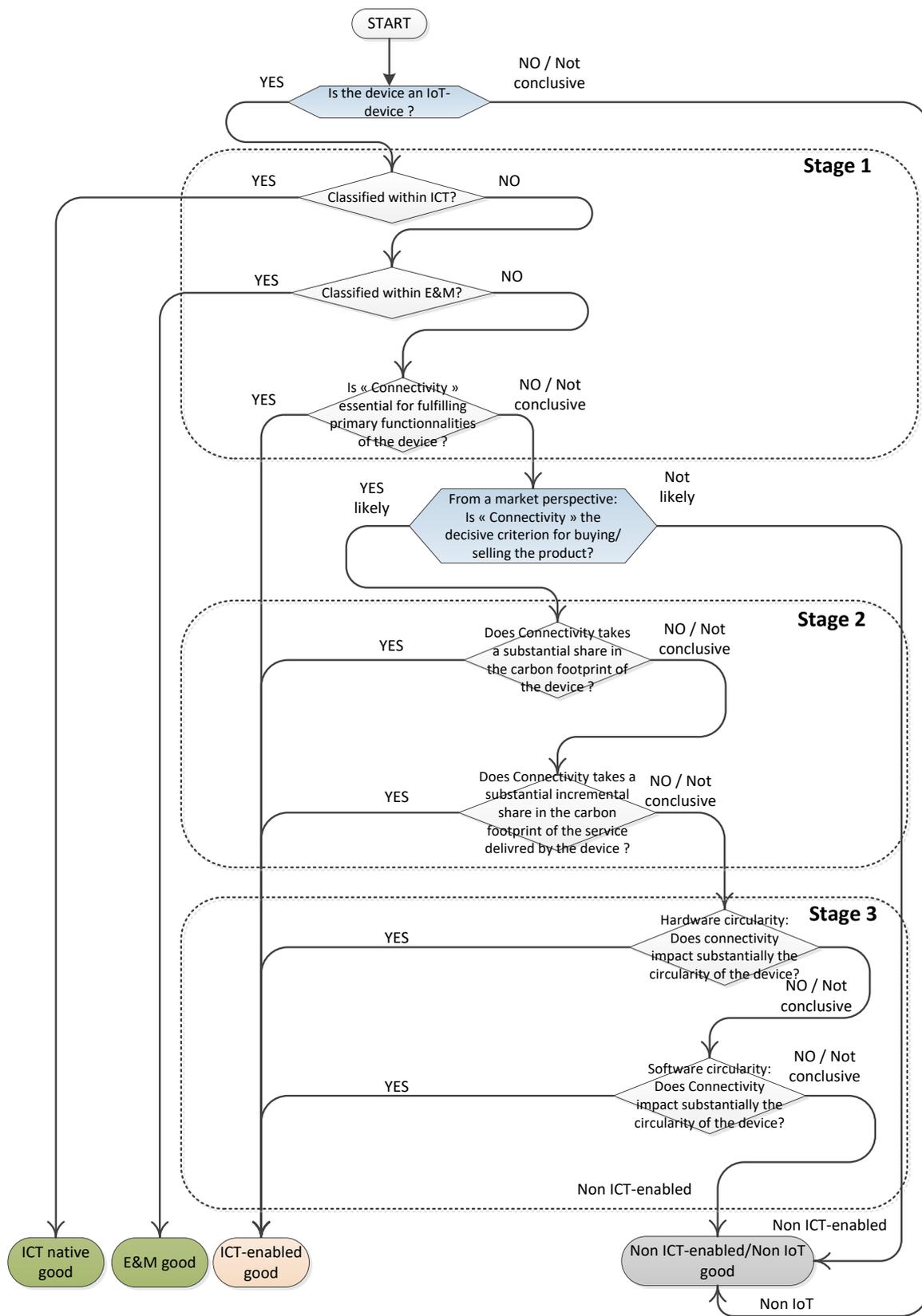


Figure 8 - Disposition générale de l'arbre de décision

4.2.2. Mise en œuvre de l'arbre de décision

Un praticien peut utiliser l'arbre de décision selon trois approches possibles, comme indiqué dans le Tableau 5:

- **Une approche conservatrice**, qui vise à soutenir l'analyse en passant par les phases les plus importantes en considérant principalement celles de l'étape 1 (traitant de la fonctionnalité / fonction primaire du dispositif) ; aller au-delà est recommandé ou facultatif.
- **Une approche élargie**, qui vise à entreprendre une analyse plus poussée en passant au moins par les deux premières étapes de l'arbre de décision. Les phases de la dernière étape sont facultatives car elles s'articulent autour de considérations liées à l'éco-conception (plus susceptibles d'être spécifiques à la mise en œuvre).
- **Une approche complète**, qui vise à recommander de passer par toutes les étapes de l'heuristique pour fournir l'analyse la plus complète. Dans cette approche, les phases de la dernière étape sont recommandées.

Le choix de l'approche la plus appropriée dépend de l'objectif et du type d'étude / d'évaluation, sans préjudice d'autres considérations telles que la disponibilité des données. Voir la section 6 pour plus de précisions. Dans tous les cas, le praticien doit être transparent sur la justification de l'approche choisie.

Tableau 5 – Les trois approches pour utiliser l'heuristique

Étapes de l'arbre de décision		Approche conservatrice	Approche élargie	Approche complète
Étape 1	Qualification du dispositif en tant que IoT et catégorisation en tant que produit TIC ou M&D	Inclue	Inclue	Inclue
	Importance de la connectivité pour remplir la fonctionnalité primaire du dispositif	Inclue	Inclue	Inclue
Étape 2	Part de la connectivité dans l'empreinte carbone du dispositif	Recommandée	Inclue	Inclue
	Part incrémentale de la connectivité dans l'empreinte carbone du service	Facultative	Recommandée	Inclue
Étape 3	Obsolescence matérielle	Facultative	Facultative	Recommandée
	Obsolescence logicielle	Facultative	Facultative	Recommandée

Des orientations méthodologiques sont fournies à l'Annexe B concernant la modélisation des émissions de carbone embarquées du dispositif connecté et la modélisation de la part attribuable aux TIC de l'empreinte du dispositif connecté.

4.3. Affinements

Comme l'IoT suit une forte dynamique de croissance, un autre sujet d'intérêt pourrait être de réfléchir à des règles d'**allocation carbone** basées sur ce travail de catégorisation et l'heuristique développée. Des éléments préliminaires sur ces sujets sont disponibles à l'Appendice II, qui demeure un sujet de recherche exploratoire et réfléchit à des règles fondées sur l'allocation tout en recherchant la cohérence avec le cadre de l'OCDE sur l'économie numérique décrit à l'Annexe A.

La Figure 9 montre, à titre d'illustration, le résultat de la mise en œuvre de l'heuristique en termes de catégorisation des dispositifs et de part de l'empreinte du secteur des TIC.

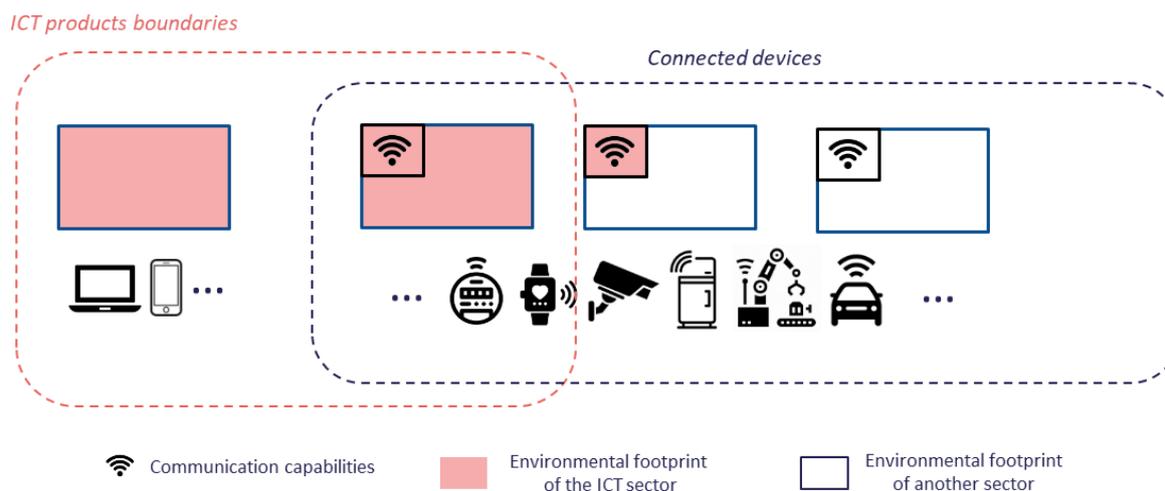


Figure 9 - Illustration du résultat de l'heuristique (paramètre des produits TIC et des objets connectés)

Alors que **les applications de l'intelligence artificielle dans les solutions IoT** se développent, cette technologie innovante peut avoir des implications sur la catégorisation de ce système « hybride » (Intelligence Artificielle des Objets ou AIoT / « Artificial Intelligence of Things »). Des éléments préliminaires d'analyse sur ce sujet sont disponibles à l'Appendice VI.

Le mode opérationnel : mode autonome vs mode assisté par l'homme. Les produits connectés peuvent effectuer leur fonctionnalité primaire en mode autonome (entièrement automatisé) ou en mode assisté par l'homme (avec intervention humaine). Lorsque la fonctionnalité primaire est exécutée dans un modèle autonome, la connectivité est considérée comme nécessaire pour remplir la fonctionnalité primaire, au moins en raison de la nécessité de mettre à jour le logiciel / micrologiciel intégré au produit et d'être impliqué dans l'exécution de la fonctionnalité primaire²¹.

Le cas des dispositifs composites et des dispositifs à fonctions multiples (par exemple, les fonctions principales combinées). Dans le cas des dispositifs à fonctionnalités multiples composites (par exemple, une laveuse et une sécheuse combinées), deux situations possibles peuvent se produire en fonction de la façon dont les fonctionnalités primaires sont enchaînées :

- Lorsque les fonctionnalités sont simultanées ou se chevauchent, le praticien applique l'heuristique à chaque fonctionnalité.
- Lorsque les fonctionnalités sont postérieures l'une à l'autre, si le résultat du test 3 (de l'étape 1) est positif pour la première fonctionnalité, le praticien n'a pas besoin de poursuivre l'analyse car le dispositif serait considéré de fait comme compatible avec les TIC, sinon, le praticien doit continuer et remettre en question la fonctionnalité ultérieure

²¹ Par exemple, dans le cas des systèmes de conduite automatisée, y compris les véhicules autonomes, cela correspondrait au niveau 4 de la SAE (appelé aussi « automatisation élevée ») ou au niveau 5 de la SAE (appelé aussi « automatisation complète ») selon la taxonomie relative aux systèmes de conduite automatisée des véhicules automobiles sur route publiée par la Society of Automotive Engineers [SAE – 2021]

5. Paramètres contextuels pertinents pour les dispositifs IoT

Comme illustré dans la Figure 10, en général, il existe une corrélation assez forte entre le nombre d'utilisateurs ou d'abonnés mobiles et le nombre d'abonnements²². De même, il y a eu une corrélation entre le nombre de ménages et les abonnements fixes. Ainsi, les abonnements se sont avérés être un indicateur raisonnable du nombre d'utilisateurs. **Avec l'augmentation du nombre de dispositifs IoT, les abonnements peuvent être moins corrélés avec les utilisateurs et d'autres paramètres contextuels peuvent devenir plus importants ou pertinents pour l'évaluation de l'impact de la part de la sous-catégorie IoT dans le secteur des TIC.** En outre, avec la prolifération des solutions et protocoles de connectivité (Wifi, LPWAN, LPSAN, etc.), bien que certains d'entre eux puissent être propriétaires fait que la connectivité des dispositifs IoT n'est pas basée sur un abonnement mais sur le protocole Internet (IP) ou d'autres solutions à bande étroite, ces solutions de connectivité peuvent ne pas faire partie des statistiques.

En fait, il est facile de suivre et de contrôler l'évolution des appareils tels que le M2M en raison de leurs abonnements mobiles, tandis que les dispositifs IoT connectés via des technologies non cellulaires sont plus difficiles à contrôler.

Dans cette section, le Comité recommande des paramètres contextuels pertinents pour les dispositifs IoT.

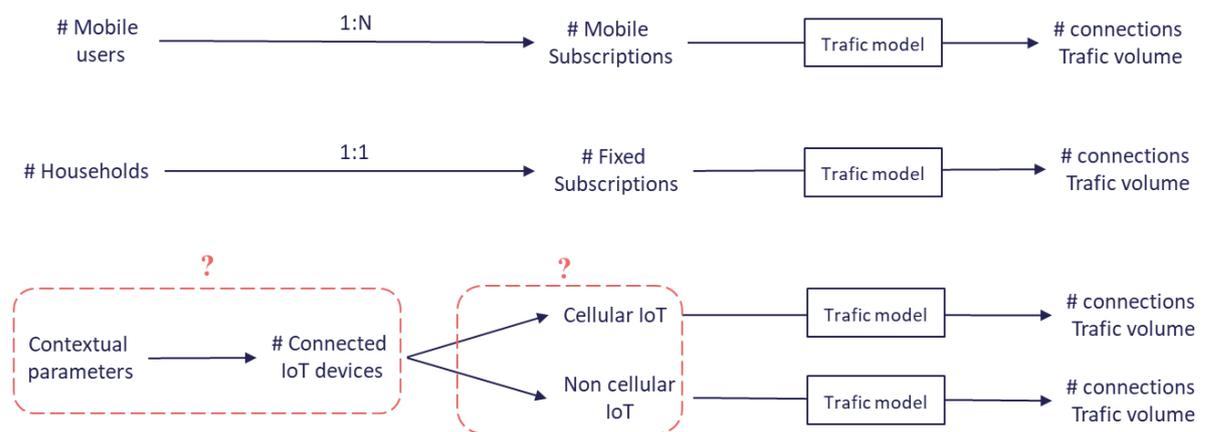


Figure 10 - Des paramètres contextuels aux connexions réseau et au volume de trafic

Le nombre de dispositifs connectés fonctionnant au cours d'une année donnée (le stock à l'année 'y') peut être calculé à l'aide de la formule générale suivante :

$$\text{Nbre de dispositifs IoT connectés}_y = \text{Nbre de dispositifs IoT connectables}_y \times \rho_y$$

Le facteur contextuel fait référence à la part des dispositifs effectivement connectés (dispositifs installés et opérationnels) à l'année « y » : ρ_y

Le nombre de dispositifs IoT cellulaires et non cellulaires est dérivé en prenant la part de chaque type d'appareil IoT :

$$\text{Nbre de puces IoT cellulaires}_y = \text{Nbre de dispositifs IoT connectés}_y \times \% \text{ cellulaires}$$

$$\text{Nbre de puces non cellulaires}_y = \text{Nbre de dispositifs IoT connectés}_y \times \% \text{ non cellulaires} \times \text{nbre de puces /IoT}$$

²² Bien que certains utilisateurs puissent avoir plus d'un abonnement et que les abonnements puissent être utilisés par plus d'un utilisateur.

Où les termes « % mobiles » et « % non mobiles » désignent respectivement la proportion de dispositifs connectés par l'intermédiaire des réseaux cellulaires et la proportion de dispositifs connectés par l'intermédiaire des technologies non cellulaires. « Nbre de puces / IoT » prend en compte le nombre moyen de modules de communication équipant un appareil IoT.

NOTE 1 – Pour les dispositifs IoT cellulaires, il est raisonnable de supposer un seul module de communication par appareil, bien qu'il puisse utiliser plus d'une technologie cellulaire (par exemple pour les dispositifs IoT 2G / 3G), tandis qu'un dispositif IoT connecté via les technologies Wifi et Bluetooth nécessiterait deux puces de communication.

NOTE 2 – Les proportions d'IoT cellulaire et non cellulaire utilisées dans la formule peuvent ne pas correspondre au total.

NOTE 3 – Les équations ci-dessus décrivent une approche conceptuelle qui peut être affinée ; par exemple, ρ_y peut varier selon le type de connectivité.

Les appareils connectables font référence aux appareils expédiés au cours d'une année donnée, ils peuvent être dérivés en utilisant le taux de pénétration du type d'appareil sur son marché associé et sur la base de paramètres contextuels pertinents (ménages, utilisateurs, logements / locaux, robots industriels, voitures, etc.). L'utilisation de paramètres contextuels est une approche efficace pour contrôler le taux de numérisation de la société grâce à l'IoT. Des exemples de paramètres contextuels sont fournis à l'Appendice IV.

Alternativement, le nombre d'appareils connectables pourrait être dérivé à l'aide de statistiques sur les ventes ou les expéditions d'appareils avec une méthodologie similaire au système d'analyse énergétique ascendant ou « Bottom-Up Energy Analysis System » (BUENAS) développé par le Lawrence Berkeley National Laboratory²³ et utilisé par l'AIE [EDNA-TEM – 2019]. Voir l'Appendice IV pour plus de détails.

6. Enseignements et recommandations

Le présent rapport trouve sa motivation dans la numérisation croissante de l'économie propulsée par la diffusion massive de l'IoT et d'autres dispositifs connectés. L'OCDE a élaboré une feuille de route vers un cadre commun pour mesurer l'économie numérique, y compris une proposition de définition commune de l'économie numérique et un ensemble d'indicateurs existants. À cette fin, l'OCDE a défini une « boîte à outils : Vers le numérique »²⁴ structurée selon 7 dimensions politiques (accès, utilisation, innovation, emplois, société, confiance, ouverture du marché). Le M2M fait partie de la dimension politique « Accès »,²⁵ qui comprend actuellement 7 indicateurs sur un total de 42.

En effet, l'IoT devrait être l'un des moteurs de l'écosystème numérique en termes de valeur et d'équipement. D'où l'intérêt de développer l'approche du présent rapport visant à établir une heuristique cohérente sur les dispositifs connectés au sein de l'IoT afin de tracer des limites et de fournir, en ce qui concerne les TIC et les M&D, un regroupement de produits au sein de l'IoT et plus largement des dispositifs connectés.

Comme il se situe dans le voisinage des TIC, l'IoT est aujourd'hui inclus dans une certaine mesure dans les études d'évaluation de l'empreinte environnementale numérique tout en étant inclus dans des produits et des solutions de divers secteurs (par exemple, l'agriculture, les transports, la construction, la santé, l'industrie manufacturière). En effet, son impact environnemental direct devrait augmenter par rapport à une croissance des volumes. D'autre part, parmi les effets potentiels sur certains secteurs résultant de la capacité du numérique à réduire les impacts environnementaux, il existe de nombreuses solutions technologiques basées sur des dispositifs connectés ou IoT. Ainsi, il est

²³ [Système d'analyse énergétique ascendant \(BUENAS\) | Analyse énergétique internationale \(Ibl.gov\)](#)

²⁴ [Boîte à outils de l'OCDE « Vers le numérique »](#)

²⁵ [Accès | Boîte à outils de l'OCDE « Vers le numérique »](#)

nécessaire de pouvoir tracer des frontières entre les TIC, l'IoT et les objets connectés mais aussi au sein des objets connectés.

Par exemple, ci-dessous quelques axes de travail qui pourraient capitaliser sur l'heuristique développée dans ce rapport :

I. Label (de la performance) environnementale

Des Règles de Catégorie de Produit (RCP) sont actuellement développées afin de fournir un cadre solide et transparent en matière d'évaluation environnementale des produits pour le positionnement marketing. L'IoT est bien sûr un axe de travail important car il est appelé à se développer. Être capable de tracer des frontières dans le monde numérique entre les TIC, l'IoT et les appareils simplement connectés est donc une base préliminaire nécessaire avant de prendre en compte l'empreinte environnementale d'un appareil / service IoT. De plus, une approche RCP se heurte toujours à la problématique des règles d'allocation (de l'impact). Ainsi, les travaux développés dans le présent document et ses Annexes (par exemple, y compris la catégorisation des produits de l'heuristique, les conseils pour l'évaluation de l'empreinte d'un dispositif connecté) pourraient constituer une base intéressante pour un tel axe de travail.

II. Statistiques économiques ou environnementales à l'appui des politiques publiques sur l'IoT et les objets connectés

Comme indiqué précédemment, l'IoT est une industrie très dynamique et ce sera logiquement un domaine d'importance également pour les institutions publiques. Il est important de fournir une approche et des concepts exhaustifs pour avoir une vision plus claire entre les TIC, l'IoT et les dispositifs connectés, y compris une évaluation des impacts directs et indirects, pour soutenir les choix économiques et industriels futurs. Pour ce faire, une catégorisation claire est nécessaire pour tout observatoire économique ou environnemental qui serait amené à suivre la diffusion du numérique au sein de l'économie, qu'il s'agisse des TIC, de l'IoT ou d'autres types de dispositifs connectés. Par exemple, la catégorisation des produits de l'heuristique pourrait soutenir toutes les parties prenantes intéressées ou toute entité publique compétente responsable d'un tel suivi par la mise en place d'un compte satellite²⁶ pour le suivi environnemental et économique des dispositifs connectés et des produits IoT.

Le cadre revisité de la catégorisation de l'OCDE sur l'économie numérique pour l'IoT et les produits connectés développé à l'Appendice II pourrait être un exemple d'un tel compte satellite « produits connectés / IoT » :

- À des fins de suivi économique, le compte satellite proposé permettrait d'obtenir des données d'activité pertinentes telles que : le nombre de produits connectés / produits IoT par niveau, le nombre d'interfaces de connectivité équipant les produits connectés / produits IoT par niveau, le volume de trafic de données échangé par les produits connectés / produits IoT par niveau, etc.
- À des fins de suivi environnemental, le compte satellite proposé permettrait d'obtenir des données d'impact pertinentes telles que : la consommation totale d'énergie des produits connectés / IoT par niveau, l'empreinte carbone totale des produits connectés / IoT par niveau, etc.

²⁶ Selon le Système de comptabilité nationale (SCN) : « Les comptes satellites fournissent un cadre lié aux comptes centraux et qui permet de se concentrer sur un certain domaine ou aspect de la vie économique ou sociale dans le contexte de la comptabilité nationale ; des exemples courants sont les comptes satellites pour l'environnement, le tourisme ou les travaux ménagers non rémunérés. <https://unstats.un.org/unsd/nationalaccount/glossresults.asp?gID=493>

Cette définition est conforme au glossaire des termes statistiques de l'OCDE et à d'autres services nationaux de statistique, dont l'INSEE (voir : <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1153>)

À l'instar des produits connectés / IoT et au-delà, et afin d'adresser la question du périmètre des TIC par rapport à d'autres produits émergents basés sur les technologies numériques tels que l'intelligence artificielle et la blockchain²⁷, l'introduction d'un compte satellite serait une approche pertinente. Un tel compte satellite pourrait être conçu de la même manière que le compte satellite « produits connectés / IoT », c'est-à-dire une approche à plusieurs niveaux pour la catégorisation des produits visant à évaluer les différents degrés auxquels les autres piliers de la définition du secteur / des produits des TIC (c'est-à-dire le « traitement de l'information » et « l'affichage ») sont utilisés par ces produits basés sur les technologies numériques émergentes :

- *Périmètre cœur* : Produits émergents basés sur les technologies numériques dans le cadre de l'économie de l'information
- *Périmètre restreint (étroit)* : Produits émergents basés sur les technologies numériques qui dépendent du « traitement / affichage de l'information ».
- *Périmètre étendu (large)* : Produits émergents basés sur les technologies numériques qui sont considérablement améliorés par le « traitement / affichage de l'information ».

De plus, l'heuristique pourrait être utilisée pour mettre en œuvre cette catégorisation après quelques adaptations lors de ses tests où le praticien remettrait en question l'importance du rôle du « traitement/affichage de l'information » et de son impact attribuable au lieu de la « connectivité ». De plus amples détails sont fournis à l'Appendice VII.

III. Politiques publiques sur la trajectoire carbone (appui aux stratégies nationales bas-carbone pour l'économie numérique)

Planifier la décarbonation d'un pays est toujours difficile car les budgets carbone doivent être partagés entre les secteurs économiques, mais l'économie numérique est transversale et répartie au sein des secteurs économiques traditionnels (voir l'Annexe A). Ainsi, les travaux développés dans le présent rapport fournissent une catégorisation et un cadrage qui permettent de prévoir différentes trajectoires d'émissions de carbone en fonction du périmètre utilisé (uniquement les TIC ou l'IoT ou encore transversal et plus large au sein de l'économie numérique).

Par exemple, comme le présente le rapport identifie les domaines de recherche possibles pour l'avenir, une approche souple par niveaux pour englober les différents types de dispositifs connectés et les allocations possibles de leur empreinte carbone au niveau auquel ils appartiennent²⁸ (voir l'Appendice II) pourrait être utilisée pour calculer différentes trajectoires d'émissions de GES au moyen d'une analyse économique sectorielle ou transversale de l'économie numérique. Par exemple, on peut dériver une trajectoire par niveau (voir la Figure 11) afin d'utiliser les leviers d'actions là où ils sont les

²⁷ Cela rejoint la lacune mise en évidence par le comité d'experts dans son rapport [Comité ARCEP/ADEME – 2023] : « Au regard des tendances actuelles et de la perspective croissante de l'utilisation du minage de cryptomonnaie et de la blockchain, cela nécessite une réflexion supplémentaire pour définir les paramètres et éviter la perspective du double compte : il s'agit par exemple de comprendre les 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 / le matériel TIC conventionnel. En plus des cryptomonnaies, les applications blockchain incluent les NFT. On est confronté au même défi face à la nécessité de définir le périmètre dans le cas de l'IA/ML, car les ressources informatiques de l'IA (« piles de matériel et de logiciels utilisées pour gérer des charges de travail et des applications d'IA spécialisées de manière efficace ») peuvent différer des ressources de calcul à usage général ».

²⁸ Note au lecteur : le concept de « niveau » utilisé dans le Rapport fait référence à ce qui est développé dans son Annexe II (c'est-à-dire pour catégoriser les différentes parties de l'économie numérique). Par souci de clarté, il convient de noter qu'il s'agit d'un concept différent de celui qui est développé (et appelé « niveau ») dans la section 4 « Identification des écarts méthodologiques et recommandations » du rapport du Comité « Évaluation de l'impact environnemental du secteur des TIC : analyse méthodologique des écarts méthodologiques ».

plus efficaces en termes de décarbonation tout en étant capable de garder une vision des contraintes économiques en parallèle des contraintes environnementales.

Sur la base de ces trajectoires par niveau, le praticien pourrait les agréger pour obtenir :

- Une trajectoire pour le secteur des TIC et des M&D ([Strate 1] & [Strate 1+]).²⁹ Cela peut fournir des informations complémentaires pour les normes actuelles élaborées dans ce domaine (telles que la Recommandation UIT L.1470 et la Partie II de la Recommandation UIT L.1450).
- Une trajectoire pour l'économie numérique du point de vue des TIC / M&D ([Strate 1] & [Strate 1+] & [Strate 2] & [Strate 3])

Il convient de souligner que ces deux types d'analyse, y compris l'Internet des objets, restent des sujets de recherche et que leur mise en œuvre dans le cadre des différentes recommandations de l'UIT-T en matière d'environnement devra être élaborée par les différents groupes de travail compétents.

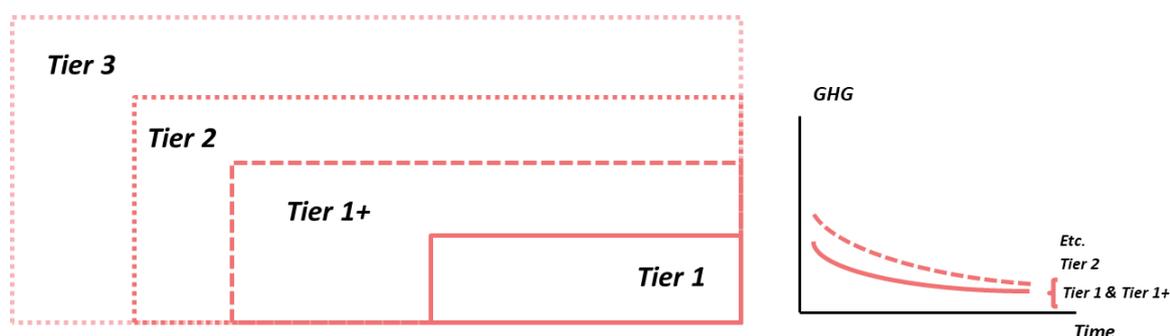


Figure 11- Illustration des différentes trajectoires d'émissions de GES empilées par niveau

IV. Évaluer l'empreinte carbone des solutions TIC basées sur l'IoT et des solutions numériques basées sur les produits connectés

L'évaluation de l'empreinte carbone d'une solution TIC basée sur l'IoT (comme un service TIC intégrant l'IoT) peut être difficile lorsqu'il s'agit de définir les limites de la solution en ce qui concerne les TIC. Un défi similaire s'applique à l'analyse comparative / ACV entre une solution TIC basée sur l'IoT et une solution de référence (non-TIC) ou entre deux solutions TIC (lorsque l'une d'entre elles au moins est une solution TIC basée sur l'IoT). Tout en complétant les orientations de la Recommandation L.1410 de l'UIT, l'heuristique peut être utilisée par un praticien pour traiter le cas spécifique des solutions TIC basées sur l'IoT. Pour évaluer l'empreinte carbone d'une solution TIC basée sur l'IoT, le praticien peut s'appuyer sur la distinction entre les produits TIC natifs, TIC et non TIC, ainsi que sur l'approche du cadre à plusieurs niveaux pour la catégorisation des produits et la comptabilisation du carbone développée à l'Appendice II.

Le même raisonnement s'applique à l'évaluation de l'empreinte carbone d'une solution numérique basée sur des produits connectés (c'est-à-dire une solution numérique comprenant des produits connectés) du point de vue des TIC.

²⁹ Le lecteur remarquera peut-être que ces niveaux/strates fonctionnent par inclusions successives. Selon ce qui est développé à l'Appendice II, le Niveau/Strate 1 (englobant les produits connectés dans l'économie de l'information, autrement dit dans les secteurs des TIC + M&D) est inclus dans le niveau/strate 1+, qui serait l'extension du champ d'application principal (niveau/strate 1) aux produits basés TIC.

V. Développer une caractérisation plus détaillée des produits connectés écologiquement durables

Les catégories de produits et d'activités économiques visant à mettre en évidence leur soutien à la durabilité environnementale ont été promues par plusieurs initiatives telles que la taxonomie verte de l'UE³⁰, la coalition européenne pour un numérique vert (EGDC)³¹ et l'initiative Net Zero (NZI).³²

L'impact des dispositifs connectés censés avoir un impact positif net, c'est-à-dire soutenir l'atténuation du changement climatique, par exemple en aidant d'autres secteurs à décarboner leurs activités, pourrait survenir principalement par substitution ou optimisation.

- Pour les dispositifs connectés dont l'impact positif survient par le biais de la substitution : l'activité de référence est substituée lors de l'utilisation du dispositif connecté, ce qui entraîne, par rapport au scénario de référence, un impact positif net sur les GES. Lorsque l'activité de référence correspond à la fonctionnalité primaire du dispositif connecté, la connectivité serait essentielle pour remplir la fonctionnalité primaire du dispositif ; en particulier lorsque le dispositif connecté est un appareil IoT, il serait considéré comme un appareil compatible TIC (lorsque l'heuristique est mise en œuvre par une approche conservatrice).
- Pour les dispositifs connectés dont l'impact positif survient par le biais de l'optimisation : l'activité de référence est optimisée lors de l'utilisation du dispositif connecté, ce qui entraîne, par rapport au scénario de référence, un impact positif net sur les GES. Lorsque l'activité de référence correspond à la fonctionnalité primaire ou à une autre fonctionnalité du dispositif connecté, la connectivité ne serait pas essentielle pour remplir la fonctionnalité primaire du dispositif ; en particulier lorsque le dispositif connecté est un appareil IoT, il ne serait pas considéré comme un appareil compatible TIC (lorsque l'heuristique est mise en œuvre par une approche conservatrice)

En fonction du type d'évaluation / d'étude et de son objectif, le Tableau 6 met en évidence l'approche recommandée pour la mise en œuvre de l'heuristique :

Tableau 6 - Approche recommandée pour l'utilisation de l'heuristique

Objectif de l'étude / de l'évaluation	Type d'étude	Approche recommandée
Établir les RCP pour le label environnemental des dispositifs IoT	méso	Approche élargie
Politiques publiques IoT	Macro / méso	Approche conservatrice et selon certains cas une approche élargie
Établir une trajectoire carbone pour les secteurs des TIC et M&D ([Strate 1] & [Strate 1+])	macro	Approche conservatrice
Établir une trajectoire carbone pour l'économie numérique du point de vue des TIC	macro	Approche conservatrice
Évaluer l'empreinte carbone des solutions TIC basées sur l'IoT	micro	Approche complète
Évaluer l'empreinte carbone des solutions numériques basées sur l'IoT du point de vue des TIC	micro	Approche complète

³⁰ https://finance.ec.europa.eu/sustainable-finance/tools-and-standards/eu-taxonomy-sustainable-activities_en

³¹ <https://www.greendigitalcoalition.eu/>

³² <https://www.carbone4.com/charte-engagements-nzi-it>

Annexe A

Perimètre des secteurs des TIC et des M&D et matérialité du « secteur numérique »

(Cette annexe est relative à Section 2)

Les secteurs des TIC et des M&D³³ se caractérisent par un développement rapide, qui a été exacerbé par la numérisation toujours croissante de la société et les conséquences promues en termes de bien-être économique, d'inclusion sociale et économique et d'autres externalités.

Dans la présente annexe :

- La section 1 donne un aperçu de l'évolution historique des secteurs des TIC et des M&D et des définitions des produits TIC / M&D.
- En adoptant une approche prospective, la section 2 expose les défis posés par cette définition avec les technologies émergentes telles que l'IoT, la blockchain et l'IA et s'interroge sur la pertinence et la faisabilité de la définition du « secteur numérique ».

A. 1 Secteurs des TIC/M&D et définitions des produits TIC/M&D : l'évolution historique en bref

L'OCDE reconnaissait depuis 1998 les difficultés rencontrées dans l'établissement d'une catégorisation des produits des TIC. Certaines de ces difficultés sont inhérentes au secteur lui-même car elles sont liées à l'évolution rapide des caractéristiques des produits TIC, tandis que d'autres sont davantage liées à la tâche statistique (difficultés liées à la définition des classifications disponibles et nature obsolète des classifications de produits telles que la Classification centrale des produits des Nations Unies).

³³ Médias et divertissement (M&D) et Médias et Contenus (M&C) sont des termes équivalents car ils font référence au même concept. La Recommandation UIT L.1450 fait référence aux M&D, tandis que les normes de l'OCDE et de la nomenclature (telles que la CITI et la CPC) font référence aux M&C.

Depuis sa première tentative en 1998 jusqu'à aujourd'hui, la définition du secteur des TIC a subi plusieurs changements, comme le montre la Figure 12.

Year	Sectoral definitions	Product definitions
1998	First ICT sector definition (based on ISIC Rev. 3)	
2002	Revised ICT sector definition (based on ISIC Rev. 3.1)	First ICT goods classification (based on HS 1996/2002)
2003		
2007	Second ICT sector definition (based on a late draft of ISIC Rev. 4)	First content and media sector def. (based on a late draft of ISIC Rev. 4) First ICT services classification (based on an early draft of CPC Ver. 2)
2008		First content and media product class. (based on a late draft of CPC Ver. 2) Revisions to 2007 ICT services (based on a late draft of CPC Ver. 2) Second ICT good classification (based on a late draft of CPC Ver. 2)
		ICT product classification
		Information economy product classifications
2010		Information economy product classifications (Correspondence: CPC Ver.2 HS 2007 – HS 2002)

Figure 12 - Illustration de l'évolution historique des définitions sectorielles et des définitions de produits (source : [OCDE-2011])

Rétrospectivement et en se référant à la chronologie décrite dans la Figure 12, les principaux développements suivants peuvent être soulignés :

- 1998 – 2002 :
 - Indicateurs de base sur le secteur des TIC et le commerce des biens des TIC : Ensemble de base autour de 2 indicateurs : « la proportion de la main-d'œuvre totale du secteur des entreprises impliquée dans le secteur des TIC » et « la valeur ajoutée dans le secteur des TIC (en pourcentage de la valeur ajoutée totale du secteur des entreprises) » ;
 - Le principe directeur original de la définition du secteur des TIC tient compte des éléments suivants :
 - Pour les industries manufacturières, les produits (marchandises) d'une industrie candidate doivent : « remplir la fonction de traitement et de communication de l'information, y compris la transmission et l'affichage, ou utiliser le traitement électronique pour détecter, mesurer et / ou enregistrer des phénomènes physiques ou contrôler un processus physique ».
 - Pour les industries de services, les produits (services) d'une industrie candidate doivent « être destinés à permettre la fonction de traitement de l'information et de communication par des moyens électroniques ».
 - Selon [OCDE-2011], « lorsque la première définition du secteur des TIC a été élaborée en 1998, il a été reconnu que la procédure préférée aurait été de définir d'abord les biens et services TIC, puis de formuler les classes CITI dont les activités concernaient ces biens et services. Toutefois, afin d'obtenir un premier ensemble d'indicateurs pour le secteur des TIC dans un laps de temps limité, l'approche adoptée a consisté à définir d'abord les activités, puis à travailler sur une liste de biens et services TIC qui pourraient compléter et aider à affiner la définition fondée sur les activités". Ainsi, les principes

directeurs pour les TIC et les produits médias et divertissement sont adaptés des principes directeurs des définitions sectorielles.

- Un autre principe directeur de la définition était d'utiliser les systèmes de classification existants (CITI pour la définition sectorielle, SH puis CPC pour les systèmes de classification des produits) afin de tirer parti des ensembles de données existants et donc d'assurer l'utilisation immédiate de la norme proposée.
- Il convient de noter que la définition convenue en 1998 par l'OCDE a été faite presque de manière inclusive [OCDE – 2011] (par exemple, la définition proposée n'inclurait aucune « partie » des industries mais inclurait plutôt l'ensemble de l'industrie, même si dans certains cas, cette dernière pourrait ne pas être strictement une activité TIC³⁴. En fait, cela a été justifié par la crainte qu'une exclusion complète d'une industrie ne signifie l'exclusion d'entreprises importantes qui produisent des biens et des services TIC³⁵);
- 2005 : L'OCDE définit les « produits numérisés », y compris les produits qui peuvent être livrés sur Internet sous forme numérisée et qui ont un équivalent physique (p. ex., un film téléchargé et un DVD de ce film) et d'autres produits numérisés dont l'analogie avec un produit physique est moins directe (p. ex., les produits Web accessibles en ligne). Les produits numérisés comprennent également les « services hors ligne », c'est-à-dire les services commandés en ligne, mais qui sont livrés ou livrés en grande partie hors ligne (par exemple, les réservations d'hébergement ou de voyage).
- 2007 :
 - En ce qui concerne les produits TIC, le débat a porté sur la pertinence de s'en tenir au principe directeur initial plus large ou de réduire la liste des industries, étant donné que de plus en plus de produits intègrent des technologies utilisant le traitement électronique. En ce qui concerne les services TIC, la détermination de ce qui constitue un service ou une technologie « habilitante » (mentionnée dans le principe directeur initial) représentait le principal défi.
 - En particulier, l'approche par activité pour la catégorisation a soulevé certaines difficultés à maintenir la cohérence entre les différentes industries au sein d'une même activité : comment distinguer les industries qui utilisent le traitement électronique de manière significative (justifiant ainsi leur inclusion) de celles qui le font de manière accessoire (leur inclusion est donc remise en question), étant donné que les TIC sont intégrées dans un nombre croissant de produits fabriqués par diverses industries. Des défis similaires ont été soulevés pour d'autres exemples tels que l'activité de radiodiffusion où la transmission de programmes fait partie de l'activité, mais la majorité du groupe d'experts était d'avis que le développement de chaînes et de programmes (qui font également partie de l'activité de radiodiffusion) est la caractéristique déterminante des industries classées dans les activités de radiodiffusion et que les activités de radiodiffusion et de programmation sont donc exclues de la définition sectorielle des TIC.
 - Révision du principe directeur pour la fabrication de TIC : « *Les produits d'une industrie manufacturière candidate doivent être destinés principalement à remplir la fonction de traitement et de communication électroniques de l'information (y compris la*

³⁴ Exemple : L'inclusion de « Fabrication de fils et de câbles isolés » a été motivée par l'importance croissante perçue des câbles à fibres optiques qui ont changé cette industrie au fil du temps malgré les préoccupations exprimées concernant l'inclusion des câbles de transmission d'énergie électrique.

³⁵ Exemple : Les activités de radio et de télévision sont normalement exclues de la définition du secteur. Toutefois, lorsque la transmission d'émissions de radio et de télévision était effectuée dans le cadre du travail de l'entreprise, les activités de transmission, les activités de radio et de télévision étaient donc incluses.

transmission, l'enregistrement, le stockage et l'affichage) ». La portée a été réduite en supprimant les capacités de détection, de mesure et / ou d'enregistrement de phénomènes physiques ou de contrôle d'un processus physique par l'utilisation du traitement électronique, tout en incluant les fonctions d'enregistrement et de stockage³⁶.

- Réduire la portée de la définition des produits TIC pour qu'elle soit cohérente avec les modifications apportées à la définition du secteur des TIC. Ces exclusions ne préjugent pas de certaines exceptions, que le groupe d'experts a décidé d'inclure. Ces exceptions comprennent, par exemple, l'inclusion des termes « alarme de sécurité », « alarmes incendie » et « appareils similaires », et l'inclusion (par souci de cohérence avec d'autres inclusions) des « appareils photographiques numériques » et des « autres supports d'enregistrement, y compris les matrices et les masters pour la production de disques », deux produits hors industrie.
- L'introduction du secteur des médias et du divertissement (sur la base de la CITI Rév. 4) suivie d'une définition des produits connexes. Ces derniers sont identifiés selon les principes directeurs suivants :
 - C'est un message organisé destiné aux êtres humains.
 - Il résulte d'une activité de production organisée.
 - Il est combiné avec un média ou porté par celui-ci.
 - Sa diffusion ne se limite pas à une liste de destinataires privilégiés.
 - Sa diffusion nécessite un support de communication, c'est-à-dire un support de diffusion de masse.
 - Sa diffusion nécessite l'intervention d'un éditeur qui est d'une entreprise d'édition.
 - La valeur d'un tel produit pour un consommateur ne réside pas dans ses qualités tangibles, mais dans son contenu informatif, éducatif, culturel ou de divertissement.
- Indicateurs de base sur le secteur des TIC et le commerce des biens des TIC : deux indicateurs supplémentaires : « Importations de biens des TIC en pourcentage des importations totales » et « Exportations de biens des TIC en pourcentage des exportations totales ».
- 2008 et au-delà :
 - L'introduction du « secteur de l'économie de l'information » qui comprend les industries des TIC et des médias et divertissement (M&D).

Du point de vue du cycle de vie, l'UIT recense les biens TIC ci-après et les biens support connexes [UIT – L.1450] :

- Matériel informatique et périphérique ;
- Appareils électroniques grand public à des fins de communication (tels que téléphones portables, smartphones, tablettes, ordinateurs fixes et portables, biens de réseau domestique, etc.), y compris les appareils IoT, le cas échéant ;
- Biens de réseau filaire et sans fil (y compris les biens de réseau central de télécommunication) ;
- Télécommunication par satellite ;

³⁶ Le point de vue contraire contre la modification de la définition (c'est-à-dire l'exclusion de la deuxième partie de la définition originale) prétend qu'une telle modification représente un écart significatif par rapport à la définition existante qui pourrait être difficile à expliquer aux utilisateurs et qui modifierait le message donné par les indicateurs statistiques [OCDE – 2011]

- Autres biens de réseau de télécommunication (réseaux d'entreprise, réseaux métropolitains / périphériques / IP centraux et réseaux de transmission de données) ;
- Centres de données ;
- Biens support (infrastructures TIC telles que tours, câbles, étagères, etc., biens installés sur site ou dans des installations pour l'alimentation électrique en réseau et hors réseau des réseaux TIC, biens installés sur site ou dans des installations à des fins de refroidissement)

Du point de vue de l'activité économique, la liste suivante des industries, selon **CITI Rév.4**, respectent le principe directeur général³⁷ pour identifier les activités économiques liées aux TIC. Ils sont regroupés en trois grandes catégories³⁸: industries manufacturières des TIC, industries du commerce des TIC et industries des services des TIC, comme indiqué dans le Tableau 7 .

Tableau 7 - Classification CITI Rév.4

Rév. 4.0 CITI code de classe	Industrie
<i>Industries de fabrication TIC</i>	
2610	Fabrication de composants électroniques et de dispositifs d'affichage
2620	Fabrication d'ordinateurs et de matériel périphérique
2630	Fabrication de matériel de communication
2640	Fabrication de matériel électronique grand public
2680	Fabrication de supports magnétiques et optiques
<i>Activités commerciales du secteur des TIC</i>	
4651	Commerce de gros d'ordinateurs, de matériel périphérique et de logiciels
4652	Commerce de gros de parties et d'équipements électroniques et de
<i>Activités de services dans le secteur des TIC</i>	
5820	Édition de logiciels
61	Télécommunications
6110	Activités de télécommunications par câble
6120	Activités de télécommunications sans fil
6130	Activités de télécommunications par satellite
6190	Autres activités de télécommunications
62	Programmation informatique : conseils et activités connexes
6201	Activités de programmation informatique
6202	Activités de conseils en matière informatique et de gestion des moyens informatiques
6209	Autres activités de services concernant la technologie de l'information et l'informatique
631	Activités de traitement de données, d'hébergement et activités connexes, portails d'entrée sur le Web
6311	Traitement de données, hébergement et activités connexes
6312	Portails d'entrée sur le Web
951	Réparation d'ordinateurs et de matériel de communication
9511	Réparation d'ordinateurs et de matériel périphérique
9512	Réparation de matériel de communications

³⁷ « La production (de biens et de services) d'une industrie candidate doit être principalement destinée à remplir ou à permettre la fonction de traitement de l'information et de communication par des moyens électroniques, y compris la transmission et l'affichage ». [OCDE – 2011]

³⁸ Cette catégorisation reflète une autre agrégation pour le secteur des TIC et ne correspond pas à la classification CITI originale. Cette autre agrégation est utilisée par la CITI pour définir les activités du secteur des TIC, afin d'être cohérente avec la définition du secteur des TIC de l'OCDE (par exemple en classant les industries manufacturières des TIC dans les TIC au lieu des divisions manufacturières (section C)) [CITI – 2008].

Du point de vue des produits, deux nomenclatures possibles peuvent être utilisées pour identifier les produits TIC et les produits M&D :

- Selon la **Classification Centrale des Produits (CPC v2.1)** : 98 produits TIC regroupés en 10 grandes catégories³⁹, 74 produits M&D regroupés en 6 grandes catégories. La relation entre les produits de l'économie de l'information et les définitions sectorielles (fondées sur la CITI) est la suivante : les produits liés à une classification de la CITI appartenant à l'un des secteurs de l'économie de l'information sont inclus, et les produits qui ne sont pas liés à une classification de la CITI appartenant à l'un des secteurs de l'économie de l'information sont exclus, à moins qu'il n'y ait des arguments convaincants en faveur de leur exclusion / inclusion respectivement⁴⁰.
- Le **Système Harmonisé de désignation et de codification des marchandises** (simplement « SH ») de l'Organisation mondiale des douanes (OMD) a été mis à jour en 2022 (« SH22 ») fournissant la liste des marchandises classées comme marchandises TIC⁴¹ ; elles sont regroupées en 5 grandes catégories⁴².

La liste complète des produits TIC et M&D conformément à la version 2.1 de la CPC et la correspondance avec la CITI Rev 4.0 figurent à l'appendice V.

A. 2 Qu'est ce qui définit le « secteur numérique » ?

Dans le contexte du développement de l'Internet des objets, l'intelligence artificielle et d'autres technologies numériques connexes ont été largement intégrées dans les produits. Comme l'a déjà rappelé le rapport du comité d'experts ARCEP / ADEME [ARCEP / ADEME – 2023], ces évolutions posent plusieurs défis liés à la définition actuelle du secteur des TIC et à ses frontières. Ces défis peuvent se traduire par les questions suivantes :

- Quelle est la nature des TIC ? S'agit-il d'une technologie polyvalente (TP) et, par conséquent, ne serait-il destiné qu'aux produits du marché grand public (B2C ou B2B) ou irait-il plutôt au-delà pour englober des marchés spécialisés / domaines d'application (tels que l'industrie 4.0 et d'autres secteurs verticaux de l'économie) ? Exemple : le cas des produits connectés et intelligents.
- Est-il toujours pertinent de considérer les TIC et les M&D comme des secteurs distincts alors que l'écosystème reconnaît une fusion croissante entre le contenu et le support ? Exemple : le cas du métavers.
- Est-il possible de fixer des frontières claires entre le secteur des TIC et d'autres secteurs dont les activités principales sont de plus en plus touchées par les TIC ? Exemple : le cas des

³⁹ Y compris : Ordinateurs et équipements périphériques, Matériel de communication, Matériel électronique grand public, Composants et biens TIC divers, Services de fabrication de matériel TIC, Logiciels commerciaux et de productivité et services de licence, Conseil et services en technologie de l'information, Services de télécommunication, Services de crédit-bail ou de location de matériel TIC, Autres services TIC.

⁴⁰ Un produit lié exclusivement à une catégorie de secteur des TIC est exclu de la liste des produits TIC et quatre sont inclus dans la liste des produits de contenu et de médias. Neuf produits non liés à l'une ou l'autre des définitions sectorielles figurent dans la liste des produits TIC et quatre dans la liste des produits contenus et médias.

⁴¹ L'édition 2022 du SH a introduit plusieurs nouvelles catégories de produits substantiels, dont beaucoup sont des produits intégrant des technologies numériques et méritent donc certaines considérations contre la définition des biens TIC.

⁴² Matériel informatique et périphérique TIC, Matériel de communication, Matériel électronique grand public, Matériel électronique, Biens TIC divers.

blockchains / crypto-monnaies pour le secteur financier, le cas des satellites pour le secteur spatial.

Avec le rythme croissant de la numérisation, de nombreuses activités ont subi une transformation substantielle (dans leur processus / flux ou leurs livrables) tandis que d'autres activités émergent comme de nouvelles activités (leur existence est rendue possible par la numérisation).⁴³ Comme le secteur des TIC n'englobe pas toutes ces activités, on pourrait choisir de les inclure dans un cadre large faisant référence au « secteur numérique ». Cependant, nous avons remarqué que ce concept souffre d'un flou autour de la définition exacte de sa frontière. En l'absence d'une définition claire et commune du concept de « secteur numérique », le terme « économie numérique » est fréquemment utilisée et quantifiée dans certains rapports officiels comme un objet épistémique équivalent. Dans son document [FMI – 2022], le FMI souligne que « *l'absence d'une définition généralement acceptée de l'économie numérique* » ou du « *secteur numérique* » et *l'absence de classifications des industries et des produits pour les plateformes Internet et les services associés sont des obstacles à la mesure de l'économie numérique* ».

Dans le reste de la présente section, le terme « économie numérique » est donc utilisé comme substitut pour aborder le « secteur numérique ».⁴⁴

À l'appui de l'examen de [Bukht – 2017] et d'une analyse approfondie de la façon dont l'économie numérique a été définie dans la littérature, y compris les organismes nationaux de statistique (ONS), on peut identifier trois angles différents reflétés par les auteurs des études examinées lors de la définition du concept d'économie numérique :

- **Perspective des ressources** : lorsque les définitions identifient les technologies sur lesquelles l'économie numérique est fondée, cela inclut également une perspective de contenu (le traitement des données et de l'information) et une perspective de ressources humaines (connaissances, créativité ou compétences humaines rendues possibles par les TIC).
- **Perspective processus / flux** : Les définitions tournent autour de l'utilisation des TIC pour sous-tendre des processus commerciaux particuliers tels que les transactions / commerce, le flux de données / informations qui sont rendus possibles par les TIC et les changements apportés par les TIC aux processus existants.
- **Perspective structurelle** : où les définitions se concentrent sur la transformation économique ou l'identification des nouvelles structures basées sur le web / les réseaux qui émergent.

Le Tableau 11 met en évidence la façon dont les définitions examinées dans la littérature sont mises en correspondance avec les trois perspectives.

⁴³ Cela inclut la transformation comportementale des ménages et des individus en termes de consommation et de production.

⁴⁴ Sauf indication contraire, les deux termes sont utilisés de manière interchangeable.

Une exception notable se trouve dans les publications des ONS, où il était nécessaire de reconnaître les activités numériques (produits et industries) dans le cadre de leur comptabilités nationales. En fait, les statistiques économiques officielles sont établies à l'aide de systèmes internationaux de classification des industries et des produits tels que la Classification International Type par Industrie (CITI Rév. 4) et la Classification Centrale des Produits (CPC 2.1). Ces systèmes de classification sont principalement structurés autour de ce qui est produit plutôt que de la manière dont il est produit, et ne sont donc pas structurés de manière à permettre une agrégation analytiquement utile des activités numériques, qui ont pour la plupart un impact sur la façon dont les biens et services sont produits et livrés. Compte tenu de la pertinence politique de ces informations (par exemple, assurer la comparabilité entre les pays et un suivi cohérent au sein d'un même pays), les cadres de comptabilité nationale doivent évoluer.

En fait, la définition d'un secteur ou d'une activité économique donnée peut être réalisée selon deux perspectives possibles :

- Par ses produits livrables, c'est-à-dire l'ensemble de ses produits extrants (biens et services) ;
- Par l'intermédiaire de ses organisations affiliées, y compris les entités économiques et les industries.

En ce qui concerne la définition des secteurs des TIC et des M&D, les perspectives fondées sur les produits et les perspectives fondées sur l'organisation sont deux facettes complémentaires d'une même médaille ; idéalement, elles doivent être utilisées ensemble pour assurer une image cohérente (par exemple pour le calibrage ou le comblement des écarts).⁴⁵

A.2.1 Définir le périmètre du « secteur numérique » à travers ses produits

Comme de plus en plus d'appareils sont dotés de capacités intelligentes (informatique, connectivité, etc.), le terme de produit intelligent devient flou car il n'y a pas de consensus ou de définition standardisée sur les critères ou les attributs des « produits intelligents ». Étant donné que différentes études reposent sur des conceptualisations différentes, que le corpus de connaissances actuel est dispersé et lacunaire et qu'il manque un langage uniforme et des frontières conceptuelles, cela a conduit à confondre les produits intelligents (c'est-à-dire les dispositifs qui combinent des composants matériels et logiciels d'une manière particulière) avec les services qu'ils rendent ou l'écosystème plus large dans lequel ils opèrent et créent de la valeur.

Grâce à une revue systématique de la littérature, Raff *et al.* [Raff – 2020] a conçu un cadre conceptuel pour définir les produits intelligents sur la base de l'agrégation de 16 critères basés sur les capacités⁴⁶. Ces critères ont ensuite été synthétisés et organisés dans un cadre complet délimitant quatre archétypes de produits distincts pour l'écosystème numérique : (1) *numérique*, (2) *connecté*, (3) *réactif* et (4) *intelligent*. Les différents archétypes s'appuient les uns sur les autres et se définissent par une orchestration particulière des critères. Au fur et à mesure que les archétypes se développent, la

⁴⁵ Par exemple, dans le cas de la définition du secteur des TIC et des M&D, il a été reconnu que "lorsque la première définition du secteur des TIC a été élaborée en 1998, il a été reconnu que la procédure préférée aurait été de définir d'abord les biens et services TIC, puis de formuler les catégories CITI dont les activités concernaient ces biens et services. Cependant, afin d'obtenir un premier ensemble d'indicateurs pour le secteur des TIC dans un laps de temps limité, l'approche adoptée a consisté à définir d'abord les activités, puis à travailler sur une liste de biens et services TIC qui pourraient compléter et aider à affiner la définition basée sur les activités » [OCDE – 2011]

⁴⁶ Les 16 attributs comprennent : Équipé en informatique, Stockage de données, Traitement et analyse des données, Fourniture et transmission de données, Identification unique, Mise en réseau et connectivité, Communication et échange d'informations, Interaction et coopération, Détection, Connaissance du contexte en temps réel, Réactivité et adaptabilité, Actionnement automatisé, Fonctionnalité et personnalisation, Raisonnement et prise de décision, Autonomie et autogestion, Proactivité. [Raff – 2020]

polyvalence des composants tangibles (c'est-à-dire le matériel), la complexité des composants intangibles (c'est-à-dire le logiciel) et les capacités potentielles (c'est-à-dire le matériel et le logiciel fonctionnant ensemble) archétypes se développent également.

La Figure 13 illustre les quatre archétypes de produits intelligents mettant en évidence différents ensembles d'arrangements cyber-physiques et des exemples de produits réels.

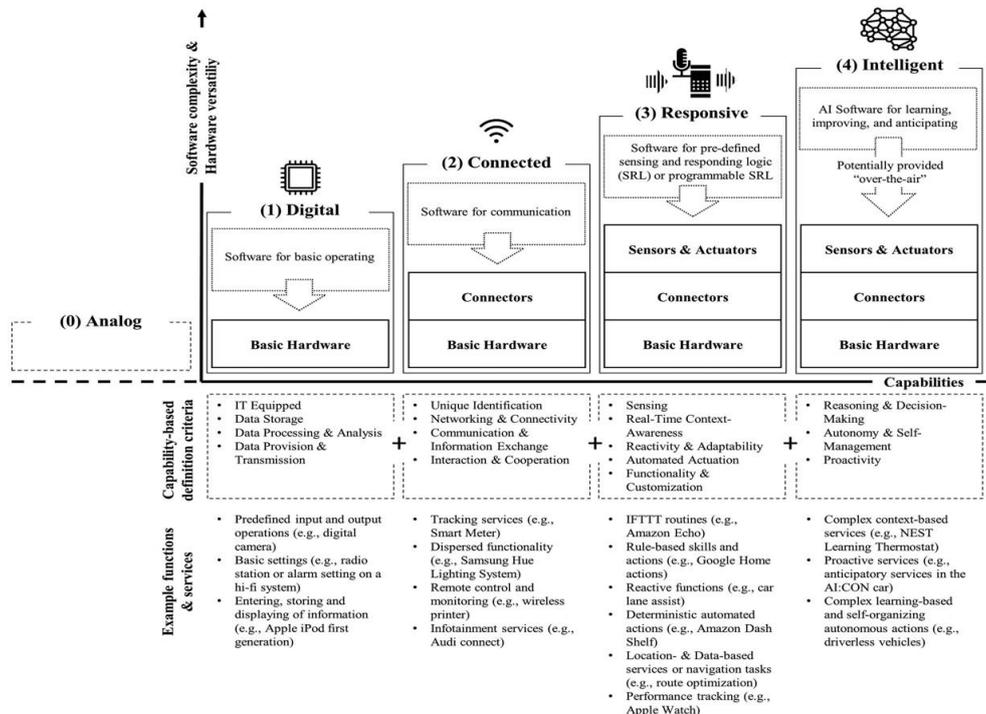


Figure 13 - Archétypes des produits intelligents d'après Raff *et al.* [Raff - 2020]

En 2019, l'OCDE a publié ses lignes directrices pour mesurer l'activité numérique sous forme de tableaux des ressources et des emplois (DSUT) [OCDE – 2019]. Sur la base des lignes directrices de l'OCDE, le Département des statistiques du FMI en collaboration avec les Offices nationaux de statistique (ONS) a entrepris en 2022 un travail expérimental pour définir une méthode standardisée de quantification des effets des technologies numériques sur l'activité économique [FMI – 2022].

Selon le FMI et l'OCDE, afin d'isoler les effets économiques de la numérisation, les produits sont classés en quatre groupes distincts :

- les produits numériques (à l'intérieur des limites de production du Système de comptabilité nationale (SCN),
- les produits non numériques profondément touchés par la numérisation : les biens et services dont la consommation est sensiblement facilitée par les technologies numériques ;
- d'autres produits non numériques ;
- produits numériques (en dehors des limites de production du SCN)

Les quatre groupes de produits sont détaillés dans le Tableau 8, dans la mesure du possible, leur mise en correspondance avec la Classification centrale des produits (CPC version 2.1) ou la Classification des produits par activité (CPA 2008)⁴⁷.

Tableau 8 – Groupe de produits constituant l'économie numérique selon les lignes directrices de l'OCDE

Groupe de produits	Produit	Remarques et commentaires supplémentaires	Classé TIC ? (NOTE 4)
Produits numérique (à l'intérieur des limites des production SCN)	Biens TIC	Biens TIC classes selon CPC 2.1, y compris : les ordinateurs et l'équipement périphérique ; l'équipement de communication ; l'équipement électronique grand public ; et divers composants et biens TIC	Oui
	Services numériques payants : services TIC les services cloud computing et les services numériques intermédiaires	Y compris les classes suivantes d'après la CPC 2.1 : Services de fabrication d'équipements TIC ; les logiciels d'entreprise et de productivité et les services de licence ; Conseil et services en technologie de l'information ; Services de télécommunications ; Services de location ou de location d'équipements TIC ; et autres services TIC.	Oui
	Services cloud computing payants	Ils comprennent une gamme complète de services liés à l'informatique dans le nuage, tels que les modèles IaaS, PaaS et SaaS mappés respectivement avec les classes suivantes : CPA 63.11.1, CPA 62.01 et CPA 58.2.	Oui
	Services numériques intermédiaires payants	Il s'agit notamment des types de services (de plateforme) qui fournissent des informations sur deux parties indépendantes et réussissent à les mettre en relation via une plateforme numérique en échange d'une redevance explicite (payée par le producteur et/ou le consommateur du produit intermédiaire). Il n'y a pas de catégories spécifiques dans les différentes classifications internationales, elles font généralement partie des différents produits de la CPC 2.1.	Oui
Produits non-numériques lourdement affectés par la numérisation (NOTE 1) (NOTE 2)	Transports terrestres, transport par conduites	Division 49 de la CPA	Non
	Services d'hébergement	Division 55 de la CPA	Non
	Services de restauration et de consommation de boissons	Division 56 de la CPA	Non
	Activités de production de films cinématographiques et vidéo, de programmes de télévision, d'enregistrements sonores et d'édition musicale	Division 59 de la CPA	M&D
	Activités de services financiers et d'assurances	Section K de la CPA	No
	Services de publicité et d'études de marché	Division 73 de la CPA	M&D
	Activités des agences de voyage, voyagistes, services de réservation et activités connexes	Division 79 de la CPA	Non
	Activités d'enseignement	Section P de la CPA	Non
	Activités de jeux de hasard et de pari	Division 92 de la CPA	Non
	Services d'édition	Division 58 de la CPA	M&D

⁴⁷ La classification des produits par activité (CPA) est la classification officielle des produits par activité de l'Union européenne. Il s'agit de la version européenne de la classification centrale des produits (CPC) provisoire des Nations Unies. Alors que la CPC n'est qu'une option, la CPA est obligatoire dans la Communauté européenne. La version actuelle est la CPA 2015.

Autres produits non-numériques (NOTE 2)	Tous les autres produits qui ne sont pas classés produits numériques ou produits non-numériques qui sont fortement affectés par la numérisation	Les 85 produits restants au niveau de la division CPA. Selon le FMI et l'OCDE, le suivi de ces produits est considéré comme une faible priorité en raison du rôle réduit qu'ils jouent dans l'économie numérique, du moins jusqu'à présent.	Non
Produits numériques (en dehors des limites de production SNA (NOTE 3))	Données (gratuites) utilisées dans la production de biens et de services	Il peut s'agir d'informations qui sont un sous-produit du processus de production régulier ainsi que de informations spécifiquement récoltées auprès des consommateurs en échange de la fourniture d'un service gratuit ou à prix réduit.	Non
	Services numériques fournis par des entreprises	Cela peut inclure, mais sans s'y limiter, la collecte facile d'informations via Internet, la connexion avec d'autres personnes via les réseaux sociaux ou le divertissement gratuit par des moyens numériques.	Non
	Services numériques fournis par des communautés	Cela inclut la création de tout actif numérique gratuit par les communautés (divers producteurs indépendants) et disponible pour tous sans coût monétaire, y compris les services gratuits qui peuvent être dérivés de ces actifs. Contrairement aux services numériques fournis par les entreprises et qui ne relèvent pas du SCN, les services numériques fournis par les collectivités n'ont pas été produits par une seule entité mais sont le résultat d'un effort collectif. De même, tout actif résultant n'est pas détenu par une seule entité (commerciale).	Non

NOTE 1 – Les produits inclus dans ce sous-groupe ont été sélectionnés sur la base du fait que la manière dont leurs services associés sont fournis aux consommateurs a été considérablement, ou sera bientôt, affectée par la transformation numérique – soit parce que les services sont fournis par voie électronique, soit parce que le secteur a été considérablement affecté par les plateformes d'intermédiation numérique [OCDE – 2019].

NOTE 2 – Cela reflète une identification actuelle, la liste des produits peut être mise à jour. Selon l'OCDE « La composition des produits de cette catégorie changera probablement au fil du temps, reflétant la nature évolutive de l'économie numérique ». [OCDE – 2019]

NOTE 3 – Ils dépassent les cadres du SCN pour différentes raisons, notamment : leur nature non monétaire, l'absence de propriété identifiée de l'actif résultant et l'absence de méthodologie harmonisée et convenue pour leur évaluation, du moins jusqu'à présent. Actuellement et afin de conserver une agrégation significative, les produits appartenant à ce groupe sont déclarés séparément pour les trois autres groupes.

Les entreprises qui produisent leurs propres services pour la vente mais qui fonctionnent exclusivement par voie électronique. Comprend : les fournisseurs de médias numériques payants, les fournisseurs de services par abonnement (en supposant que le service est fourni par voie électronique).

A.2.2 Définir le périmètre du « secteur numérique » à travers ses activités

Selon les lignes directrices de l'OCDE [OCDE – 2019], les tableaux des ressources et des emplois identifient sept « industries numériques ». Comme la compréhension de l'impact de la numérisation est un processus complexe et progressif, cette classification doit être considérée comme un reflet de la situation actuelle. En fonction de la disponibilité des données et de l'endroit où les services nationaux de statistique jugent que le travail est pertinent pour leur pays, ils sont libres de décomposer toute industrie spécifique de la CITI ou toute nouvelle industrie numérique supplémentaire en sous-ensembles supplémentaires adaptés à leurs besoins politiques.

Le Tableau 9 résume les 7 branches d'activité identifiées et les catégories CITI correspondantes.

Tableau 9 – Groupes d'industries numériques selon les lignes directrices de l'OCDE

Industries numériques	Remarques, enseignements supplémentaires et exemples
-----------------------	--

Industries qui sous-tendent l'économie numérique	<p>Entreprises engagées dans la production qui permettent la fonction de traitement de l'information et de communication par des moyens électroniques. Comprend : les fournisseurs d'accès Internet, les entreprises de télécommunications, les fournisseurs et les développeurs de logiciels, les fabricants d'ordinateurs et les développeurs de sites Web.</p> <p>Ceux-ci sont mis en correspondance avec les industries du secteur des TIC telles que définies dans la CITI Rév.4.</p> <p>Exemples : Amazon Web Services, Dell, Ooredoo, Orange ...</p>
Plateformes intermédiaires numériques se rémunérant à la commission	<p>Les entreprises qui reçoivent un paiement explicite pour faciliter une transaction entre deux ou plusieurs ensembles d'utilisateurs distincts mais interdépendants. Comprend : les entreprises de livraison de nourriture, les portails de réservation de voyages, les plateformes facilitant les enchères en ligne ou les places de marché qui n'assument aucune propriété de stock.</p> <p>Pourrait correspondre aux classes CITI suivantes : 4799, 4791 et 7990</p> <p>Exemples : Airbnb, Booking.com, Deliveroo, Uber ...</p>
Plateformes numériques à base de vente de données ou de recettes publicitaires	<p>Les entreprises qui opèrent exclusivement en ligne génèrent principalement des revenus via la vente de données ou d'espaces publicitaires. Comprend : les moteurs de recherche, les plateformes de médias sociaux, les développeurs d'applications téléphoniques à prix nul et les plateformes de partage d'informations.</p> <p>Il est presque probable qu'il ne corresponde pas à une catégorie formelle de la CITI.</p>
Entreprises qui dépendent des plateformes intermédiaires (NOTE)	<p>Les fournisseurs de services indépendants qui s'approvisionnent en travail sur des plateformes numériques et les entreprises qui vendent via une plateforme numérique tierce. Comprend : les entreprises qui vendent principalement en ligne, mais qui le font via leur propre site Web / plateforme numérique.</p> <p>Exemples : Coursiers à vélo, chauffeurs Uber, Uber Eats, Deliveroo</p>
Commerçants en ligne (NOTE)	<p>Les entreprises de vente au détail et en gros qui achètent et revendent des biens ou des services et qui reçoivent la majorité de leurs commandes par voie numérique.</p> <p>Probablement considérées comme faisant partie de la classe CITI 4791.</p> <p>Exemples : JD.com, Sarenza, Zalando ...</p>
Entreprises aux activités uniquement numériques, qui fournissent des services financiers et d'assurance	<p>Les entreprises qui fournissent des services financiers et d'assurance qui fonctionnent exclusivement par voie électronique, sans interaction physique avec les consommateurs. Comprend : les banques et autres fournisseurs de services financiers en ligne uniquement, les fournisseurs de systèmes de paiement en ligne uniquement.</p> <p>Exemples : Open bank, Paybal, Lydia ...</p>
Autres fournisseurs aux activités uniquement numériques	<p>Les entreprises qui produisent leurs propres services pour la vente mais qui fonctionnent exclusivement par voie électronique. Comprend : les fournisseurs de médias numériques payants, les fournisseurs de services par abonnement (en supposant que le service est fourni par voie électronique).</p> <p>La plupart seraient probablement considérées comme faisant partie des TIC telles que définies par la CITI.</p> <p>Exemples: Bet365, Netflix, Spotify, journal « The Independent » ...</p>
<p>NOTE – La catégorisation des unités économiques au sein de cette industrie numérique n'est pas statique et soumise à la détermination de critères reflétant l'importance du numérique dans leurs processus de base / modèle commercial. Par exemple ; en ce qui concerne la catégorie des « entreprises dépendantes de plateformes intermédiaires », si l'unité utilise des plateformes comme canal secondaire (c'est-à-dire qu'elle génère moins de 50 % de leur demande via des plateformes intermédiaires), elle devrait rester dans sa catégorie CITI d'origine respective. Un raisonnement similaire est appliqué pour la catégorie « E-commerçants » : lorsque les détaillants et les grossistes qui génèrent moins de 50 % de leur demande par voie numérique, ils doivent rester dans leur catégorie CITI d'origine respective. À cet égard, l'OCDE reconnaît qu'un changement important dans le mode de transaction peut entraîner une reclassification des entités au fil du temps [OCDE – 2019].</p>	

L'Appendice III des lignes directrices de l'OCDE [OCDE – 2019] fournit un arbre de décision pour aider un praticien à catégoriser les unités au sein des sept industries numériques identifiées.

A.2.3 Une approche à plusieurs niveaux pour définir le « secteur numérique »

La numérisation est un processus omniprésent qui conduit à l'émergence du « secteur numérique » en tant qu'objet qui mérite d'être mesuré et évalué (économiquement, environnementalement, etc.) en permanence. La différence de définition (et donc de périmètre) du « secteur numérique » est souvent due à la nature des questions de recherche et à la facette du « secteur numérique » qui est analysée comme le souligne le Tableau 10.

Tableau 10 – Les différentes perspectives utilisées pour définir les périmètres d'un secteur

Perspective à utiliser pour définir les périmètres	Questions de recherche et objectif principal
Définition basée sur les produits : définir le secteur à travers ses livrables	<i>Quelle est l'impact de la numérisation sur la production?</i> Mettre l'accent sur l'utilisation des produits numériques par les producteurs (dans quelle mesure que les produits sont influencés par les intrants numériques), y compris la production de produits numériques
Définition basée sur l'organisation	Mettre l'accent sur l'impact de l'analyse macro-entrées / sorties des entités du secteur
Définition basée sur l'organisation	<i>Comment la numérisation a-t-elle perturbé les chaînes de valeur ?</i> Mettre l'accent sur la nature des transactions, c'est-à-dire si les produits sont commandés et / ou livrés par voie électronique
Une nouvelle perspective allant au-delà des limites actuelles de la production des comptes nationaux	Mettre l'accent sur les perturbations du comportement des ménages ou des individus dues au numérique (par exemple, en termes de consommation et de production) comprendra probablement un accent sur les aspects non-monnaires de l'économie numérique

Dans sa tentative d'équilibrer les différentes tensions et de concilier les différentes perspectives adoptées par les services nationaux de statistique dans leurs statistiques respectives pour aborder une mesure du « secteur numérique » et de l'impact de la numérisation, l'OCDE propose une définition complète (mais relativement large) de l'économie numérique à des fins politiques comme suit [OCDE – 2020]⁴⁸ :

« L'économie numérique regroupe toutes les activités économiques qui dépendent des intrants numériques ou qui sont considérablement améliorées par l'utilisation de ces données, y compris les

⁴⁸ Ce rapport de l'OCDE s'appuie sur les travaux précédents du G20 et d'autres travaux pertinents pour élaborer une « feuille de route vers un cadre commun de mesure de l'économie numérique », y compris une proposition de définition commune de l'économie numérique et un ensemble d'indicateurs existants pour mesurer les emplois, les compétences et la croissance dans l'économie numérique s'appuie sur divers efforts nationaux et internationaux visant à mesurer et à comprendre les principaux aspects de l'économie numérique et cherche à faire progresser la mesure au sein du G20 pays et au-delà. Plus directement, le rapport s'appuie sur la boîte à outils du G20 pour mesurer l'économie numérique (G20, 2018), qui présente les données disponibles pour les pays du G20 à travers 36 indicateurs clés dans les thèmes suivants : Infrastructure ; Responsabiliser la société ; l'Innovation et l'adoption de la technologie ; et Emplois et croissance.

technologies numériques, les infrastructures numériques, les services numériques et les données. Il fait référence à tous les producteurs et consommateurs, y compris le gouvernement, qui utilisent ces intrants numériques dans leurs activités économiques. »

Pour répondre aux différentes questions de recherche susmentionnées dans un cadre unique complet, l'OCDE a recommandé une approche progressive et souple pour définir le champ d'application de l'économie numérique (et au-delà) :

- **Niveau 1 (Strate 1) : Mesure de base** : La mesure de base de l'économie numérique ne comprend que l'activité économique des producteurs de biens TIC, de services de TIC et d'information et de contenu numérique⁴⁹ ;
- **Niveau 2 (Strate 2) : La mesure étroite** comprend le secteur de base ainsi que l'activité économique dérivée des entreprises qui dépendent des intrants numériques ;
- **Niveau 3 (Strate 3) : La mesure large** comprend les deux premières mesures ainsi que l'activité économique des entreprises considérablement renforcée par l'utilisation d'intrants numériques ;
- **Au-delà de l'économie numérique : La société numérique** : Elle s'étend au-delà de l'économie numérique et intègre des interactions et des activités numérisées non incluses dans la limite de production du PIB, telles que l'utilisation de plateformes numériques gratuites (y compris les plateformes numériques publiques).⁵⁰

La Figure 14 décrit les limites de l'économie numérique à travers ses différents niveaux/strates de périmètre et sa relation avec l'économie traditionnelle, la société numérique et la société traditionnelle. Avec le rythme croissant de la numérisation (tirée par exemple par l'IoT), les niveaux/strates 2 et 3 repoussent leurs limites, et cela vaut encore plus pour le niveau/strate 3.

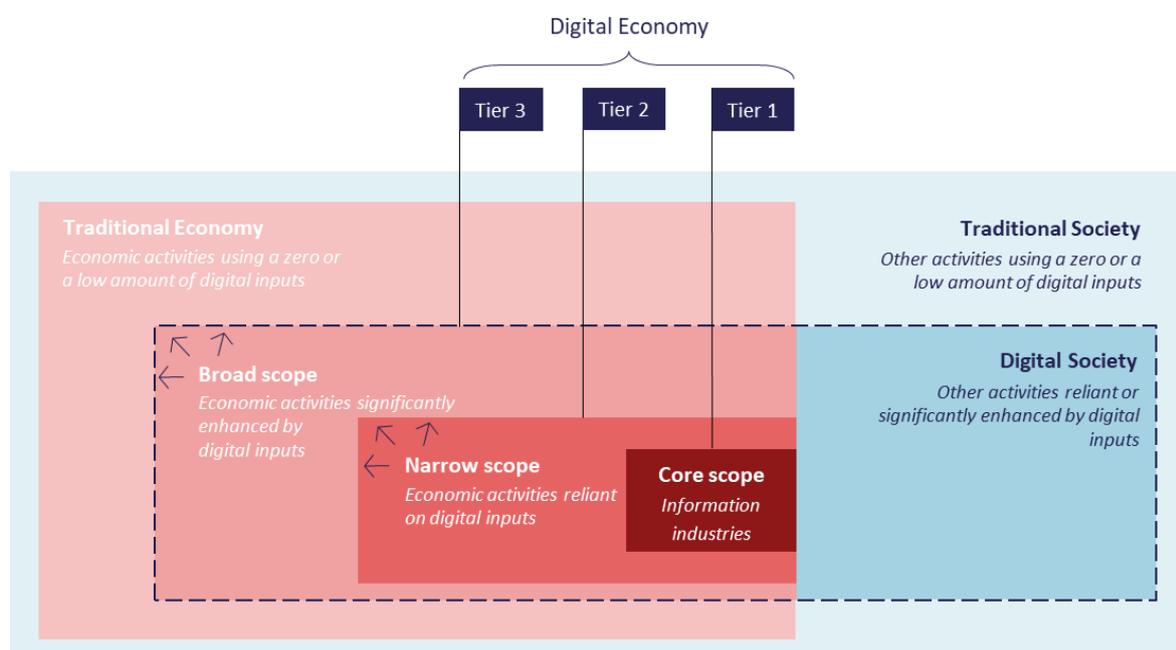


Figure 14 - Illustration des limites de l'économie numérique au sein de l'économie traditionnelle et de la société

⁴⁹ Techniquement, cela correspond aux « industries de l'information » (définies par l'OCDE comme l'ensemble du secteur des TIC et du « secteur des médias et du contenu »)

⁵⁰ Ce niveau ultime comprendrait les activités numériques qui ne sont pas explicitement enregistrées comme production économique, mais qui entraînent un surplus du consommateur supplémentaire, le bien-être et d'autres avantages pour la société, comme la diffusion de l'information et du savoir.

La Figure 15 de [OCDE – 2020] illustre la manière dont ces niveaux s'intègrent dans l'économie / la société au sens large. Il place les différents niveaux de l'économie numérique dans une matrice bidimensionnelle montrant le type de produits et l'importance des intrants numériques utilisés dans le processus de production et ses résultats.

Included in GDP production boundary		Outputs		
		Digital	Non-Digital	Society
Digital inputs as a factor of production	High	Core measure: Economic activity from producers of digital content, ICT goods and services	Narrow measure: Economic activity from producers reliant on digital inputs	Digital society
	Medium	Core measure: Economic activity from producers of digital content, ICT goods and services	Broad measure: Economic activity from producers significantly enhanced by digital inputs	
	Low / none	Core measure: Economic activity from producers of digital content, ICT goods and services	Traditional economy	Traditional society

Figure 15- Mesurer l'économie numérique au sien de l'économie traditionnelle (source: [OECD – 2020])

L'OCDE reconnaît que les niveaux/strates 2 et 3 peuvent permettre la subjectivité avec l'utilisation de mots tels que « dépendant » et « amélioré », mais elle offre la possibilité de poser les questions suivantes « *comment le produit est-il fabriqué ?* ». Ce choix est délibéré car non seulement les économies des pays se trouvent à différents stades du processus de numérisation, mais les entreprises d'une économie donnée sont également susceptibles de passer d'un secteur à l'autre en fonction de l'évolution de leurs activités et de leur technologie.

En général, la production des activités économiques comprises dans les mesures étroites et large n'est pas essentiellement de nature numérique. Pour les produits non numériques inclus, le facteur de décision est le niveau d'intrants numériques utilisés dans le processus de production.

La distinction entre Niveau/strate 2 et Niveau/strate 3 serait probablement difficile dans la pratique, mais une différence fondamentale peut être faite en paraphrasant une question posée par Bukht et Heeks [Bukht – 2017], « *cette activité économique est-elle uniquement due aux entrées numériques ?* » Si la réponse est « *Oui* », alors l'entreprise serait classée dans le niveau/strate 2, si la réponse est « *Non* » et que le modèle d'affaires de l'entreprise et l'activité économique générée existaient auparavant, bien que sous une forme réduite ou plus inefficace, l'entreprise serait classée dans le niveau/strate 3. Ainsi, le niveau/strate 2 peut correspondre à des secteurs faisant un usage intensif du numérique, étendant les limites de l'activité économique, tandis que le niveau/strate 3 peut correspondre à des secteurs faisant un usage intensif des technologies numériques et améliorant d'une manière ou d'une autre l'activité économique existante.

Selon l'OCDE, il existe deux approches possibles pour délimiter la production pour chaque niveau de l'économie numérique :

- **Une délimitation au niveau de l'entreprise :** Cette approche peut être préférée pour des raisons pratiques, lors de la classification des entreprises dans les mesures de base, étroites ou larges, la totalité de la production de l'entreprise sera incluse dans le niveau identifié.

- **Une délimitation fondée sur la nature de l'opération** : Cette approche offre la souplesse et la possibilité de diviser l'activité économique par produit, qui est inférieur au niveau de l'entreprise, plutôt que d'attribuer l'ensemble de l'activité économique de l'entreprise à un niveau donné. Bien que cela puisse entraîner une mesure plus laborieuse en raison des difficultés causées par la disponibilité des données, cela créera sans doute une image plus détaillée de l'économie numérique étant donné que la numérisation a un impact non seulement différent sur les entreprises d'un secteur donné, mais aussi au sein d'une même entreprise (ensemble différent de produits). Une délimitation fondée sur la nature de l'opération est déjà prise en compte lors de l'établissement de la TSM. L'OCDE distingue deux types de transactions (voir [OCDE – 2019] [OCDE – 2020] pour plus de détails) :
 - (i) Biens et services commandés par voie électronique et
 - (ii) Services fournis par voie numérique.

Tableau 11 – Cartographie des définitions de « l'économie numérique » abordées sous trois angles

Étude	Sous l'angle des ressources	Sous l'angle des processus / flux	Sous un angle structurel	Fait saillant de la définition ou extrait pertinent (basé en partie sur l'examen de [Bukht – 2017])
<p>Tapscott 1996: The Digital Economy: Promise and Peril in the Age of Networked Intelligence</p> <p>Tapscott, D., 1996. The Digital Economy: Promise and Peril in the Age of Networked Intelligence, McGraw-Hill, New York, NY.</p>	X			« L'ère de l'intelligence en réseau » où il ne s'agit « pas seulement de la mise en réseau de la technologie... des machines intelligentes... mais sur la mise en réseau des humains grâce à la technologie » qui « combinent intelligence, connaissance et créativité pour des percées dans la création de richesse et le développement social ».
<p>Lane 1999: Advancing the Digital Economy into the 21st Century (Assistant to the US President for Science and Technology)</p> <p>Lane, N., 1999. Advancing the digital economy into the 21st century, Information Systems Frontiers, 1(3), 317-320.</p>		X		« ... la convergence des technologies de l'informatique et de la communication dans l'Internet et le flux d'informations et de technologies qui en résulte et qui stimule l'ensemble du commerce électronique et de vastes changements organisationnels ».
<p>Brynjolfsson & Kahin 2000: Understanding the Digital Economy: Data, Tools, and Research</p> <p>Brynjolfsson, E. & Kahin, B. 2000. Introduction, in Understanding the Digital Economy, E. Brynjolfsson & B. Kahin (eds), MIT Press, Cambridge, MA, 1-10.</p>	X		X	« ... la transformation récente et encore largement non réalisée de tous les secteurs de l'économie par la numérisation de l'information assistée par ordinateur ».
<p>Kling & Lamb 2000</p> <p>Kling, R. & Lamb, R. 2000. IT and organizational change in digital economies, in Understanding the Digital Economy, E. Brynjolfsson & B. Kahin (eds), MIT Press, Cambridge, MA, 295-324.</p>		X		« ... comprend les biens ou services dont le développement, la production, la vente ou la fourniture dépend de manière critique des technologies numériques ».
<p>Mesenbourg 2001: Measuring the Digital Economy (US Bureau of the Census)</p> <p>Mesenbourg, T.L., 2001. Measuring the Digital Economy, US Bureau of the Census, Suitland, MD. https://www.census.gov/content/dam/Census/library/workingpapers/2001/econ/umdigital.pdf</p>		X		<p>Définit l'économie numérique comme ayant trois composantes principales :</p> <ul style="list-style-type: none"> - L'infrastructure du commerce électronique représente la part de l'infrastructure économique totale utilisée pour soutenir les processus de commerce électronique et le commerce électronique - Les affaires électroniques sont tout processus qu'une organisation commerciale mène sur des réseaux informatiques - Le commerce électronique est la valeur des biens et services vendus sur des réseaux informatiques.
<p>Economist Intelligence Unit 2010: Digital Economy Rankings 2010</p> <p>Economist Intelligence Unit, 2010. Digital Economy Rankings 2010 Beyond E-Readiness, Economist Intelligence Unit, London. http://graphics.eiu.com/upload/EIU_Digital_economy_rankings_2010_FINAL_WEB.pdf</p>	X			Le classement de l'économie numérique est basé sur : « La qualité de l'infrastructure TIC d'un pays et la capacité de ses consommateurs, entreprises et gouvernements à utiliser les TIC à leur avantage ».
<p>OECD 2013: The Digital Economy</p> <p>http://www.oecd.org/daf/competition/The-DigitalEconomy-2012.pdf</p>		X		« L'économie numérique permet et exécute le commerce de biens et de services par le biais du commerce électronique sur Internet ».
<p>Department of Broadband Communications and the Digital Economy (DBCDE), Australia 2013: Advancing Australia as a Digital Economy: An Update to the National Digital Economy Strategy</p> <p>http://apo.org.au/node/34523</p>			X	« Le réseau mondial d'activités économiques et sociales rendues possibles par la technologie numérique, comme l'internet et les réseaux mobiles ».
<p>European Commission 2013: Expert Group on Taxation of the Digital Economy</p>		X	X	« .. une économie basée sur les technologies numériques (parfois appelée économie Internet) ».

http://ec.europa.eu/taxation_customs/sites/taxation/files/resources/documents/taxation/gen_info/good_governance_matters/digital/general_issues.pdf					
British Computer Society 2014: The Digital Economy https://policy.bcs.org/sites/policy.bcs.org/files/digital%20economy%20Final%20version_0.pdf			X	« L'économie numérique fait référence à une économie basée sur les technologies numériques, bien que nous la percevions de plus en plus comme la conduite des affaires par le biais de marchés basés sur Internet et le World Wide Web ».	
European Parliament 2015: Challenges for Competition Policy in a Digitalised Economy http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2015/542235/IPOL_STU(2015)542235_EN.pdf				X	« Une structure complexe de plusieurs niveaux / couches reliés entre eux par un nombre presque infini et toujours croissant de nœuds. Les plateformes sont empilées les unes sur les autres, ce qui permet d'atteindre les utilisateurs finaux de multiples itinéraires et rend difficile l'exclusion de certains acteurs, c'est-à-dire les concurrents. »
House of Commons 2016: The Digital Economy https://www.publications.parliament.uk/pa/cm201617/cmselect/cmbis/87/87.pdf	X				« L'économie numérique désigne à la fois l'accès numérique aux biens et services et l'utilisation de la technologie numérique pour aider les entreprises ».
G20 DETF 2016: G20 Digital Economy Development and Cooperation Initiative http://www.g20.utoronto.ca/2016/g20-digital-economy-development-andcooperation.pdf				X	« ... un large éventail d'activités économiques qui incluent l'utilisation de l'information et des connaissances numérisées comme facteur clé de production, les réseaux d'information modernes comme espace d'activité important et l'utilisation efficace des technologies de l'information et de la communication (TIC) comme moteur important de la croissance de la productivité et de l'optimisation structurelle économique. »
Elmasry <i>et al.</i> 2016: Digital Middle East: Transforming the Region into a Leading Digital Economy (Digital McKinsey) http://www.mckinsey.com/global-themes/middle-east-and-africa/digital-middle-east-transforming-the-region-into-a-leading-digital-economy			X	X	« moins comme un concept et plus comme une façon de faire les choses », mais avec trois attributs : « créer de la valeur aux nouvelles frontières du monde des affaires, optimiser les processus qui exécutent une vision de l'expérience client et construire des capacités fondamentales qui soutiennent l'ensemble de la structure ».
Bahl 2016: The Work Ahead: The Future of Businesses and Jobs in Asia Pacific's Digital Economy (Cognizant) https://www.cognizant.com/whitepapers/the-work-ahead-the-future-of-business-and-jobs-in-asia-pacifics-digital-economy-codex2255.pdf			X		
Knickrehm <i>et al.</i> 2016 : Digital Disruption (Accenture) https://www.accenture.com/acnmedia/PDF-4/Accenture-Strategy-DigitalDisruption-Growth-Multiplier.pdf	X				« L'économie numérique est la part de la production économique totale dérivée d'un certain nombre d'intrants « numériques » généraux. Ces intrants numériques comprennent les compétences numériques, les équipements numériques (matériel, logiciels et équipements de communication) et les biens et services numériques intermédiaires utilisés dans la production. Ces mesures générales reflètent les fondements de l'économie numérique. »

Rouse 2016: Digital Economy http://searchcio.techtarget.com/definition/digital-economy	X		X	« L'économie numérique est le réseau mondial d'activités économiques rendues possibles par les technologies de l'information et de la communication (TIC). Elle peut aussi être définie plus simplement comme une économie basée sur les technologies numériques. »
Dahlman et al. 2016: Harnessing the Digital Economy for Developing Countries (OECD) http://www.oecd-ilibrary.org/docserver/download/4adffb24-en.pdf	X			« L'économie numérique est la fusion de plusieurs technologies polyvalentes (TP) et de l'ensemble des activités économiques et sociales menées par les individus sur Internet et les technologies connexes. Il englobe l'infrastructure physique sur laquelle reposent les technologies numériques (lignes haut débit, routeurs), les appareils utilisés pour l'accès (ordinateurs, smartphones), les applications qu'elles alimentent (Google, Salesforce) et les fonctionnalités qu'elles fournissent (IoT, analyse de données, cloud computing). »
OUP 2017: Digital Economy https://en.oxforddictionaries.com/definition/digital_economy		X		« Une économie qui fonctionne principalement au moyen de la technologie numérique, en particulier des transactions électroniques effectuées à l'aide d'Internet. »
Deloitte: What is Digital Economy? https://www2.deloitte.com/mt/en/pages/technology/articles/mt-what-is-digitaleconomy.html			X	« ... l'activité économique qui résulte de milliards de connexions en ligne quotidiennes entre les personnes, les entreprises, les appareils, les données et les processus. L'épine dorsale de l'économie numérique est l'hyperconnectivité, ce qui signifie l'interconnexion croissante des personnes, des organisations et des machines résultant d'Internet, de la technologie mobile et de l'Internet des objets (IoT). »
NSO (United States): Bureau of Economic Analysis (BEA) 2021. G20 Digital Economy Task Force (DETF) Questionnaire on Measuring the Digital Economy [OECD- 2020]	X			« Le BEA inclut trois grands types de biens et de services dans sa définition de l'économie numérique : l'infrastructure qui sous-tend le numérique avait besoin d'un réseau informatique interconnecté pour exister et fonctionner ; les transactions de commerce électronique qui ont lieu à l'aide de ce système et de ces médias numériques, ou le contenu que les utilisateurs de l'économie numérique créent et consultent. BEA considère que les données font partie de l'économie numérique. [OCDE – 2020]. »
NSO (Canada): Statistics Canada: “Measuring digital economic activities in Canada: Initial estimates.” 2021 https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/13-605-x/2019001/article/00002-eng.htm	X			« Statistique Canada applique les mêmes concepts et définitions de l'économie numérique que ceux utilisés par le Bureau of Economic Analysis des États-Unis, et comprennent certains produits numériques « partiels » pour lesquels il existe des données. Le présent travail repose également, dans une large mesure, sur les documents de l'OCDE relatifs à la mesure de l'économie numérique, y compris un cadre de mesure de l'économie numérique de l'OCDE et peut être décomposée selon les catégories suivantes : 1) infrastructure favorisant le numérique; 2) opérations de commande numérique (commerce électronique); et 3) produits livrés par voie numérique (médias numériques). » [FMI – 2022]

NSO (Australia): Australian Bureau of Statistics: G20 Digital Economy Task Force (DETF) Questionnaire on Measuring the Digital Economy [OECD- 2020]	X			« L'ABS a mesuré les activités numériques en Australie comme la production de : l'infrastructure numérique habilitante (matériel informatique, logiciels, équipements de télécommunications et services de soutien qui forment et facilitent l'utilisation des réseaux informatiques) ; médias numériques (services numériques de diffusion audio, vidéo et publicitaire) et commerce électronique. » [OCDE – 2020]
NSO (China): G20 Digital Economy Task Force (DETF) Questionnaire on Measuring the Digital Economy [OECD- 2020]			X	« L'économie numérique fait référence à un large éventail d'activités économiques qui comprennent l'utilisation de l'information et des connaissances numérisées comme facteur clé de production, les réseaux d'information modernes comme espace d'activité important et l'utilisation efficace des technologies de l'information et de la communication (TIC) comme moteur important de la croissance de la productivité et de l'optimisation structurelle économique. » [OCDE – 2020]

Annexe B

Lignes directrices pour l'évaluation de l'empreinte d'un dispositif connecté

(Cette annexe est relative à Section 4)

La présente Annexe fournit des orientations pratiques sous la forme d'une liste de contrôle destinée à aider un praticien à modéliser la part des émissions intrinsèques attribuables aux TIC (section 1) et à modéliser les émissions embarquées du dispositif connecté (section 2).

B.1 Orientations pratiques pour la modélisation détaillée de la part des émissions embarquées attribuable aux TIC

Le Tableau 12 se réfère aux rubriques du Tableau E.1 (de l'Annexe E) et du Tableau D.1 (de l'Annexe D) conformément à la norme [UIT L.1410], en identifiant la correspondance la plus proche possible, mais n'envisage pas de suivre strictement l'Annexe E et l'Annexe D car le respect de leurs exigences peut être difficile et n'est pas destiné à une évaluation de « l'approche simplifiée ».

La Figure 16 illustre la structure générique d'un module de communication universel de dispositifs mobiles (cellulaires) de l'IoT, comme spécifié dans la Recommandation UIT-T Y.4210. Notez que cette structure n'est qu'indicative, car les autres dispositifs IoT peuvent ne pas être connectés via des réseaux cellulaires. Pour un ensemble exhaustif de processus / composants attribuables à la connectivité, le praticien doit se référer au Tableau 12.

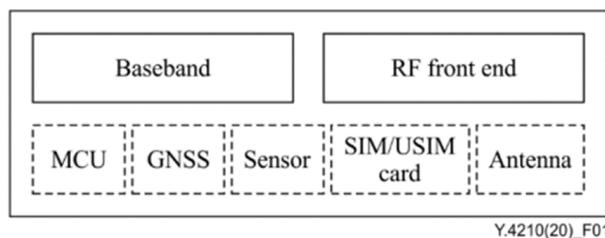


Figure 16 – Exemple de structure générique d'un module de communication universel de dispositifs mobiles de l'IoT (extrait de la [UIT-T Y.4210]). Les boîtes en pointillés sont considérées comme des éléments facultatifs conformément à la Recommandation.

Tableau 12 doit être considéré comme une liste de contrôle à prendre en compte en ce qui concerne le niveau de granularité de l'évaluation et la complexité de l'appareil IoT (par exemple, objets simples (tags RF) par rapport aux objets plus complexes)

Tableau 12 – Liste de contrôle pour identifier les processus / composants attribuables à la connectivité

Composant / processus	Catégorie de composant	Pièce ou processus générique (cf. [ITU L.1410])* **	Paramètres (exemple de métrique)
Émetteur-récepteur radio	IC	B1.1.4 IC*	<ul style="list-style-type: none"> • Technologie IC (nœud technologique CMOS) [nm] • Surface équivalente de la puce en silicium (par surface [mm²]) • CI package type / type de boîtier semi-conducteur (par Pièce) • CI Entrées / sorties (E / S) count (nombre d' E / S) • Nombre de boîtiers semi-conducteur (E / S) (nombre d'E / S) • Poids du boîtier semi-conducteur (par masse)
Mémoire ⁽¹⁾	CI	B1.1.4 IC*	<ul style="list-style-type: none"> • Même que le modem • Taille et type de mémoire ([Mo])
Circuit imprimé ⁽²⁾	Circuit imprimé	B1.1.7 circuits imprimés*	<ul style="list-style-type: none"> • Masse (par [Kg]) • Couches carte (nombre de couches) • Surface de la carte (in [cm²]) • Pièce (par [Pièce])
Alimentation électrique (alimentée par batterie ou système de récolte) ¹¹	Batteries	B1.1.1 Batteries*	<ul style="list-style-type: none"> • Facteur de forme et composition de la batterie (par exemple, piles boutons ; Alcaline ou Lithium ion...) • Masse (par [Kg]) • Pièce (par [Pièce]) • Récupérateur d'énergie • Transformateur AC / DC
Unité de gestion de l'alimentation (PMU) ⁽⁸⁾	CI	B1.1.4 IC*	<ul style="list-style-type: none"> • Même que l'émetteur-récepteur
Antenne externe	Métaux et composants métalliques / Composant mécanique polymère	B1.1.5 Mécanique / Matériels*	<ul style="list-style-type: none"> • Poids (par [Kg]) • Pièce (par [Pièce]) • Matériel type (e.g. aluminium, plastique, acier ...)
Antenne embarquée ⁽⁶⁾	Circuits imprimés	B1.1.7 circuits imprimés*	<ul style="list-style-type: none"> • Même que les circuits imprimés
Carte SIM	CI	B1.1.4 IC	<ul style="list-style-type: none"> • Même que le modem
Plateau SIM ⁽³⁾	Composant mécanique polymère	B1.1.5 Mécanique / Matériels*	<ul style="list-style-type: none"> • Poids (par [Kg]) • Pièce (par [Pièce])
Jeu de puces eUICC ⁽³⁾	CI	B1.1.4 IC*	<ul style="list-style-type: none"> • Même que le modem
Connecteurs ⁽⁴⁾	Composant mécanique polymère	B1.1.3 Électromécanique*	<ul style="list-style-type: none"> • Poids (par [Kg]) • Pièce (par [Pièce]) • Type de matériel (or, cuivre ...)
Boîtier dédié	Composant mécanique polymère	B1.1.5 Mécanique / Matériels*	<ul style="list-style-type: none"> • Poids (par [Kg]) • Pièce (par [Pièce]) • Matériel type (e.g. aluminium, plastique, acier...) • Type de processus manufacturier

Câble	Composant mécanique polymère	B1.1.2 câbles*	<ul style="list-style-type: none"> Longueur (par [cm]) Section du câble [cm²]
Microprocesseurs ⁽⁵⁾	CI	B1.1.4 IC*	<ul style="list-style-type: none"> Même que le modem
Diodes à transistors, condensateurs, inductances/bobines, résistances, cristaux etc.	Éléments regroupés RF	B1.1.8 Autre composants de circuits imprimés*	<ul style="list-style-type: none"> Poids (par [Kg]) Pièce (par [Pièce])
Blindages électromagnétiques pour circuits intégrés	Composant métallique	B1.1.5 Mécanique / Matériels*	<ul style="list-style-type: none"> Poids (par [Kg]) Pièce (par [Pièce])
Tout autre composant ou module ⁽⁷⁾	Component / Module	B.1.1.10 Module de boîte noire*	<ul style="list-style-type: none"> Poids (par [Kg]) Pièce (par [Pièce])
Processus d'assemblage ⁽⁹⁾	Assemblage	B.1.2 Assemblage*	<ul style="list-style-type: none"> Le poids (par [Kg]) pourrait être une clé appropriée pour l'attribution Le débit du processus d'assemblage
Processus de distribution ⁽¹⁰⁾	Distribution	G.1 Transport et voyages**	<ul style="list-style-type: none"> TonnexKm (ou KgxKm)
<p>* Voir le Tableau E.1 dans l'Annex E "Types de composants des biens TIC" dans [UIT L.1410]</p> <p>** Voir le Tableau D.1 de l'Annex D "Processus génériques" dans [UIT L.1410]</p> <p>(1) Si utilisé par le module de connectivité. Certains chipsets à haut débit de données (par exemple, les cellulaires 4G / 5G) peuvent nécessiter une mémoire supplémentaire dédiée</p> <p>(2) Dans le cas où le module de connectivité est monté sur un circuit imprimé dédié. Cela inclut la pâte à souder utilisée pour fixer les composants au circuits imprimés.</p> <p>(3) En cas de connectivité cellulaire</p> <p>(4) Y compris pour la communication filaire</p> <p>(5) Pour certains appareils connectés (appareils peu complexes), les capacités de connectivité peuvent être directement intégrées dans l'unité de processeur principale (comme dans le cas d'un microcontrôleur sans fil avec émetteur-récepteur radio intégré (par exemple, iSIM))</p> <p>(6) Par exemple : antenne imprimée, puce céramique, etc.</p> <p>(7) Il s'agit de tout composant ou partie de produit qui ne peut pas être caractérisé de manière complète et systématique (par exemple, nécessité d'une inspection interne ou en raison de la grande variabilité des configurations). Ces composants ou pièces de produits peuvent être considérés comme un « module de boîte noire ». Le modem (ou même le module de connectivité) peut être abordé comme un « module de boîte noire », mais cela doit être clairement motivé.</p> <p>(8) Pour les appareils alimentés par le secteur et pour les circuits de récolte</p> <p>(9) Il s'agit de la part des composants « connectivité » dans les émissions de GES de l'assemblage de l'appareil connecté. L'assemblage comprend également l'entreposage et l'emballage.</p> <p>(10) Il s'agit de la part des composantes de « connectivité » dans les émissions de GES de la distribution de l'appareil connecté (des installations d'assemblage final aux lieux d'utilisation finale)</p> <p>(11) Une règle d'attribution ad hoc est nécessaire pour isoler la part attribuée à la connectivité.</p>			

NOTE 1: Certains appareils connectés (par exemple, les appareils connectés LPWAN) nécessitent une passerelle pour pouvoir se connecter à Internet ou communiquer avec leur environnement. Pour ces dispositifs, l'équipement de passerelle doit être pris en compte dans l'évaluation et attribué au module de connectivité. Lorsque l'équipement de passerelle a été conçu pour desservir plusieurs dispositifs connectés, seule une part des émissions intrinsèques de la passerelle est prise en compte lors de l'application d'une clé d'attribution pertinente (par exemple, le nombre de ports, le nombre maximal d'appareils connectés, la part de capacité disponible, etc.) ; si le portail doit faire l'objet d'un rapport systématique, sa contribution doit être clairement séparée du total.

NOTE 2: Pour les appareils connectés équipés d'un GPS, le module GPS doit être inclus s'il est conçu pour prendre en charge le modèle de connectivité. L'architecture d'un module GPS est similaire à celle d'un module modem, sinon le GPS peut être modélisé comme un « module boîte noire ».

B. 2 Orientations pour la modélisation détaillée des émissions embarquées d'un dispositif connecté

La méthode de caractérisation des composants pourrait être utilisée comme approche possible pour évaluer les émissions intrinsèques d'un dispositif connecté. Basé sur l'architecture représentée dans Figure 17, le dispositif connecté est constitué d'un ensemble de plusieurs blocs fonctionnels organisés en modules (connectivité, actionneurs, détection, etc.), chaque module étant constitué de plusieurs composants. La caractérisation de chaque module est inspirée de [Pirson – 2021]⁵¹.

Comme les appareils connectés présentent une grande diversité de conceptions et de profils de spécifications matérielles, une approche modulaire est une méthode générique pour mener l'évaluation et assurer une mise en œuvre plus large. Pour approfondir les spécificités du dispositif à des fins d'analyse comparative ou d'étiquetage, des méthodologies ou des normes spécifiques (par exemple, des règles de catégorie de produits spécifiques) seraient plus appropriées.

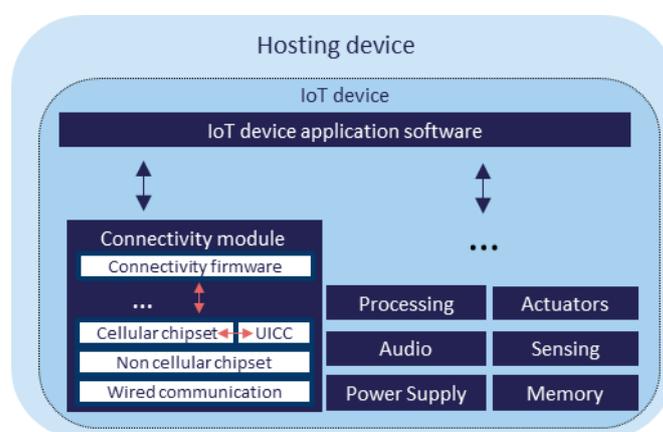


Figure 17 – Représentation modulaire de l'architecture d'un dispositif connecté

Le Tableau 13 liste les différents modules et composants constituant un appareil connecté et peut être considéré comme une liste de contrôle à utiliser en ce qui concerne le niveau de granularité d'évaluation et la complexité matérielle de l'appareil connecté.

Tableau 13 – Liste de contrôle pour modéliser les émissions embarquées d'un dispositif connecté

Module	Composants (exemple)	Composant ou processus générique (cf. [UIT L.1410])* **	Types et paramètres d'échelle / unité de flux de produit***
Actionneurs	<ul style="list-style-type: none"> Moteurs électriques et non électriques⁽⁴⁾, relais, MEMS ... Circuits de contrôle CMOS / pilot 	<ul style="list-style-type: none"> Électromécanique (B1.1.3)* CI (B1.1.4)* 	<ul style="list-style-type: none"> Types : par mouvement (rotatif, linéaire), par source d'énergie (polymère surenroulé, hydraulique, électromécanique, thermique, pneumatique...) Masse, pièce

⁵¹ T. Pirson & D. Bol "Assessing the embodied carbon footprint of IoT Edge Devices with a Bottom-Up lifecycle approach" (2021)

Détection	<ul style="list-style-type: none"> • Capteur CMOS, microphone, résistances, condensateurs... 	<ul style="list-style-type: none"> • Électromécanique (B1.1.3)* • CI (B1.1.4)* 	<ul style="list-style-type: none"> • Types : conditions ambiantes (température, humidité, pression, infrarouge, optique, acoustique...), mouvement physique ou localisation (proximité, magnétique, mouvement, accéléromètres, gyroscope, niveau...), substance spécifique (fumée, chimique, qualité de l'eau, qualité de l'air, débit et gaz...) • Masse, pièce
Connectivité	<ul style="list-style-type: none"> • Modem (BB et RF) • Composants auxiliaires : mémoire, MCU... • Antenne et connecteurs 	<ul style="list-style-type: none"> • CI (B1.1.4)* • Électromécanique (B1.1.3)* 	<ul style="list-style-type: none"> • Types: sans fil, filaire • Masse, pièce
Alimentation	<ul style="list-style-type: none"> • Batteries • PMU convertisseurs AC/DC et DC/DC... • Cordon d'alimentation • CI de contrôle PMU 	<ul style="list-style-type: none"> • Batteries (B1.1.1)* • Câbles (B1.1.2)* • CI (B1.1.4)* 	<ul style="list-style-type: none"> • Types: batteries, secteur. • Pièce, masse, classement
Mémoire	<ul style="list-style-type: none"> • CI mémoire 	<ul style="list-style-type: none"> • CI (B1.1.4)* 	<ul style="list-style-type: none"> • Types : volatile (DRAM...), non volatile (Flash...) • Pièce, masse, densité de mémoire / surface de la matrice ⁽¹⁾
Traitement	<ul style="list-style-type: none"> • Processeurs, DSP, microcontrôleur ... • Mémoire (intégrée) 	<ul style="list-style-type: none"> • CI (B1.1.4)* 	<ul style="list-style-type: none"> • Pièce, masse, surface de la matrice
IU / Écran	<ul style="list-style-type: none"> • Interrupteur / bouton poussoir, enceinte ... • Écran • CI driver (pour écran, enceinte ...) 	<ul style="list-style-type: none"> • Électromécanique (B1.1.3)* • Écran (B1.1.6)* • CI (B1.1.4)* 	<ul style="list-style-type: none"> • Types d'écran: LCD, LED, OLED ... • Pièce, masse, zone d'écran active • Nombre de panneaux d'écran
Sécurité	<ul style="list-style-type: none"> • Processor • Memory 	<ul style="list-style-type: none"> • CI (B1.1.4)* 	<ul style="list-style-type: none"> • Pièce, masse, surface de la matrice
Caméra ⁽⁵⁾	<ul style="list-style-type: none"> • Objectif de la caméra • Mécanisme Pan-tilt (moteur) • Châssis, boîtier, dôme... • ... 	<ul style="list-style-type: none"> • Électromécanique (B1.1.3)* • Mécanique / Matériels (B1.1.5)* • CI (B1.1.4) 	<ul style="list-style-type: none"> • Masse, pièce
Habillage	Habillage matériels (composants métalliques, composants polymères ...)	<ul style="list-style-type: none"> • Mécanique / Matériels (B1.1.5)* 	<ul style="list-style-type: none"> • Masse, Size

Circuits imprimés ⁽²⁾	Cartes de circuits imprimés	<ul style="list-style-type: none"> • Circuits imprimés (B1.1.7)* • Autres composants de circuits imprimés (B1.1.8)* 	<ul style="list-style-type: none"> • Masse, Pièce, surface de la carte, nombre de couches de carte
Jeu de câbles ⁽²⁾	<ul style="list-style-type: none"> • Câbles • Connecteurs 	<ul style="list-style-type: none"> • câbles (B1.1.2)* • Électromécanique (B1.1.3)* 	<ul style="list-style-type: none"> • Types: cordon d'alimentation, câble de signal • Taille, longueur, Pièce
Logiciel de dispositif IoT	<ul style="list-style-type: none"> • Développement et production de logiciels⁽³⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> • Software (B1.1.11)* 	<ul style="list-style-type: none"> • Megaoctet
Appareil d'hébergement		<ul style="list-style-type: none"> • Module de boîte noire (B1.1.10)* 	<ul style="list-style-type: none"> • Pièce, masse, size
Assemblage process	Assemblage, entreposage et emballage	<ul style="list-style-type: none"> • Assemblage (B1.2)* 	<ul style="list-style-type: none"> • Pièce, masse, size
Distribution process	Distribution des installations d'assemblage final aux sites d'utilisation finale	<ul style="list-style-type: none"> • Transport et voyages (G.1)** 	<ul style="list-style-type: none"> • Tonne x Km (or Kg x Km⁽⁴⁾)⁽⁶⁾ • Type de transport (bateau, camion...)
<p>* Se reporter au Tableau E.1 de l'Annexe E « Types de parties de biens TIC » dans [UIT L.1410] ** Se reporter au Tableau D.1 de l'Annexe D « Procédés génériques » dans [UIT L.1410] ***À la connaissance du Comité et de l'état des pratiques actuelles</p> <p>8.</p> <p>(1) Pour les circuits intégrés de mémoire où les matrices sont empilées dans un seul boîtier, la surface de la puce peut sous-estimer l'évaluation.</p> <p>(2) Cet élément ne peut pas être considéré comme un bloc fonctionnel car il peut être inclus dans d'autres modules (par exemple, lorsqu'un module de connectivité ou de détection est monté sur un circuit imprimé, un jeu de câbles est inclus dans le module d'alimentation ou dans le module de connectivité)</p> <p>(3) Se reporter à l'Annexe A de la [UIT L.1410] et au Chapitre 6 (Guide pour l'évaluation des émissions de GES liées aux logiciels) du Supplément TIC du Protocole sur les GES [Lignes directrices TIC – 2017] pour plus d'informations. Il doit être déclaré séparément.</p> <p>(4) Présence potentielle de terres rares due aux aimants.</p> <p>(5) Cet élément est isolé dans la liste de contrôle au regard de son importance, mais il peut être modélisé comme un « module de boîte noire ».</p> <p>(6) Il peut être pertinent de l'envisager en fonction du facteur de charge de transport et du taux de retour des camions vides.</p>			

NOTE 1: En ce qui concerne le Tableau E.1 de la [UIT L.1410], on peut considérer que tous ces modules peuvent être modélisés comme un « module boîte noire » car ils sont généralement achetés en tant que « produit complet » par le fabricant de dispositifs connectés ou son fournisseur à tout autre acteur de la chaîne d'approvisionnement, mais cela doit être justifié de manière transparente.

NOTE 2: La vue modulaire n'évade pas le fait que certains modules ne sont pas totalement disjoints (par exemple, pour les dispositifs connectés de faible complexité, le module de sécurité ou le module de connectivité peuvent être intégrés dans le module de traitement).

Annex C

Orientations méthodologiques pour un système de produits connectés

(Cette annexe est relative à Section 2.3)

C. 1 Sur l'importance de définir les frontières du système/produit

La fonctionnalité principale d'un système de produits connectés dépend des produits dudit système. Cependant, chacun de ces produits pris individuellement a sa propre fonctionnalité principale. Par conséquent, en ce qui concerne la classification, la modification des frontières du système étudié peut modifier la fonctionnalité principale analysée. Ainsi, cela peut conduire à différents résultats de l'arbre de décision.

Par exemple, les services d'info-divertissement dans une voiture connectée sont un système qui peut être composé de plusieurs produits connectés et on peut choisir d'étudier l'ensemble du système ou de le décomposer en plusieurs produits connectés (par exemple, un autoradio, un lecteur de musique en ligne, un écran de streaming vidéo, un système de navigation assistée par GPS, etc.). Ainsi, il peut être nécessaire de donner des orientations supplémentaires concernant la définition des frontières.

Pour se concentrer sur la fonctionnalité primaire « prévue », une première règle générale pour établir les frontières d'un système de produits connectés consiste à vérifier si un tel système existe sur le marché des utilisateurs finaux, c'est-à-dire s'il est destiné à être vendu tel quel sur le dernier segment de la chaîne de valeur. Ainsi, les produits intermédiaires sont exclus.

NOTE – Les produits du marché des utilisateurs finaux comprennent les produits du marché secondaire et les produits du marché des pièces de rechange.

Une règle supplémentaire qui pourrait être vérifiée par le praticien lors de la définition des frontières du système serait que la connectivité entre les produits connectés constitutifs fait partie de la couche de dispositif. Cette connectivité est prise en charge par une « interface interne » (voir ci-dessous partie II), c'est-à-dire des produits connectés destinés à communiquer entre eux au niveau de la couche de dispositif. Au-delà de la règle générale, l'établissement des frontières dépend de l'objectif de l'étude et du type d'évaluation ; le praticien doit suivre les directives générales ci-dessous :

- Pour les études / évaluations au niveau micro (telles que l'évaluation de l'empreinte carbone des solutions TIC basées sur l'IoT, etc.), la règle générale est recommandée, mais le praticien peut s'écarter de la règle générale en fixant les frontières compatibles avec l'objectif de l'étude et ses besoins d'évaluation. **Dans tous les cas, les choix de définition des frontières doivent être motivés et justifiés de manière transparente.**
- Pour les études / évaluations au niveau méso ou macro (telles que l'établissement de la RCP pour le label environnemental des dispositifs IoT, la définition du budget d'émissions de GES pour les secteurs des TIC et des M&D en tenant compte d'une trajectoire de 2 °C ou moins, etc.), le praticien doit s'en tenir à la règle générale, tandis que tout écart doit être justifié.

C. 2 Recommandations spécifiques sur la mise en œuvre de l'heuristique pour un système de produits connectés

L'exemple ci-dessous considère le cas d'un système de produits connectés composé de trois produits connectés A, B et C. Comme l'illustre la Figure 18 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, le système de produit interagit avec son environnement extérieur par le biais d'interfaces externes (logiques), y compris l'interaction avec le dispositif D via l'interface logique A2.2 / D1 et l'interaction avec le réseau de communication via l'interface logique A2.1 / Réseau. En ce qui concerne les frontières du système de produits, les autres interfaces logiques (A1.1 / C1, A1.1 / B1, A2.3 / B2) sont locales au système de produits. Il convient de noter que l'interface physique A2.x est utilisé pour les interfaces logiques externes et locales.

NOTE 1 – Le système de produits connectés peut interagir avec d'autres systèmes de produits connectés.

NOTE 2 – Plusieurs systèmes de produits connectés peuvent former un système de produits connectés plus large ; dans ce cas, ils seraient considérés comme des sous-systèmes. Dans le cas d'un système de sous-systèmes de produits connectés, les interfaces externes de chaque sous-système de produits seraient considérées comme des interfaces externes pour le système (plus large), à moins que ces interfaces ne soient utilisées uniquement pour l'interaction entre les sous-systèmes du système.

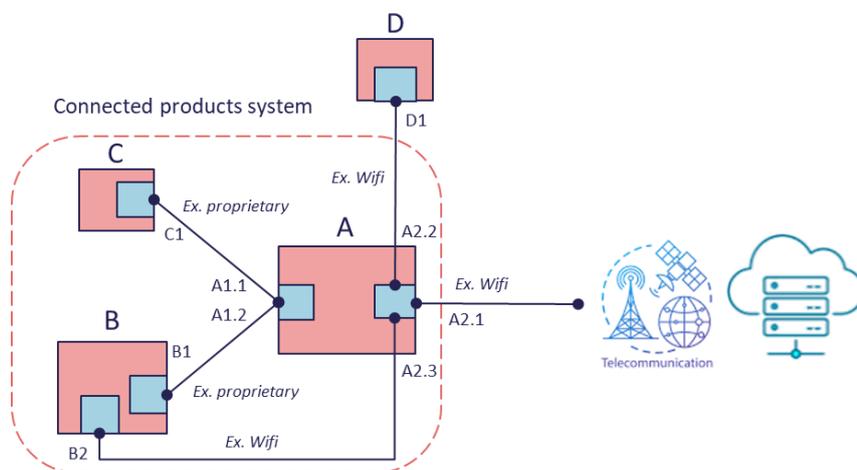


Figure 18 – Illustration théorique d'un exemple de système de produits connectés interagissant avec son environnement extérieur (appareil D et plate-forme réseau/serveur). Les modules de connectivité (interfaces physiques) sont représentés par des carrés bleus.

Pour mettre en œuvre l'heuristique dans le cas d'un système de produits connectés, sauf indication contraire, le praticien devra considérer l'évaluation du point de vue de l'ensemble du système et non de ses produits constitutifs spécifiques. Le Tableau 14 fournit des recommandations spécifiques sur la façon d'implémenter l'heuristique dans le cas de cet exemple ; l'approche peut être généralisée à d'autres systèmes de produits connectés.

Tableau 14 – Orientations spécifiques pour le cas d'un système de produits connectés

Test de l'heuristique	Dispositions
Test préliminaire IoT	Pour être qualifié d'IoT, le praticien doit considérer le système de produits connectés comme un produit autonome dans son ensemble sans tenir compte de sa composition interne (dans cet exemple : A, B, C) ou de son fonctionnement, c'est-à-dire comme une « boîte noire ». Le système de produit serait considéré comme faisant partie de la couche de l'appareil. Les capacités de communication impliquent des interfaces externes (dans cet exemple : A2.2 / D1 et A2.1 / Réseau).

Test 1.1: Qualification de TIC	Pour être considéré comme un produit TIC, chaque produit constitutif (dans cet exemple : A, B, C) doit être qualifié comme un produit TIC.
Test 1.2: Qualification de M&D	Pour être considéré comme un produit M&D, chaque produit constitutif (dans cet exemple : A, B, C) doit être qualifié comme un produit M&D.
Test 1.3: Tester les fonctionnalités primaires	Fonctionnalité primaire du système de produits. Le système produit est testé s'il est isolable ou non en appliquant le test de négation uniquement sur des interfaces externes (dans cet exemple : A2.2 / D1 et A2.1 / Réseau).
Test de marché intermédiaire	Le test est appliqué en remettant en question l'importance accordée à la connectivité par les interfaces externes. La connectivité présentée par les interfaces locales n'est pas pertinente pour le test.
Test 2.1: Part de la connectivité dans l'EC du dispositif	L'évaluation ne prend en compte que les modules de connectivité et les autres processus attribuables aux interfaces externes. Si un module de connectivité est partagé entre des interfaces locales et externes, des règles d'attribution doivent être appliquées. La part du EC est calculée par rapport à l'EC du système de produits. Dans cet exemple : l'évaluation ne prend en compte qu'une partie de l'EC du module de connectivité de l'interface physique A2.x (partagée entre 1 interface locale et 2 interfaces externes) ; la part est calculée par rapport à la somme des EC des dispositifs A, B et C. NOTE - Selon la technologie de communication, la règle d'attribution appropriée doit être appliquée (par exemple, en fonction du débit de données pour les technologies à large bande ou du nombre de demandes/connexions pour les technologies à faible puissance/bande étroite).
Test 2.2: Part incrémentale de la connectivité dans l'EC du service	Le système de produit non connecté équivalent hypothétique est un système de produit supposant qu'il n'y a pas d'interfaces externes ; la connectivité des interfaces locales doit être maintenue. Dans cet exemple : le système de produit non connecté équivalent n'a pas d'interfaces A2.2 / D1 et A2.1 / Réseau, tout en conservant des interfaces locales.
Test 3.1: Obsolescence matérielle	Les considérations d'obsolescence matérielle doivent être remises en question en ce qui concerne la connectivité fournie par les interfaces externes uniquement.
Test 3.2: Obsolescence logicielle	Les considérations relatives à l'obsolescence des logiciels doivent être remises en question en ce qui concerne la connectivité des interfaces externes uniquement.

Annex D

“Fonctionnalité critique” d’un dispositif connecté

(Cette annexe est relative à Section 4.1)

L'heuristique développée dans ce rapport suit une perspective de produit à travers le concept de fonctionnalité (du produit). Pour comprendre le service rendu par un produit, les fonctionnalités primaires sont une approche canonique, cependant, dans le cas des produits connectés (y compris l'IoT), la sécurité et la conformité réglementaire font partie des caractéristiques accessoires. En effet, certaines réglementations peuvent s'appliquer à ces dispositifs afin d'inclure des considérations, entre autres, liées (selon la norme ISO / IEC 30141) :

- « *Réglementations en matière de sécurité : Il peut s'agir de normes de sécurité des vols pour les appareils IoT fonctionnant dans les avions, ou de réglementations couvrant la fabrication et la vente d'appareils destinés à un usage domestique par les consommateurs, de réglementations pour les systèmes automobiles ou de réglementations pour les appareils ou systèmes utilisés dans un contexte médical.*
- *Réglementations relatives aux RF : Cette catégorie peut inclure les réglementations nationales ou internationales régissant les CEM des RF, le respect des restrictions de bande de fréquences, l'intensité du signal, les signaux parasites (tels que les canaux latéraux, le bruit ou les harmoniques produites en dehors de l'attribution de fréquence nominale du dispositif), etc.*
- *Réglementations en matière de protection des consommateurs – Il peut s'agir de réglementations nationales et internationales invoquées chaque fois qu'un système IoT implique un consommateur à n'importe quel moment de son fonctionnement. »*

Pour tenir compte de ces considérations, la notion de « fonctionnalité critique » d'un produit peut être pertinente. Une fonctionnalité critique peut faire référence à une fonctionnalité considérée comme essentielle par les exigences réglementaires / légales ou en ce qui concerne les considérations de sûreté, de sécurité ou de santé. La fonctionnalité critique n'est pas nécessairement une fonctionnalité principale. La notion de « Fonctions contraintes » définie dans la norme AFNOR [NF EN 16271 -2013] pourrait être une entrée pour identifier les fonctionnalités critiques. Le praticien peut consulter l'Appendice I pour obtenir de plus amples renseignements à ce sujet.

Une fonctionnalité critique d'un produit peut dépendre du marché sur lequel le produit est mis en vente. En effet, une fonctionnalité qualifiée de « critique » sur un marché ou une juridiction donnée peut ne pas l'être encore sur un autre marché ou une autre juridiction. Par conséquent, une telle fonctionnalité doit être considérée comme « critique » désigne une fonctionnalité considérée comme essentielle par les exigences réglementaires / légales ou en ce qui concerne les considérations de sûreté, de sécurité ou de santé à l'échelle mondiale.

Bien que dans la plupart des cas, les fonctionnalités critiques d'un produit connecté puissent être intégrées à ses fonctionnalités principales, il peut y avoir des cas où la connectivité soit nécessaire pour remplir les fonctionnalités critiques, mais pas les fonctionnalités principales. Cette situation théorique plaide pour l'inclusion de la fonctionnalité critique comme élément supplémentaire à remettre en question par le test de négation (test 3 de l'étape 1). En l'état, même si le Comité reconnaît, qu'à sa connaissance, il n'existe aucun exemple de produits connectés illustrant un tel cas, il ne devrait pas être exclu *de facto* par un praticien compte tenu de la nature toujours dynamique des produits connectés.

Appendice I

Recommandations sur la mise en œuvre de l'heuristique

(Cet appendice est relatif à Section 4.1 et Section 4.2)

Cet appendice fournit des orientations à un praticien pour soutenir la mise en œuvre de l'heuristique d'un produit connecté, notamment :

- Exemples de cadres méthodologiques qui pourraient être utilisés par un praticien pour modéliser un dispositif connecté ;
- Des orientations sur la définition et l'identification des fonctions et des fonctionnalités d'un produit connecté, ainsi que sur la caractérisation des fonctionnalités d'un produit connecté à l'aide des normes existantes ;
- Des orientations sur l'évaluation de la part incrémentale de la connectivité dans l'empreinte carbone du service fourni par le dispositif ;
- Des recommandations sur l'évaluation des considérations d'obsolescence liées au matériel et aux logiciels ;
- Des orientations sur la mise en œuvre du test intermédiaire.

I.1 Exemples de cadres méthodologiques pour modéliser un dispositif connecté

Avec l'essor de l'IoT, le besoin d'interopérabilité entre les solutions IoT et les fournisseurs a motivé le développement de cadres méthodologiques⁵² pour soutenir la modélisation d'un dispositif connecté et son interaction avec son environnement proche (autres dispositifs à proximité) et lointain (Cloud et plateforme de services distante), y compris l'utilisateur.

Cette section met en évidence quelques exemples de ces cadres méthodologiques, qui peuvent être utilisés par un praticien pour formaliser la façon dont un dispositif connecté interagit avec son environnement, aidant ainsi à comprendre le rôle de la connectivité dans l'activation des fonctionnalités du dispositif.

Ces cadres méthodologiques comprennent :

- **SAREF** : L'ontologie Smart Applications REference (voir [SAREF – 2020])
- **OneM2M** (voir [oneM2M – 2016])
- **Open Connectivity Foundation (OCF)** (voir [ISO / IEC 30118-1 – 2021])
- **Arbre fonctions-moyens** (voir [Viola – 2012])
- **Modèle d'interaction fonctionnelle** (voir [Ramachandran – 2011])

⁵² Cet appendice utilise le terme général de « cadres méthodologiques » pour désigner soit des ontologies (c'est-à-dire des spécifications formelles de conceptualisation, utilisées pour saisir explicitement la sémantique d'une certaine réalité ; en un mot, il s'agit d'un vocabulaire avec une structure) soit des méthodes de modélisation de la conception fonctionnelle.

Ces méthodologies pourraient être considérées comme un outil d'appui à la mise en œuvre des deux tests de l'étape 1 de l'heuristique. Alors que les cadres SAREF, OneM2M et OCF décrivent sémantiquement les entités (ici les produits connectés) dans un système donné pour les rendre « détectables » indépendamment de leurs technologies sous-jacentes ou de leur fournisseur ; l'arbre fonctions-moyens est une méthode technique éprouvée utilisée dans la conception technique pour dériver le schéma fonctionnel d'un appareil (qu'il soit connecté ou non).

NOTE 1 : On trouvera ci-après une description des concepts de ces cadres méthodologiques qui sont pertinents pour l'objet du présent document. Un praticien doit se référer aux documents de référence de chaque cadre pour une description détaillée.

NOTE 2 : Par convention, chaque fois qu'un concept de base X lié à un cadre méthodologique donné a été utilisé, il a été cité en bleu entre les signes inférieurs à / supérieurs à comme suit : <X>.

SAREF [SAREF – 2020] est une ontologie de référence spécifiant les concepts centraux récurrents dans les applications intelligentes et les principales relations entre ces concepts. SAREF se concentre sur le concept d'un <dispositif> (tel qu'un actionneur, un appareil, un capteur...), défini comme un objet physique conçu pour accomplir une tâche particulière dans les ménages, les bâtiments publics communs ou les bureaux. Une <tâche> en SAREF est définie comme l'objectif pour lequel un dispositif est conçu du point de vue de l'utilisateur (par exemple, <tâche : Lavage>, <tâche : Éclairage>, <tâche : Séchage> ...). Afin d'effectuer cette tâche, le dispositif remplit une ou plusieurs <fonctions> (par exemple, fonction d'actionnement, fonction de détection, fonction de mesure...). Un dispositif peut être utilisé dans le but d'offrir ou de manipuler une < marchandise > (comme l'eau, le gaz...) et il peut également mesurer une <propriété> (comme la température, l'énergie, la fumée, la lumière...). Une fonction doit avoir au moins une <commande> (par exemple, Démarrer, Arrêter, Pause, Marche, Arrêt, Notifier, Monter, Descendre, etc.), cette dernière peut agir sur un <état> pour représenter que la conséquence d'une commande peut être un changement d'état du dispositif. L'un des concepts dominants de SAREF concerne un <service> ; un dispositif fournit un service qui est une représentation d'une fonction à un réseau qui rend cette fonction détectable, enregistrable et contrôlable à distance (par ex. Un <dispositif : Interrupteur> peut fournir le service d'allumage à distance des lumières d'une maison via des dispositifs de téléphonie mobile connectés au réseau. Ce <service : allumage à distance> représente la <fonction : Fonctionmarchearrêt> du dispositif).

Erreur ! Source du renvoi introuvable. fournit une vue d'ensemble de l'ontologie SAREF, les concepts de base pertinents en relation avec la mise en œuvre de l'heuristique et le périmètre de ce document sont encadrés.

Partant de ces concepts de base, SAREF a été étendu à des domaines verticaux spécifiques de l'IoT pour adresser leurs particularités, notamment : le domaine de l'IoT de l'énergie pour les applications de réseau intelligent, le domaine de l'IoT de l'environnement, le domaine de l'IoT du bâtiment pour les applications de bâtiments intelligents, le domaine de l'IoT agricole pour l'agriculture intelligente, le domaine de l'IoT des villes intelligentes, le domaine de l'IoT portable, le domaine de l'IoT automobile, le domaine de l'IoT de l'industrie et de la fabrication, etc. Le praticien doit se référer à la norme ETSI [SAREF – 2020] pour plus de détails.

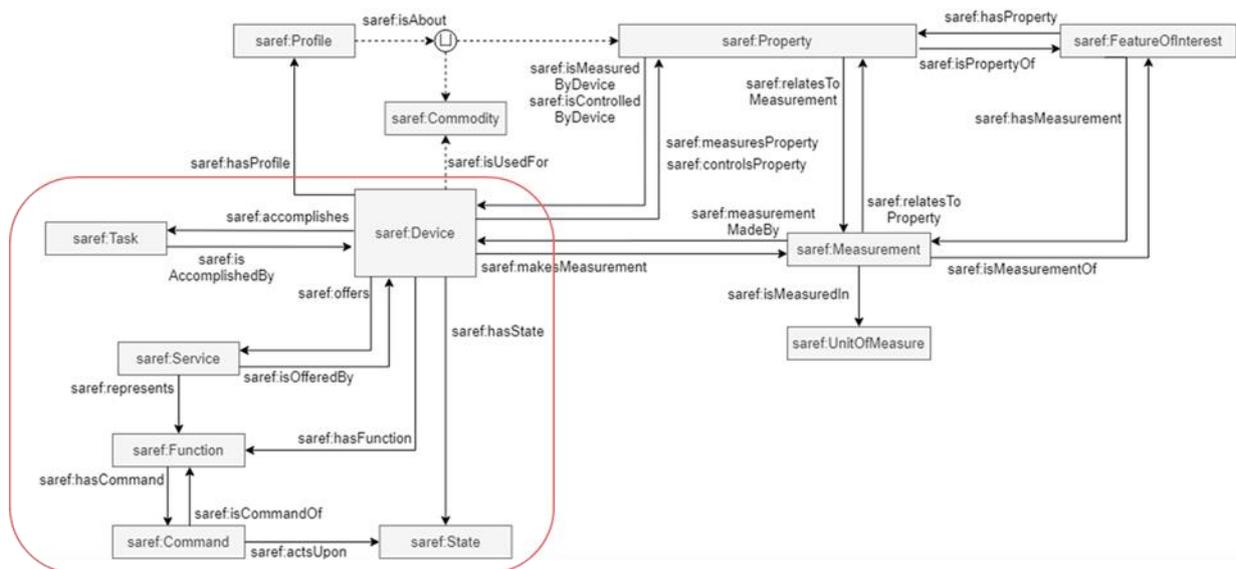


Figure 19 – Vue d’ensemble de l’ontologie SAREF ([SAREF - 2020]). Les concepts de base relevant du périmètre de ce document sont encadrés en rouge

OneM2M est l'initiative de standard mondial lancée en 2012 qui couvre les exigences, l'architecture, les spécifications des API, les solutions de sécurité et l'interopérabilité pour les technologies M2M et IoT. Comme SAREF, les concepts de base de oneM2M sont les suivants : un <dispositif> capable d'interagir électroniquement avec son environnement, il contient une certaine logique et est producteur et / ou consommateur de données qui sont échangées via ses <Services> avec d'autres entités. Afin d'accomplir une tâche particulière, le dispositif exécute une ou plusieurs fonctionnalités (<fonctionnalité>), ces dernières sont classées en <fonctionnalité de mesure> et <fonctionnalité de contrôle>. Ces fonctionnalités sont représentées dans le réseau en tant que Services (<service>) du dispositif pour les rendre détectables, enregistrables et contrôlables à distance par d'autres dispositifs ou le Cloud. Une <commande> représente une action qui peut être effectuée pour prendre en charge la fonctionnalité et qui est exposée au réseau via des <opérations>. Alors que <service> et <fonctionnement> décrivent des concepts dépendants de la machine / technologie, <fonctionnalité> et <commande> décrivent des concepts d'un dispositif compréhensibles par l'homme. Pour une description plus détaillée des concepts oneM2M, le praticien doit se référer à la norme ETSI [oneM2M – 2016]. Dans l'ontologie oneM2M, les services sont fournis / consommés entre les entités par le biais d'un paradigme client / serveur où le fournisseur de services (par exemple, un réfrigérateur connecté) est appelé oneM2M Common Service Entity (OneM2M CSE) et l'entité cliente (par exemple, la plateforme de serveur cloud ou l'application Web pour smartphone) est appelée oneM2M « Application Entity » (AE).

Alors que oneM2M est censé être agnostique à des domaines d'application spécifiques, il existe une correspondance entre les ontologies SAREF et oneM2M détaillée dans [SAREF - 2020] qui aide un praticien à passer facilement entre des deux cadres. En particulier, la correspondance entre les concepts fondamentaux pertinents pour le domaine d'application du présent document est indiquée dans Figure 20.

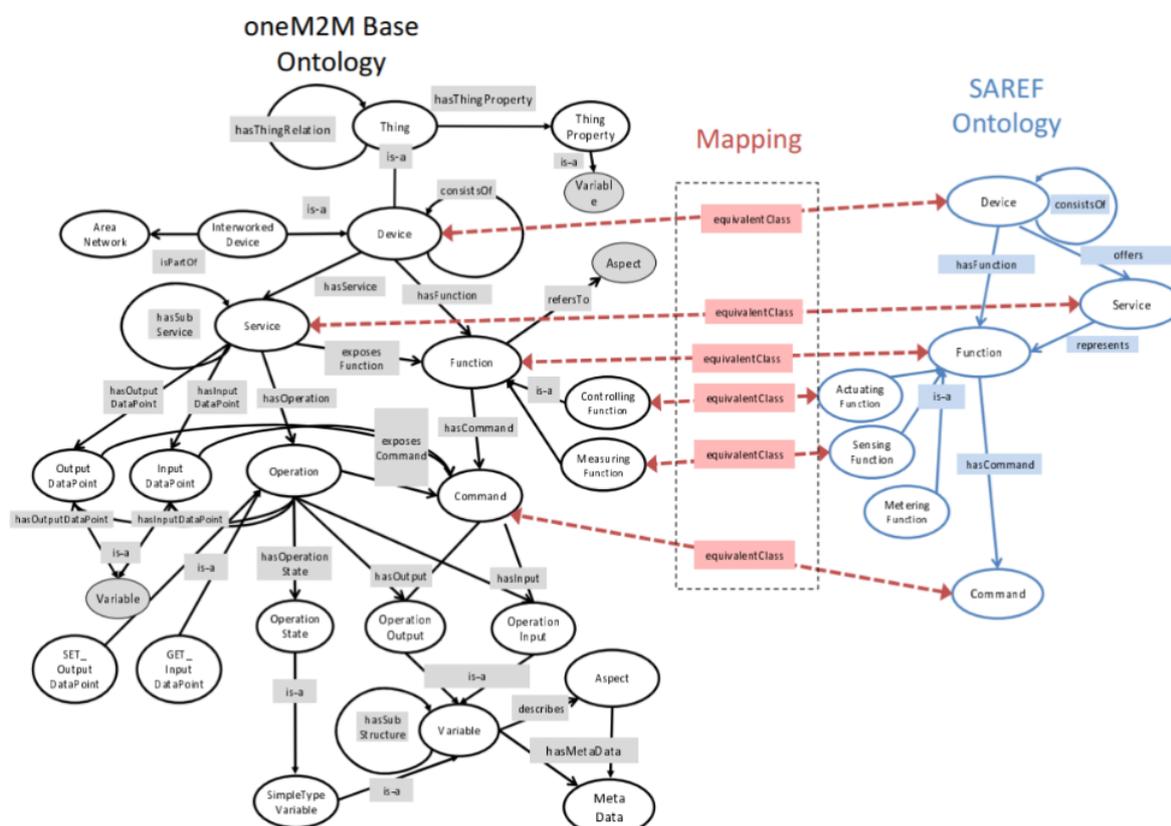


Figure 20 – Schématisation des concepts de base des cadres méthodologiques SAREF et oneM2M Base (d’après [SAREF - 2020])

L'Open Connectivity Foundation (OCF) spécifie une architecture permettant des interactions basées sur les ressources entre les dispositifs OCF, réalisant ainsi l'interopérabilité entre un large éventail d'équipement en réseau, y compris l'IoT. Un <dispositif OCF> est une entité dans le monde physique telle qu'une ampoule, un capteur de température ou un dispositif connecté et représentée par une <ressource>. Les dispositifs OCF peuvent exposer des aspects du monde physique comme une ampoule et / ou des entités logiques comme une application. Comme dans oneM2M, un <dispositif OCF> peut être dans un rôle client (pour accéder et consommer une ressource) ou dans un rôle serveur (pour exposer et fournir une ressource), les dispositifs OCF interagissent via des opérations CRUDN⁵³. Dans OCF, un modèle de ressource spécifie comment représenter en termes de <Ressources> les capacités des entités et définit des mécanismes de manipulation de ces Ressources.

Figure 21 illustre l'architecture générale OCF et indique la partie spécifique de cette architecture, traitant de la couche d'abstraction, qui est pertinente pour le domaine d'application du présent document.

L'architecture des spécifications de base de l'OCF est détaillée dans [ISO / IEC 30118-1 – 2021] complétée par d'autres normes ISO / IEC de la série ISO / IEC30118-x. Plus précisément, [ISO / IEC 30118-5 – 2021] spécifie les ressources requises prises en charge par chaque type de dispositif pour certains domaines verticaux sélectionnés, notamment les types d'appareils domestiques intelligents,

⁵³ CRUDN désigne un ensemble de style architectural REST (Representational State Transfer) faisant référence à un petit ensemble d'opérations génériques, à savoir CREATE, RETRIEVE, UPDATE, DELETE et NOTIFY. Reportez-vous à [ISO / IEC 30118-1 – 2021] pour plus d'informations.

les types de dispositifs de soins de santé, les types de dispositifs industriels, les types de dispositifs de systèmes énergétiques (photovoltaïques).

Pour permettre l'interopérabilité entre OCF et la norme OneM2M, une schématisation deux architectures est également fourni par l'ETSI⁵⁴.

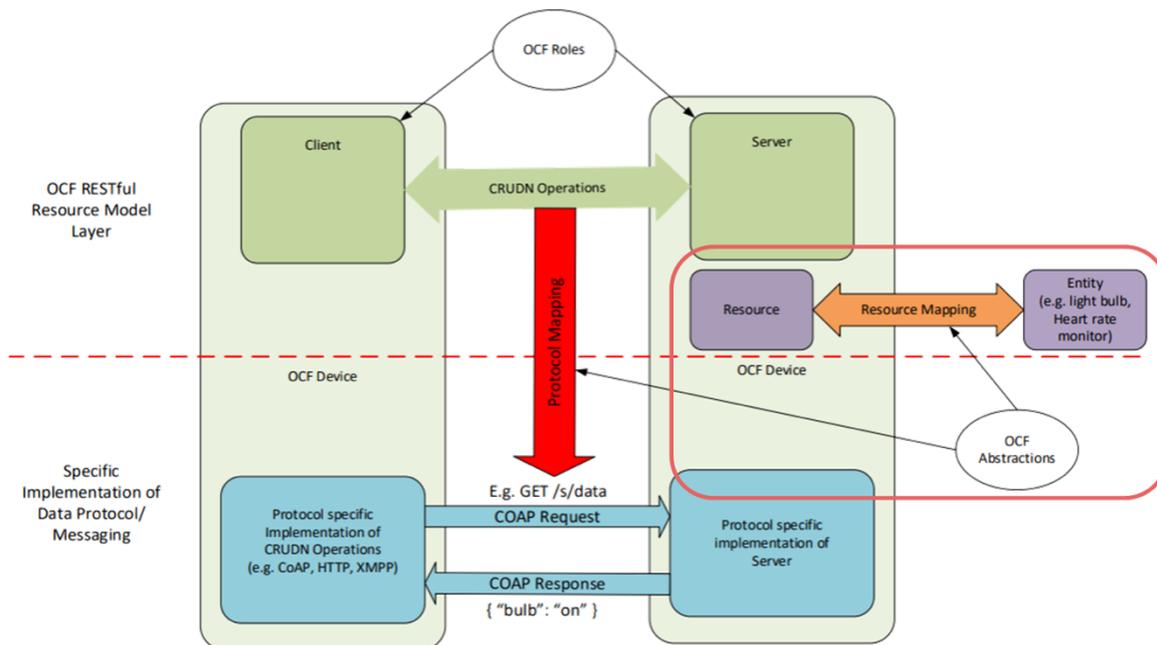


Figure 21- Architecture OCF ([ISO / IEC 30118-1 - 2021]). La partie de l'architecture relevant du périmètre de ce document est encadrée en rouge

L'**arbre fonctions-moyens** [Viola – 2012] est une méthode de modélisation d'un produit par la décomposition systématique des fonctions et la prise en compte des relations causales entre les fonctions et les moyens utilisés pour réaliser ces fonctions. Par conséquent, l'arbre fonctions-moyens possède une structure hiérarchique de fonctions et de moyens disposés à différents niveaux et connectés selon les relations causales. La structure hiérarchique du cadre met en évidence, au sommet de la hiérarchie, les fonctions principales d'un produit, puis les différents moyens par chaque fonction primaire peuvent être mis en œuvre, puis déterminer les fonctions secondaires qui résulteraient de la mise en œuvre de chacun de ces moyens et ainsi de suite en alternant entre moyens et fonctions jusqu'à atteindre un point de terminaison raisonnable (où plus aucune décomposition supplémentaire n'est possible dans ce cas ces fonctions sont appelées « de base »). Le praticien se demande « comment » en se déplaçant du haut vers le bas de l'arbre, tout en se demandant « pourquoi » en se déplaçant du bas vers le haut. Lors de l'application de la méthode de l'arbre fonctions-moyens pour l'analyse fonctionnelle d'un produit connecté, la « connectivité » serait identifiée comme un moyen d'atteindre une fonction donnée.

En analyse fonctionnelle, un praticien peut compléter l'arbre fonctions-moyens par la matrice **fonctions-dispositifs** [Alto – 2012]. Cette dernière est utilisée pour aligner les fonctions aux composants physiques du produit. En pratique, la matrice est construite simplement en faisant correspondre le bas de l'arbre fonction-moyens (c'est-à-dire toutes les « fonctions de base » identifiées), avec une colonne de composants capables d'exécuter ces fonctions., en répondant à la question : « *Quel composant est capable d'exécuter cette fonction (de base) ?* ». Dans le cas des

⁵⁴ Le lecteur pourra se référer à la spécification ETSI 118 124 « OneM2M ; OCF Interworking » pour des orientations plus détaillées : https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/118100_118199/118124/03.02.02_60/ts_118124v030202p.pdf

produits connectés, grâce à la matrice fonction-dispositif, un praticien serait en mesure d'identifier si un composant de connectivité (par exemple, émetteur, récepteur...) est nécessaire pour exécuter une fonction de base donnée (cf. Figure 22).

NOTE : L'arbre fonctions-moyens et la matrice fonction-dispositifs ne font pas de distinction entre les fonctions principales et les fonctions non primaires, donc pour utiliser ces outils aux fins de l'heuristique, le praticien doit identifier si une fonction de base donnée correspond à une fonctionnalité primaire / critique ou une autre fonctionnalité.

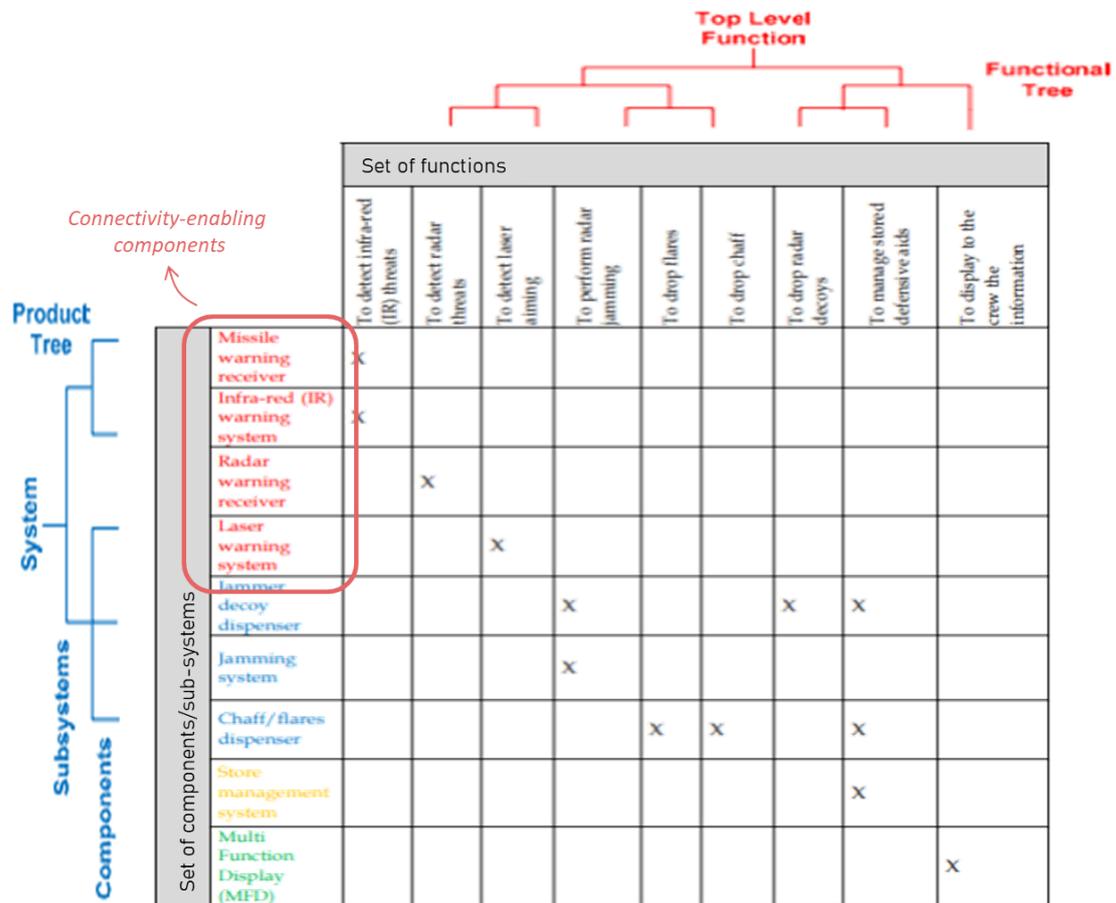


Figure 22- Exemple d'une matrice fonctions-dispositifs pour le cas d'un « système de défense » (source : [Viola – 2012]). Les composants permettant la connectivité sont encadrés en rouge

Modèle d'interaction fonctionnelle [Ramachandran – 2011] Un produit interagit avec l'environnement et peut interagir avec d'autres artefacts (produits) et utilisateurs. Le modèle d'interaction fonctionnelle tente de capturer à la fois les aspects transformationnels (fonctionnels) et non transformationnels (non fonctionnels) d'un produit pendant sa phase de développement, dans un seul modèle. La « connectivité » augmente généralement le niveau d'interactions entre le produit et son environnement⁵⁵, le niveau de fonctionnalités est également augmenté. Alors que les aspects fonctionnels sont représentés par des « fonctions actives » qui agissent / transforment un ensemble de flux d'entrée en flux de sortie (matière, énergie, signal / information), les aspects non fonctionnels sont représentés comme des fonctions passives qui ne transportent pas des flux de matière mais

⁵⁵ Bien que la connectivité (et l'automatisation) puisse diminuer le niveau d'interactions entre le produit et l'utilisateur, elles sont généralement remplacées par des interactions avec d'autres artefacts (interaction avec les smartphones, les passerelles, d'autres produits connectés, les serveurs IoT, etc.).

seulement des flux d'énergie ou de signal / information, décrivant ainsi des actions sur le produit. Le modèle d'interaction aide à comprendre et à modéliser le comportement de l'utilisateur vis-à-vis du produit lors de la réalisation de ses tâches (appelé aussi *une ligne directrice*⁵⁶), il contient généralement les éléments suivants : comment lancer ou terminer une fonction, comment naviguer entre les fonctions / options du produit, transitions entre les fonctions...

Figure 23 illustre un exemple de modèle d'interaction fonctionnelle d'un cuiseur à riz « classique » [extrait de Ramachandran – 2011]. Dans le cas d'un cuiseur à riz « connecté », où l'utilisateur peut contrôler le dispositif à distance via son application mobile à l'aide de son smartphone, certaines fonctions / activités seraient modifiées pour refléter le nouveau design, telles que : <Utilisez l'énergie humaine pour faire fonctionner le cuiseur à riz>, <Convertissez l'énergie humaine en signal de contrôle> ainsi que la prise en compte de nouvelles fonctions / activités exécutées par de nouveaux artefacts, notamment au moins : un smartphone (pour l'application mobile), un serveur de plateforme IoT (pour la commande à distance de Le dispositif connecté) et le réseau / passerelle IoT.

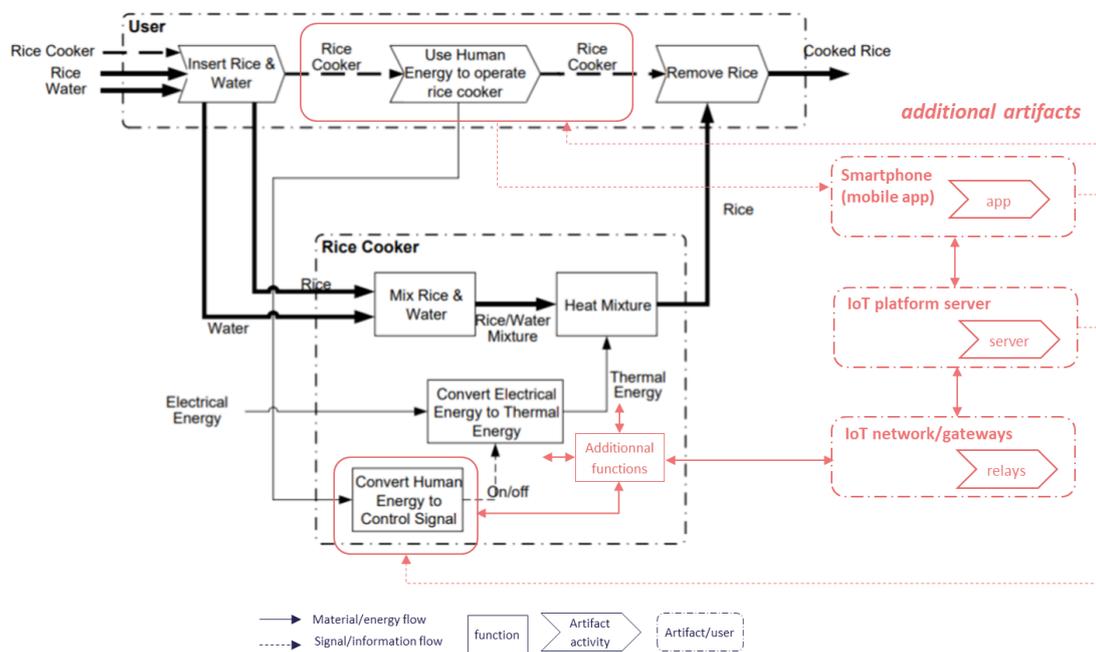


Figure 23 – Illustration du modèle d'interaction fonctionnelle pour un cuiseur à riz « classique » (extrait de [Ramachandran – 2011]). Les éléments représentés en rouge sont des modifications / ajouts nécessaires dans le modèle pour représenter le cas d'un cuiseur à riz « connecté ».

Comment ces cadres méthodologiques pourraient-ils être améliorés pour mieux correspondre à l'objectif de l'heuristique ?

Les ontologies SAREF, OneM2M et OCF partagent certains principes communs à la base de leur création, notamment : la modularité (c'est-à-dire la définition de blocs de construction qui peuvent être combinés pour répondre à différents besoins et points de vue), l'extensibilité pour permettre une croissance ultérieure de l'ontologie (c'est-à-dire que différentes parties prenantes peuvent adapter les concepts, ajouter des relations plus spécifiques pour affiner l'ontologie de référence), et même créer de nouveaux concepts tant que toute extension / spécialisation est conforme aux principes existants), et la maintenabilité (c'est-à-dire s'adapter aux nouvelles exigences et faire face aux changements dans

⁵⁶ Une ligne directrice consiste à déterminer les voies probables que l'utilisateur suivrait à travers le produit pour fonctionner à l'adresse prévue. Une ligne directrice reflète le scénario d'utilisation conventionnel du produit et est généralement documentée par un « manuel d'utilisation » ou une « instruction d'utilisation ».

l'ontologie). Grâce à ces considérations, des améliorations possibles des concepts de base pourraient être envisagées pour mieux correspondre à l'objectif de l'heuristique :

- Pour pouvoir caractériser une tâche, un nouveau « type » de propriété (faisant référence au type d'une tâche) pourrait être introduit. Il peut prendre les trois valeurs suivantes : « principale », « critique » ou « autre ». Dans SAREF, la classe <tâche> serait caractérisée par exemple avec les propriétés suivantes : <saref : tâche : detype :: primaire>, <saref : tâche : detype : critique>, <saref : tâche : detype :: autre>. Cette caractérisation serait utile dans le cas d'un dispositif connecté multitâche et pour lequel la connaissance de la tâche principale ou non principale est utile pour un praticien (par exemple, pour une machine combinée lavage-séchage connectée).
- Pour pouvoir identifier si une fonction associée à une tâche peut être remplie même lorsque le dispositif est hors ligne, un nouveau « mode hors ligne » binaire pourrait être introduit. Dans SAREF, la classe <fonction> serait caractérisée par les propriétés suivantes : <saref : fonction : mode hors ligne :: oui> et <saref : fonction : mode hors ligne :: non>.

NOTE : Bien que les propositions susmentionnées se réfèrent au cas de l'ontologie SAREF, les cadres OneM2M et OCF pourraient être abordés de la même manière en s'appuyant sur la correspondance entre les différentes ontologies.

I. 2 Recommandations sur la définition des fonctions et des fonctionnalités d'un produit connecté

L'heuristique présente le concept de « fonctionnalité » du produit au lieu de « fonction ». Bien que les deux concepts soient étroitement liés, ils ne sont pas entièrement équivalents.

Selon la définition de la norme CEI [CEI 62301 -2011], la fonction est « *une opération prédéterminée entreprise par le produit consommateur d'énergie* ». Tandis que la norme AFNOR [NF EN 16271 -2013] définit la fonction comme « *une action d'un produit ou de l'un de ses constituants exprimée exclusivement en termes de finalité* ».

Il existe plusieurs approches pour catégoriser les fonctions :

- Dans la discipline de l'analyse de la valeur [Auricchio et al. – 2011], le praticien distingue les *fonctions d'utilisation* réparties entre les *fonctions de base* (nécessaires au client et pour lesquelles il achète le produit) et les *fonctions secondaires* (complétant ou permettant la fonction de base) et les *fonctions esthétiques*.
- Dans une perspective normative d'analyse fonctionnelle, la norme AFNOR [NF EN 16271 -2013] identifie 3 catégories de fonctions : les *fonctions principales* (reflétant les actions effectuées par le dispositif), les *fonctions de contrainte* (reflétant l'adaptation du dispositif à son environnement), les *fonctions complémentaires* (amélioration du service fourni par les fonctions principales). Ces deux dernières catégories ne sont pas nécessairement liées à une demande ou à un besoin exprimé par l'utilisateur du produit. La norme définit des *fonctions techniques*, entendues comme permettant la réalisation d'autres fonctions et généralement masquées ou inconnues de l'utilisateur.
- Du point de vue de la mesure de la performance énergétique, la norme [IEC 62301 -2011] classe les fonctions soit comme *des fonctions principales* – c'est-à-dire liées à l'objectif principal du produit – soit *comme des fonctions secondaires* qui peuvent inclure des fonctions de commutation à distance, de détection, de réseau et de protection. Pour certains produits, les fonctions de réseau ou les fonctions de détection peuvent être une fonction principale. À l'instar de la norme [IEC 62301 -2011], le règlement CE sur l'écoconception [CE Écoconception – 2023] fait référence à la *fonction principale*, c'est-à-dire à une « fonction qui fournit le ou les services principaux pour lesquels l'équipement est conçu, soumis à l'essai et commercialisé, et

qui correspond à l'utilisation prévue de l'équipement » et aux fonctions de mode veille, y compris *la fonction de réactivation*⁵⁷ et *la fonction d'affichage de l'information ou de l'état*.

Dans le cas des produits connectés, l'augmentation des capacités du produit (en étant connecté) rend trop restrictive l'attention portée à une fonction donnée (même principale ou de base) en tant qu'entité autonome pour évaluer la valeur ajoutée de la connectivité dans la fourniture des fonctions du produit. Les auteurs de [Siderius / Meier – 2014] indiquent comment la combinaison du logiciel – jouant un rôle majeur dans la fonction du produit et la dépendance à la connectivité pour la fonctionnalité du produit – posent des défis à la manière classique d'aborder les fonctions et les fonctionnalités des produits. Si l'on considère l'exemple du thermostat connecté à Internet, par opposition au thermostat classique où sa fonction peut encore être fournie sans être connecté à un réseau et où le logiciel n'est pas définitif pour sa fonction, Siderius et Meier soulignent une tendance croissante où les produits classiques migrent vers des produits « virtuels ». ⁵⁸ Une telle migration se traduit par des produits ayant de multiples fonctions, sollicitées différemment selon le contexte d'utilisation (fonctionnalité). Les auteurs proposent d'appliquer une approche fonctionnelle modulaire évoluant autour de la construction d'un « panier de fonctions » pour opérationnaliser la fonctionnalité d'un produit.

[IEC 62301 -2011] reconnaît que « *les fonctions peuvent être contrôlées par une interaction de l'utilisateur, d'autres sous-systèmes techniques ou du système lui-même (par exemple dans le cas de systèmes automatisés d'autocontrôle)* », à partir d'entrées mesurables de l'environnement et / ou du temps. Au lieu de cela, le concept de fonctionnalité est plus approprié pour les besoins du présent document car il s'agit d'un mécanisme puissant pour explorer la relation entre le produit étudié et son environnement (y compris l'utilisateur).

Dans un scénario / contexte donné d'utilisation du produit, la fonctionnalité principale peut être exprimée comme le déploiement de la fonction principale avec la prise en charge d'un ensemble de fonctions complémentaires. Ces fonctions complémentaires (qu'il s'agisse de fonctions principales ou secondaires) constituent **l'ensemble minimum de fonctions supports nécessaires** pour refléter fidèlement l'utilisation du produit dans un contexte donné. Ce contexte fait référence au scénario d'utilisation classique du produit (généralement spécifié par le fabricant ou l'intégrateur de systèmes).

[IEC 62301 -2011] énumère quelques exemples de fonctions secondaires (lorsqu'il ne s'agit pas d'une fonction principale du dispositif), notamment :

- Contrôle à distance de l'alimentation de la charge de fonctionnement (interrupteur d'alimentation à distance) par des signaux basse tension (filaires) ou radio (sans fil)⁵⁹;
- Contrôle secondaire de la charge (arrêt automatique, démarrage différé ou arrêt différé) ;
- Fonctions de détection telles que la lumière, l'occupation, la chaleur, la fumée, la température, le débit d'eau... ;
- Affichage (p. ex. l'état, le programme, l'état ou l'horloge, etc.)⁶⁰;
- Fonctions de mémoire et de minuterie ;
- Commandes, serrures et interrupteurs électroniques ;

⁵⁷ Il fait référence à « une fonction qui, au moyen d'un commutateur commandé à distance, d'une télécommande, d'un capteur interne ou d'une minuterie, permet de passer du mode veille à un autre mode, y compris le mode actif, offrant des fonctions supplémentaires » [CE Écoconception – 2023]

⁵⁸ Autrement dit, des produits présentant un rôle croissant du logiciel et une dépendance croissante à la connectivité [Siderius / Meier – 2014].

⁵⁹ Ceci est similaire à la « fonction de réactivation » définie dans [CE Écoconception – 2023].

⁶⁰ Ceci est similaire à la fonction « Affichage de l'information ou de l'état » définie dans [CE Écoconception – 2023].

- Chargement de la batterie ;
- Filtres de compatibilité électromagnétique (CEM) ;
- Capteurs pour la protection des produits et / ou des utilisateurs ;
- Interrupteurs de sécurité (pour la protection des produits et / ou des utilisateurs) ;
- Fonctions logicielles (OS, programme...) ;
- Fonctions de traitement (pour l'inférence de l'IA, l'entraînement de l'IA, etc.) ;
- ...

NOTE : La norme [IEC 62301 -2011] considère que les thermostats ou les dispositifs de contrôle de la température qui contrôlent la charge de fonctionnement afin de maintenir une condition constante sont généralement considérés comme faisant partie de la charge de fonctionnement (c'est-à-dire la fonction principale) et non comme un commutateur ou une fonction secondaire.

Figure 24 illustre comment la fonctionnalité principale d'un produit est abordée par le biais de sa fonction principale (d'ancrage) complétée par son ensemble de fonctions secondaires de soutien. Quelques exemples sont fournis.

Scénario / contexte de l'utilisation classique du produit	Fonctionnalité primaire		
	Fonction secondaire 1	Fonction secondaire 2	Fonction secondaire 3

Figure 24 – Fonctionnalité primaire : exprimée comme le déploiement de la fonction principale dans un scénario donné avec le soutien de l'ensemble minimum de fonctions secondaires nécessaires (fonctions complémentaires).

Exemple 1 : Fonctionnalité principale d'un système de freinage automatique (ABS) de la norme ISO SOTIF [ISO 21448 -2022]

Scénario / contexte de l'utilisation classique du produit SFA	Freinage	
	Détection	Traitement (Inférence)

Exemple 2 : Fonctionnalité principale d'un dispositif connecté, équipé d'un écran comme seul moyen permettant à l'utilisateur de vérifier si la charge opérationnelle fonctionne ou non.

Scénario / contexte de l'utilisation classique de Le dispositif connecté	Charge	
	Commutateur marche / arrêt	Écran

Exemple 3 : Fonctionnalité principale d'un système embarqué utilisé pour eCall, également connu sous le nom de dispositif de système d'intervention d'urgence pour automobile (AERS). Lorsqu'une collision est détectée par les capteurs de l'AERS, celui-ci peut être invité par l'utilisateur, ou automatiquement, à lancer un appel vocal d'urgence E112 et à transmettre l'ensemble minimal de données qui est acheminé au centre d'intervention d'urgence automobile approprié. Cet ensemble minimal comprend les informations sur l'emplacement du véhicule, la direction du déplacement, le nombre de passagers portant des ceintures de sécurité attachées et les informations sur le véhicule.

Scénario / contexte de l'utilisation classique du AERS (dispositif eCall)	Fourniture d'appel vocal d'urgence (p-ex. E112)	Transmission de l'EMD	
	Détection et analyse	Acquisition de position	Autre composant de l'EMD

NOTE – L'Appendice III fournit de plus amples détails sur les variantes de mise en œuvre d'un AERS et sur la manière dont il peut être abordé comme un système de produits connectés.

Une approche similaire pour le cas de la fonctionnalité critique est illustrée dans Figure 25.

Scénario / contexte de l'utilisation classique du produit	Fonction contrainte ([NF EN 16271 -2013])		
	Fonction secondaire 1	Fonction secondaire 2	Fonction secondaire 3

Figure 25 - Fonctionnalité critique : exprimée comme le déploiement de la fonction de contrainte dans un scénario donné avec le support de l'ensemble minimum de fonctions secondaires nécessaires (fonctions complémentaires)

Caractérisation de la fonctionnalité

On peut considérer que la fonctionnalité doit être considérée comme « réalisée » dès lors qu'une qualité de service spécifique associée est respectée. Ainsi, lors de la mise en œuvre de la deuxième phase (de l'étape 1) de l'heuristique, il est important de décrire de la manière la plus détaillée possible la fonctionnalité testée, notamment en ce qui concerne sa qualité visée ou d'autres contraintes connexes. La norme AFNOR [NF EN 16271 -2013] fournit au praticien des orientations sur la caractérisation des fonctions du produit, qui pourraient être exploitées pour la caractérisation de la fonctionnalité.

La norme définit le modèle illustré dans le Tableau 15. La fonctionnalité étudiée est définie avec des critères, des niveaux, une souplesse et des tests à effectuer.

Tableau 15 – Modèle de caractérisation des fonctionnalités tiré de la norme AFNOR [NF EN 16271 – 2013]

Fonctionnalité	Critère / standard	Niveaux	Souplesse / seuils	Tests
Fonctionnalité 'X' (primaire ou critique)	Critère par rapport auquel le remplissage de la fonctionnalité est testé	Échelle / portée pour un critère donné	Décrit la tolérance ou la ⁶¹ définition de frontières strictes (min, max)	Description des protocoles pertinents à exécuter pour la conformité des tests

I. 3 Orientations sur les méthodes simplifiées d'évaluation de la part de la connectivité dans l'empreinte carbone du dispositif connecté

Lorsque la mise en œuvre d'une ACV simplifiée n'est pas possible (faute de données ou de ressources, etc.), les 4 approches simplifiées alternatives suivantes pourraient être envisagées. Ils sont triés par ordre de préférence, selon l'arbre de décision recommandé par le manuel ILCD du système international de référence pour les données relatives au cycle de vie [ILCD - 2011] en matière de stratégie d'allocation :

- (1) **Utilisation d'approximations physiques** : Approximation de la part de l'empreinte carbone par le rapport de la masse entre le module de connectivité et Le dispositif connecté ;

Exemple : Le dispositif connecté pesant 500g, équipé d'une carte modem pesant 50g, donc la part est estimée à 10%.

- (2) **Utilisation du déploiement de la fonction qualité** : Approximation de la part de l'empreinte carbone par la part de l'attribut de connectivité du produit à l'aide de l'approche du déploiement de la fonction qualité (DFQ). Dans le contexte de l'ACV, le DFQ peut être interprété comme identifiant la pertinence que les différentes fonctions / attributs d'un

⁶¹ Dans quelle mesure les résultats attendus dans les « critères » et les « niveaux » peuvent-ils être négociables ?

produit multifonctionnel / multi-attributs sont supposés avoir pour son utilisateur moyen [ILCD - 2011].

NOTE : Le DFQ aide à transformer les besoins des clients (« Voix du client ») en caractéristiques techniques d'un produit ou d'un service, en donnant la priorité à chaque fonction / attribut (et caractéristique qui sous-tend la fonction / l'attribut) en cibles de développement pour le produit ou le service. Pour plus de détails, reportez-vous à la littérature spécifique.

Exemple : Le dispositif connecté est caractérisé par un ensemble de 5 attributs orientés utilisateur classés en fonction de leur part respective. Ces actions, généralement obtenues à partir d'études de marché, représentent le degré de privilège (ou de perception de chaque attribut comme une raison majeure de l'acheter ou de l'utiliser) par un utilisateur moyen, traduisant ainsi les besoins / préférences des clients. L'ensemble des 5 attributs axés sur l'utilisateur du produit connecté sont classés comme suit : Sécurité et confidentialité des données (40%), résilience et durabilité (20%), connectivité (10%), performance de traitement (10%) et esthétique et expérience utilisateur (20%).

- (3) **Utilisation d'approches économiques** : l'Utilisation d'approches économiques telles que l'analyse des entrées-sorties économiques (ESE) qui tire parti de la valeur monétaire des intrants importants du dispositif ou de l'article combinés aux facteurs d'émission de GES (dérivés des tableaux d'entrées-sorties) représentant l'impact total des émissions de GES de la production en amont par unité monétaire.

NOTE : Lors de la détermination de la valeur monétaire d'un appareil ou d'un article, le prix de base est privilégié par rapport au prix d'achat, car ce dernier comprend les marges commerciales et les taxes diverses qui peuvent fausser l'évaluation.

Exemple 1 : Considérons un exemple fictif d'un dispositif connecté composé des matériaux significatifs suivants (M1, M2 et M3, respectivement), associés à ces secteurs / catégories pertinents en tant qu'entrées dans les tableaux ESE (A, A et B, respectivement). La partie module de connectivité est constituée du matériau significatif suivant (M1) associé au secteur / catégorie concerné en tant qu'entrée dans les tableaux ESE (A). En utilisant la valeur monétaire (prix) des différentes matières considérées dans le produit et l'EE correspondant (dérivé des tables ESE), le calcul de la part est le suivant :

Matériel significatif	Catégorie ESE	Prix (en €)	EE ESE (kg CO2 / €)	GES (kg CO2)
Pour le dispositif connecté				
M1	A	5	1	5 (=1*5)
M2	A	5	1	5 (=1*5)
M3	B	10	0.1	1 (=0.1*10)
Pour la pièce du module de connectivité				
M1	A	2	1	2 (=1*2)
Part estimée				18% (=2 / 11)

Exemple 2 : Si la valeur monétaire (prix) de la matière du produit n'est pas connue, le praticien peut tenir compte du poids de la matière appuyée par son prix de négociation pour estimer le prix de la matière. Le rappel du processus de calcul est similaire à l'exemple 1.

Matériel significatif	Catégorie ESE	Poids (g)	Taux de change (en € / g)	EE ESE (kg CO2 / €)	GES (kg CO2)
Pour le dispositif connecté					
M1	A	100	0.05	1	5 (=1*100*0.05)
M2	A	100	0.05	1	5 (=1*100*0.05)
M3	B	300	0.03	0.1	1 (=0.1*300*0.03)
Pour la pièce du module de connectivité					
M1	A	50	0.04	1	2 (=1*50*0.04)
Part estimée					18% (=2 / 11)

- (4) **Utilisation de valeurs monétaires approximatives** : Approximation de la part de l'empreinte carbone par le rapport du coût entre le module de connectivité et Le dispositif connecté.

Exemple : Le dispositif connecté coûte 20 euros, équipé d'une carte modem d'une valeur de 2 euros, la part est donc estimée à 10 %.

I. 4 Orientations sur l'évaluation de la part incrémentale de la connectivité dans l'empreinte carbone du service fourni par le dispositif connecté

La part incrémentale fait référence au rapport entre l'empreinte carbone supplémentaire de la connectivité et l'empreinte carbone d'une version non connectée du dispositif. Ce rapport est exprimé par l'équation suivante :

$$\frac{\Delta CF_{sys}}{CF_{device}^{conn}} = \frac{CF_{sys}^{conn} - CF_{sys}^{\overline{conn}}}{CF_{device}^{\overline{conn}}}$$

Où :

- $CF_{device}^{\overline{conn}}$: représente l'empreinte carbone de la version non connectée du dispositif ;
- CF_{sys}^{conn} : représente l'empreinte carbone du système de produits avec le dispositif connecté ;
- $CF_{sys}^{\overline{conn}}$: représente l'empreinte carbone du système de produit dans un scénario alternatif où le dispositif n'aurait pas été connecté ;
- ΔCF_{sys} : représente l'empreinte carbone supplémentaire de la connectivité, c'est-à-dire les émissions incrémentales attribuables aux capacités de communication du dispositif.

Pour évaluer l'empreinte carbone supplémentaire de la connectivité (c'est-à-dire ΔCF_{sys}), le praticien doit procéder à une évaluation comparative fondée sur les considérations suivantes :

- Il envisage deux scénarios : un scénario réel, appelé scénario de référence (système de produit de référence), mettant en vedette le service fourni par le dispositif connecté et un scénario alternatif (système de produit hypothétique) présentant le service fourni par une version hypothétique non connectée du dispositif ;
- Étant donné que l'évaluation comparative a pour but d'évaluer la différence entre les deux systèmes de produits plutôt que l'impact total de chaque système de produits, les processus et les données d'entrées / sorties peuvent être exclus s'ils sont identiques dans les deux systèmes de produits ;
- Conformément à la partie II de la Recommandation [UIT L.1410], les deux systèmes de produits sont évalués à l'aide de considérations méthodologiques équivalentes, notamment : la même unité fonctionnelle, la même limite du système, la même qualité des données, les mêmes procédures d'attribution et les mêmes règles de coupure. Toute différence entre les systèmes concernant ces paramètres doit être signalée ;

NOTE : On peut soutenir que ces exigences ne seraient plus valables lors de la comparaison d'un produit connecté par rapport à son homologue non connecté, en particulier en ce qui concerne la définition de l'unité fonctionnelle. Cet écart nécessite de repenser la définition de l'unité fonctionnelle pour pouvoir refléter l'impact de la connectivité sur le comportement d'utilisation.

- Deux périmètres de système sont définis, qui s'appliquent au système de produits de référence et au système de produits hypothétiques. Les périmètres du système comprennent, le cas échéant : le dispositif à l'étude, les biens de support non liés à la connectivité et les biens de support (par exemple, dispositif d'alimentation / chargeur, systèmes de refroidissement, systèmes de surveillance, câbles / lignes d'alimentation, structures mécaniques / abris, etc.), les biens de support liés à la connectivité et les biens de support

(par exemple, smartphones, dispositifs compagnons, passerelles, relais / amplificateurs, câbles et connecteurs de communication, etc.), les réseaux et les plates-formes de DC / services ;

- Il se concentre uniquement sur les effets de premier ordre (c'est-à-dire les émissions de GES résultant de l'existence physique du système de produits) ;

Dans l'évaluation comparative, le service fourni par le dispositif connecté (et son homologue hypothétique non connecté) est exprimé en ACV par l'intermédiaire de l'unité fonctionnelle. L'évaluation comparative prend en compte deux approches pour définir la portée de l'unité fonctionnelle :

- Un périmètre étroit où seules les fonctionnalités principales du produit à l'étude sont prises en compte, ainsi l'unité fonctionnelle est exprimée comme suit : « *Fournir les fonctionnalités principales du dispositif* ».
- Un périmètre plus large où les fonctionnalités principales et les autres fonctionnalités du produit à l'étude sont prises en compte, ainsi l'unité fonctionnelle est exprimée comme suit : « *Fournir les fonctionnalités principales et autres fonctionnalités du dispositif* ». Dans ce cas, le praticien précise les autres fonctionnalités incluses dans l'unité fonctionnelle.

NOTE : Dans les deux approches, le praticien doit suivre les bonnes pratiques en termes de définition des unités fonctionnelles dans l'ACV (c'est-à-dire préciser les questions « quoi », « combien », « dans quelle mesure » et « pendant combien de temps »). Reportez-vous à la norme ISO 14040 / 44 et à la norme [ILCD – 2011] pour plus d'informations.

NOTE – Le praticien pourrait solliciter d'autres outils/documents techniques complémentaires tels que : le rapport technique IEC TR 62726 :2014 de l'IEC [IEC TR 62726 :2014 – 2014], le standard ISO 14064-2 :2019 [ISO 14064 -2 :2019] ou le futur guide en cours de développement par l'IEC sur la quantification et la communication sur l'empreinte carbone et les réductions d'émissions GES/émissions évitées des produits e systèmes électriques et électroniques (attendu pour mi-2025).

Le Tableau 16 donne un aperçu de la différence en termes d'impact GES entre le système de produits de référence et le système de produit hypothétique en fonction de l'approche choisie par le praticien pour définir l'unité fonctionnelle dans l'évaluation comparative. Dans les deux cas, l'évaluation comparative suppose une seule échelle de produit dans un souci de simplification.

Tableau 16 - Différence en termes d'émissions GES entre les deux systèmes de produits en fonction du périmètre de l'unité fonctionnelle

Périmètre de l'unité fonctionnelle	Fonctionnalités primaires	Fonctionnalités primaires + autres
Dispositif (connecté)	Soit aucune différence de GES ⁽¹⁾ , soit il peut y avoir une différence de GES en raison d'une différence de performance du dispositif ⁽²⁾	il peut y avoir une différence de GES en raison d'une différence de performance du dispositif ⁽²⁾ et / ou une différence dans l'ensemble des autres fonctionnalités ⁽³⁾
Biens de support non liés à la connectivité et biens de support	Soit aucune différence de GES ⁽¹⁾ , soit il peut y avoir une différence de GES en raison d'une différence de performance du dispositif ⁽²⁾	Il peut y avoir une différence de GES ⁽⁴⁾
Biens de support liés à la connectivité et biens de support	Soit aucune différence de GES ⁽¹⁾ , soit il peut y avoir une différence de GES en raison d'une différence de performance du dispositif ⁽²⁾	Il existe une différence de GES (émissions générées par les biens de support liés à la connectivité) ⁽⁵⁾
Réseaux	Soit aucune différence de GES ⁽¹⁾ , soit il peut y avoir une différence de GES en raison d'une différence de performance du dispositif ⁽²⁾	Il existe une différence de GES (émissions générées par les réseaux utilisés) ⁽⁵⁾

Centre de données et plateforme de services	Soit aucune différence de GES ⁽¹⁾ , soit il peut y avoir une différence de GES en raison d'une différence de performance du dispositif ⁽²⁾	Il existe une différence de GES (émissions générées par les centres de données utilisés) ⁽⁵⁾
<p>(1) Dans le cas où la connectivité n'est pas du tout nécessaire pour fournir la fonctionnalité principale du dispositif.</p> <p>(2) Dans le cas où la connectivité est utilisée par le dispositif pour améliorer le résultat de la fonctionnalité principale (fournir une meilleure qualité de service) ou pour réduire son coût (par exemple, une consommation d'énergie plus faible), mais qu'il n'est toujours pas nécessaire de remplir la fonctionnalité principale selon le niveau spécifié (voir Caractérisation de la fonctionnalité).</p> <p>(3) L'existence de tout ou partie des fonctionnalités d'Autres (reposant sur la connectivité) n'est plus justifiée.</p> <p>(4) La suppression d'une « Autre fonctionnalité » peut induire une suppression de certains biens de soutien ou biens de soutien connexes non liés à la connectivité.</p> <p>(5) Émissions attribuables en tenant compte des allocations pertinentes.</p>		

Lignes directrices sur l'identification des conséquences par une approche d'arbre des conséquences

Un arbre des conséquences pourrait être utilisé comme approche possible par un praticien pour identifier les conséquences pertinentes. Les conséquences à prendre en compte dans l'évaluation sont les suivantes :

- Conséquences liées aux sources d'émissions de GES (pas de puits, pas d'émissions évitées) ;
- Conséquences attribuables au fait que le produit a été connecté ;
- Conséquences découlant de la réalisation de la fonctionnalité du produit connecté (telle qu'exprimée dans l'unité fonctionnelle considérée dans l'évaluation comparative) ;
- Conséquences contribuant cumulativement à l'empreinte carbone du système de produits avec une part substantielle. Le praticien peut exclure des conséquences spécifiques en fonction d'un examen quantitatif ou d'une évaluation qualitative (par exemple, les conséquences dont la contribution cumulative est inférieure à un seuil de 5 % pourraient être écartées de l'évaluation).

NOTE – Les effets rebond découlant des conséquences susmentionnées doivent être inclus, sous réserve de la disponibilité des données.

Le praticien doit faire la distinction entre les conséquences appartenant au système de premier plan de celles appartenant au système en arrière-plan du système de produits. Les processus de premier plan sont les processus qui, en ce qui concerne leur sélection ou leur mode de fonctionnement, sont directement affectés par les décisions analysées dans l'étude (ici, le produit étant connecté). Les processus nouveaux sont donc ceux qui sont sous le contrôle direct du producteur du produit, de l'opérateur du service ou de l'utilisateur du produit ou dans lesquels il exerce une influence déterminante. Dans le cas d'un produit connecté, il peut s'agir d'une passerelle dédiée, d'un dispositif complémentaire spécifique, d'un bien de support du produit connecté, etc., qui sont fournis spécifiquement par le fournisseur du produit et / ou déployés exclusivement pour prendre en charge le produit connecté.

En revanche, les processus d'arrière-plan comprennent les processus qui sont exploités dans le cadre du système mais qui ne sont pas sous le contrôle direct ou l'influence déterminante du producteur du produit connecté (ou de l'opérateur du service, ou de l'utilisateur du produit) ; ils échappent donc à l'influence ou au choix direct du producteur ou de l'opérateur de services du système analysé. Dans le cas d'un produit connecté, il peut s'agir d'un réseau de communication existant accessible au public (par exemple, un réseau cellulaire).

Ces définitions des processus de premier plan et d'arrière-plan sont conformes à la définition de la perspective de gestion de ces deux concepts du manuel ILCD ACV (CCR). D'un point de vue gestion l'objectif est d'identifier quels processus peuvent être gérés par contrôle direct ou influence décisive du point de vue du contexte décisionnel d'une étude (dans notre cas « connecter un produit »), cette variante des définitions de premier plan / arrière-plan est pertinente à des fins d'éco-conception et alignée sur la philosophie de l'heuristique.

L'identification des processus d'arrière-plan et de premier plan et la manière de les comptabiliser dépendent de la modélisation de scénario dans l'évaluation comparative.

En règle générale, les émissions provenant des processus d'arrière-plan ne sont pas ou partiellement supplémentaires et seraient donc comptabilisées selon des règles d'allocation (en prenant la part de l'impact attribuable à la fonctionnalité fournie par le produit connecté), tandis que les émissions générées par les processus de premier plan sont entièrement supplémentaires et seraient donc comptabilisées sans répartition (car leur existence est généralement attribuable au produit connecté).

NOTE – L'incidence d'un processus identifié comme un processus de premier plan peut également être évaluée par le biais d'affectations. Par exemple, l'impact d'une plate-forme de service propriétaire interagissant avec le dispositif connecté doit être partagé entre plusieurs dispositifs connectés avec lesquels la plate-forme communique.

La Figure 26 illustre une représentation possible de l'arbre des conséquences lors de l'intégration d'une connectivité dans un produit. Elle identifie les actions (lignes pointillées) et leurs conséquences directes (conséquences de premier niveau), conduisant à d'autres conséquences (conséquences de deuxième niveau et de niveau supérieur), etc. Différentes couleurs peuvent être utilisées pour différencier les conséquences de premier plan et secondaires. D'autres représentations de l'arbre des conséquences ou des conventions alternatives pour soutenir l'approche conséquentielle pourraient être utilisées par le praticien.

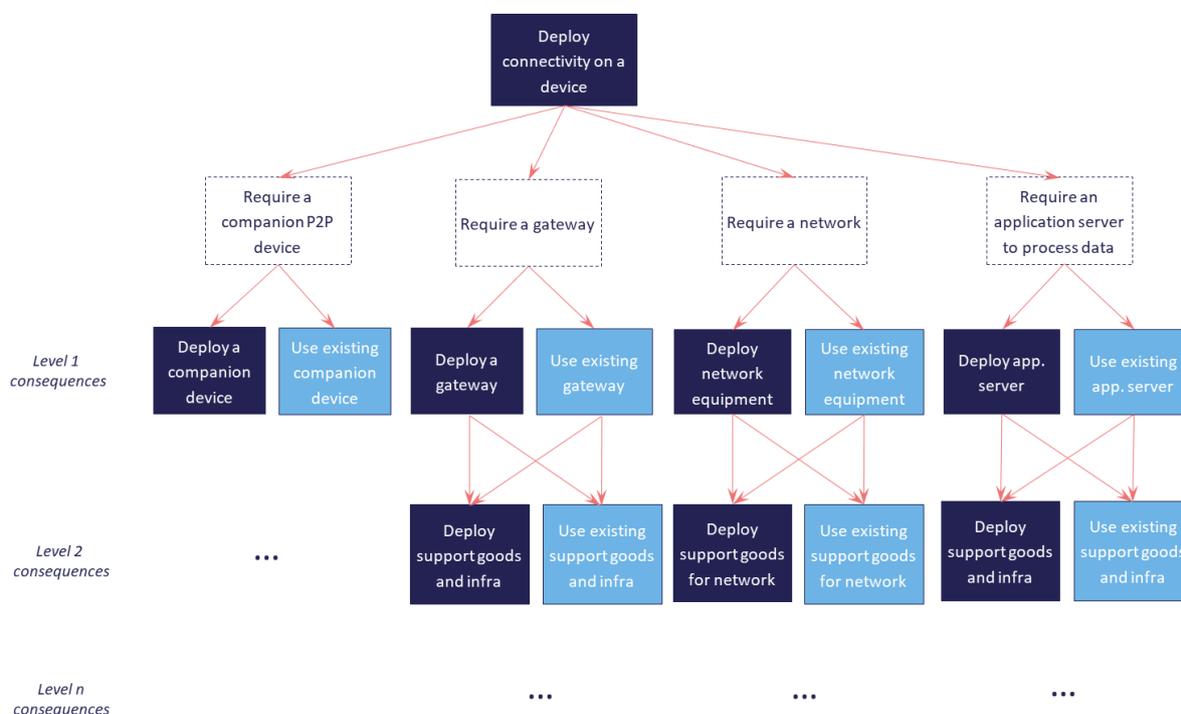


Figure 26 – Une représentation possible de l'arbre des conséquences montrant l'étendue des conséquences une fois le produit connecté ; cases de couleur bleu clair représentent les conséquences liées à des processus d'arrière-plan, cases de couleur bleu foncé représentent les conséquences liées à des processus de premier plan.

Un exemple de mise en œuvre : le cas de la caméra de surveillance connectée

Le cas d'une caméra de surveillance connectées (IP) avec un stockage intégré est considéré comme un exemple pour évaluer la part incrémentale de connectivité dans l'empreinte carbone du service fourni par le dispositif.

Description de la solution IoT et spécification des fonctionnalités :

Des caméras de surveillance connectées (IP) dans le train sont montées à plusieurs endroits dans le train pour enregistrer l'intérieur du train. Les caméras capturent la scène tout au long du voyage et enregistrent les images dans leur composant de stockage intégré (par exemple, les emplacements pour carte SD intégrés ou le disque dur). Une fois le train arrivé à la gare, la flotte de caméras est automatiquement interrogée par le Centre de Contrôle du Système d'Information Ferroviaire. Les caméras se connectent via les réseaux cellulaires 4G / 5G disponibles à un serveur dans un centre de données où la vidéo enregistrée sera traitée et stockée pendant une période prédéfinie.

- La fonctionnalité principale de la caméra connectée : filmer et enregistrer des séquences dans un composant de stockage intégré.
- La fonctionnalité secondaire (supplémentaire) de la caméra connectée : Pour transférer, lors de l'interrogation automatique, les images stockées vers un centre de données (où le contenu sera traité et stocké pendant une période prédéfinie).

L'évaluation compare deux systèmes de produits présentant la même fonctionnalité principale :

- Système de produit d'un produit équivalent non connecté = {caméra IP de surveillance non connectée avec stockage intégré}
- Système de produit d'une caméra connectée = {caméra IP de surveillance connectée avec stockage intégré, réseau, centre de données / plate-forme de service}
- Périmètre de l'évaluation : une caméra IP de surveillance avec stockage intégré déployée dans un train.

Hypothèses d'évaluation :

L'évaluation envisage une approche simplifiée / préalable avec les hypothèses suivantes :

Article	Hypothèse	Source / référence / remarques
Caméra de surveillance connectée en carbone incorporé (KgCO ₂ eq / unité)	390	Modèle APL (2023)
Puissance nominale de la caméra de surveillance connectée (active et en veille) (KW / unité)	0,01 actif 0,001 en veille	Décision, APL (2023)
Caméra de surveillance non connectée en carbone incorporé (KgCO ₂ eq / unité)	387	Modèle APL (2023) ; pas de module de connectivité (ce dernier supposé représenter 3 KgCO ₂ eq.)
Puissance nominale de la caméra de surveillance non connectée (active et en veille) (KW / unité)	0,01 actif 0,001 en veille	Décision, APL (2023) ; hypothèse selon laquelle la différence de puissance n'est pas significative.
Volume moyen de données traitées et stockées par caméra et par trajet (Go / caméra)	10	Décision, APL (2023) ; adaptation du modèle pour un traitement à haut débit lors d'un trajet de 2 heures.
Taux de compression des données pour les transferts de données	0,3	Décision, hypothèse APL (2023). ⁶²
Nombre moyen de jours d'utilisation d'un TGV par an (jours)	260	Hypothèse

⁶² En utilisant un facteur de compression de 30 %, cela conduit à un volume de données cohérent avec une caméra IP de 5 MP avec une sensibilité au mouvement réglée à 50 % et enregistrant à 25 images par seconde en utilisant H.265 : reportez-vous à : <https://domar.com/collections/ip-cameras-with-memory-card-support>

Durée moyenne de stockage dans les datacenters (jours)	21 jours	Décision, APL (2023)
Nombre de trajets programmés par jour (durée de 2 heures)	6	Hypothèse; 3 trajets aller-retour par jour
Émissions de carbone embarquées allouées par Go stocké.an (KgCO ₂ eq / Go stocké.an)	0,001	Décision, modèle APL (2023) ; adaptation à 1 Go stocké
Émissions de carbone allouées par Go transféré par an (KgCO ₂ eq / Go transféré.an)	0,008	ADEME Base Empreinte (année 2020) ⁶³
Durée de vie moyenne du dispositif photo (années)	10	Hillerström (2010) [Hillerstrom – 2010]
Intensité carbone moyenne du réseau – France (KgCO ₂ / KWh)	0,07	NegaOctet / CODDE

Évaluation:

Les impacts d'une caméra de surveillance non connectée sont calculés comme suit :

$$CF_{sys}^{conn} = \text{Impact embarqué} + \text{Impact d'utilisation}$$

- Impact embarqué = **387 kg CO₂ eq**
- Impact d'utilisation = (Puissance (actif) * temps actif + Alimentation (veille) * temps de veille) * durée de vie de la caméra * Intensité carbone de la grille

$$= (0,01 * 6 * 2,5 * 260 / 365 + 0,001 * [(24 - 6 * 2,5) * 260 / 365 + 105 / 365]) * 365 * 10 * 0,07$$

$$= \mathbf{29 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}}$$

$$CF_{sys}^{conn} = 387 + 29 = \mathbf{416 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}}$$

Les impacts d'une caméra de surveillance connectée sont calculés comme suit :

$$CF_{sys}^{conn} = \text{Impact embarqué} + \text{Impact sur l'utilisation} + \text{Impact sur le réseau} + \text{Impact sur le stockage}$$

- Impact embarqué = **390 kg CO₂ eq**
- Impact d'utilisation = (Puissance (actif) * temps actif + Puissance (veille) * temps de veille) * durée de vie de la caméra * Intensité carbone du réseau

$$= (0,01 * 6 * 2,5 * 260 / 365 + 0,001 * [(24 - 6 * 2,5) * 260 / 365 + 105 / 365]) * 365 * 10 * 0,07$$

$$= \mathbf{29 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}}$$

- Impact sur le réseau = Données transférées par trajet * nombre de trajets * Émissions de carbone allouées par Go transférées par an * durée de vie de la caméra

$$= 10 * 0,3 * 6 * 260 * 10 * 0,008$$

$$= \mathbf{375 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}}$$

- Impact du stockage⁶⁴ = Données stockées par trajet * nombre de trajets * durée de stockage (en années) * Émissions de carbone embarquées allouées par le centre de données par Go stocké par an * durée de vie de la caméra

⁶³ <https://base-empreinte.ademe.fr/documentation/base-impact?idDocument=167>

⁶⁴ L'impact du stockage au centre de données ne tient pas compte des facteurs multiplicateurs liés aux duplications de données ou à d'autres frais supplémentaires liés au cloud.

$$= 10 * 6 * 260 * 10 * 21 / 365 * 0,001$$

$$= 9 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}$$

$$CF_{sys}^{conn} = 390 + 29 + 375 + 9 = \underline{803 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}}$$

Résultats de l'évaluation :

La part incrémentale de la connectivité dans l'empreinte carbone du service fourni par le dispositif est calculée selon les dispositions suivantes de l'Appendice I :

$$\frac{\Delta CF_{sys}}{CF_{device}^{conn}} = \frac{CF_{sys}^{conn} - CF_{sys}^{\overline{conn}}}{CF_{device}^{conn}}$$

Où:

- $CF_{device}^{\overline{conn}}$: représente l'empreinte carbone de la version non connectée du dispositif ;
- CF_{sys}^{conn} : représente l'empreinte carbone du système de produits avec Le dispositif connecté ;
- $CF_{sys}^{\overline{conn}}$: représente l'empreinte carbone du système de produit dans un scénario alternatif où le dispositif n'aurait pas été connecté ;
- ΔCF_{sys} : représente l'empreinte carbone supplémentaire de la connectivité, c'est-à-dire les émissions incrémentales attribuables aux capacités de communication du dispositif.

$$\frac{\Delta CF_{sys}}{CF_{device}^{conn}} = \frac{803 - 416}{416} = 0,93$$

Dans le cas d'une caméra de surveillance connectée et sous réserve des hypothèses considérées, l'évaluation préalable conduit à une part incrémentale de : **93 %**

NOTE – L'évaluation prend en compte une approche ACV attributionnelle et se concentre uniquement sur les effets de premier ordre. En tant qu'approche d'évaluation préalable, une analyse de sensibilité peut compléter l'évaluation pour remettre en question l'influence des hypothèses et des paramètres.

I.5 Recommandations sur l'évaluation des considérations relatives à l'obsolescence matérielle et logicielle

Cette section fournit des recommandations pour évaluer les considérations relatives à l'obsolescence matérielle et logicielle (étape 3 de l'heuristique). La méthodologie, basée sur la norme [UIT-T L.1023] et certaines normes de la série EN 4555x, construit un système de notation pour aborder chaque critère de caractérisation de l'obsolescence matérielle et logicielle.

NOTE – La méthodologie ne définit pas de méthode d'agrégation pour les notes attribuées pour chaque critère défini ci-dessous, le praticien peut concevoir une méthode d'agrégation pertinente (par exemple, lorsque tous les critères sont équivalents, le praticien peut prendre la moyenne simple, sinon, une moyenne pondérée pourrait être préférée).

Pour les critères d'obsolescence logicielle :

- **Critères** : Disponibilité des mises à jour et des mises à niveau liées à la connectivité des logiciels et des micrologiciels. Les mises à jour et les mises à niveau englobent les mises à jour du système d'exploitation traitant de la connectivité et des correctifs de sécurité.

Note	Exigence de réalisation
1	La disponibilité des mises à jour et des mises à niveau des logiciels et des micrologiciels peut être classée comme à long terme. En référence à la norme [EN 45554], cela correspond à un produit de classe A, c'est-à-dire pour une durée qui reflète la durée de vie utile maximale prévue du produit ou au-delà.
2	La disponibilité des mises à jour et des mises à niveau des logiciels et des micrologiciels peut être classée comme étant à moyen terme. En référence à la norme [EN 45554], cela correspond à un produit de classe B, c'est-à-dire pour une durée qui reflète la durée de vie utile moyenne prévue du produit.
3	La disponibilité des mises à jour et des mises à niveau des logiciels et des micrologiciels peut être classée comme étant à court terme. En référence à la norme [EN 45554], cela correspond à un produit de classe C, c'est-à-dire pour une durée qui reflète le moment de la vente du produit.
4	Aucune information sur la durée de disponibilité n'est fournie sur les mises à niveau et les mises à jour du logiciel ou du micrologiciel. En référence à la norme [EN 45554], cela correspond à un produit de classe D.

Pour les critères d'obsolescence matérielle :

- **Critères :** Profondeur de démontage (nombre d'étapes nécessaires pour atteindre les pièces liées à la connectivité sans endommager le produit⁶⁵) [UIT L.1023]

Note	Exigence de réalisation
1	Toutes les pièces ciblées pour les opérations de réparation sont accessibles après une ou deux étapes de démontage.
2	Toutes les pièces ciblées pour les opérations de réparation sont accessibles après trois ou quatre étapes de démontage.
3	Toutes les pièces ciblées pour les opérations de réparation sont accessibles après cinq ou six étapes de démontage.
4	Toutes les pièces ciblées pour les opérations de réparation sont accessibles après plus de six étapes de démontage.

- **Critères :** Types de fixations et de connecteurs, et outils utilisés pour démonter les pièces liées à la connectivité inspirés de la norme [UIT L.1023]

Note	Exigence de réalisation
1	<ul style="list-style-type: none"> - Les fixations et connecteurs associés à la partie connectivité peuvent être classés comme réutilisables (classe A, c'est-à-dire un système de fixation d'origine qui peut être entièrement réutilisé et / ou tout élément du système de fixation qui ne peut pas être réutilisé est fourni avec la nouvelle pièce pour un processus de réparation, de réutilisation ou de mise à niveau [EN 45554]). - Outils : aucun outil n'est nécessaire ou seulement des outils de base (classes A à B telles que définies dans la norme [EN 45554]).
2	<ul style="list-style-type: none"> - Les fixations et connecteurs associés à la partie connectivité peuvent être classés comme amovibles (classe B, c'est-à-dire qu'un système de fixation d'origine n'est pas réutilisable, mais peut être retiré sans causer de dommages ni laisser de résidus, ce qui empêche le remontage (en cas de réparation ou de mise à niveau) ou la réutilisation de la pièce retirée (en cas de réutilisation) pour un processus de réparation, de réutilisation ou de mise à niveau [EN 45554]). - Outils : Des outils spécifiques au produit sont nécessaires (classes C telles que définies dans la norme [EN 45554]).
3	<ul style="list-style-type: none"> - Les fixations et connecteurs associés à la partie connectivité peuvent être classés comme amovibles ou réutilisables. - Outils : Des outils propriétaires (disponibles dans le commerce) sont nécessaires (classes D telles que définies dans la norme [EN 45554]).
4	<ul style="list-style-type: none"> - Les fixations et les connecteurs associés à la partie connectivité peuvent être classés comme non amovibles ni réutilisables, c'est-à-dire que les fixations et les connecteurs sont permanents (par exemple, utilisation de colles et de soudures pour les fixations permanentes) (classe C selon [EN 45554]). - Outils : Des outils propriétaires (disponibles dans le commerce ou non) sont nécessaires (classes D telles que définies dans la norme [EN 45554]).

⁶⁵ Le comptage des étapes pour chaque pièce commence à partir du produit entièrement assemblé.

NOTE : Conformément à l'approche proposée par le rapport du CCR sur le système d'évaluation de la réparabilité des produits⁶⁶, l'évaluation du type de fixations et de connecteurs (respectivement du type d'outils) est basée sur le processus de démontage pour retirer la pièce ciblée spécifique, en commençant par la pièce précédente dans la séquence de démontage déjà retirée. Dans le cas où différents types de fixations (respectivement différents types d'outils) sont rencontrés lors du démontage des pièces, le pire résultat doit être pris en compte.

I. 6 Approches possibles pour la mise en œuvre du test intermédiaire

Il peut être difficile de déterminer si la « connectivité » est un critère décisif pour l'acquisition (du point de vue du consommateur) ou la vente (du point de vue du fournisseur) d'un produit connecté. Comme il n'y a peut-être pas d'approche unique convaincante et autosuffisante, le praticien peut combiner différentes approches, de sorte que le résultat du test pourrait être dérivé d'un ensemble d'éléments de preuve de concordance.

Les approches possibles peuvent inclure :

- L'utilisation du déploiement de la fonction qualité (DFQ) qui aide à transformer les besoins des clients (« Voix du client ») en caractéristiques techniques d'un produit ou d'un service, en hiérarchisant chaque fonction / attribut du produit dans les objectifs de développement du produit. Grâce au DFQ, un praticien peut être en mesure d'identifier en quoi la « connectivité » est « très pertinente » pour un utilisateur moyen du produit. Le DFQ est généralement dérivé de divers moyens, notamment des enquêtes auprès des consommateurs, des groupes de discussion, des analyses de marché ou des rapports sur le terrain.
- Études de marché et enquêtes sur la volonté d'achat des consommateurs de produits connectés par rapport à leurs produits équivalents non connectés (intention d'achat).
- Des études de marché ou des rapports de terrain qui mesurent le taux d'adoption des produits connectés sur le marché, tels que le rapport du CCR sur l'état de l'art de la maison intelligente et des dispositifs électroménagers sur le marché de l'UE⁶⁷.
- D'autres éléments de preuve montrant comment la connectivité est une caractéristique clé ou marginale lors de l'achat / de la mise sur le marché du produit, recueillis à partir d'études de marché ou de commentaires du fournisseur. Il peut s'agir, par exemple, d'un retour d'information des fabricants de dispositifs intelligents sur le rapport entre les dispositifs connectés effectivement et en permanence⁶⁸. Les dispositifs connectés à Internet à leur réglage initial mais finissant par être déconnectés⁶⁹ ne seraient pas considérés comme connectés en permanence.
- ...

Pour déterminer l'impact de la « connectivité » sur le processus d'acquisition de décisions d'un client, il peut être plus pertinent de concentrer l'analyse sur les fonctionnalités rendues possibles par la « connectivité », comme illustré dans Figure 27 puisqu'un client acquerrait un produit pour ses

⁶⁶ Système de notation de la réparabilité des produits : application spécifique aux smartphones et tablettes ardoises, CCR (2022) https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC128672/JRC128672_01.pdf

⁶⁷ Serrenho, T., Bertoldi, P., « Smart home and appliances : State of the art – Energy, Communications, Protocols, Standards », EUR 29750 EN, Office des publications de l'Union européenne, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-76-03657-9, doi :10.2760 / 453301, JRC113988

⁶⁸ Par exemple, selon LG, les dispositifs intelligents connectés efficacement et constamment représentent 40 à 45 % de ses dispositifs vendus : <https://arstechnica.com/gadgets/2023/01/half-of-smart-appliances-remain-disconnected-from-internet-makers-lament/>

⁶⁹ Cela peut se produire pour différentes raisons en raison d'un changement de fournisseur de services, de routeur ou même de mot de passe, ce qui entraîne la déconnexion du dispositif.

fonctionnalités plutôt que pour ses paramètres de conception, ses composants ou ses capacités intégrées.

Les fonctionnalités de connectivité peuvent inclure : permettre des économies d'énergie grâce au contrôle à distance du dispositif, prolonger la durée de vie du dispositif grâce à la maintenance préventive et à la mise à jour OTA, débloquer de nouvelles fonctionnalités grâce à la mise à niveau en ligne, etc. À ce stade de l'heuristique (étapes 2 et 3), les fonctionnalités de connectivité traitent généralement des caractéristiques de performance⁷⁰ et enthousiasmantes du produit.

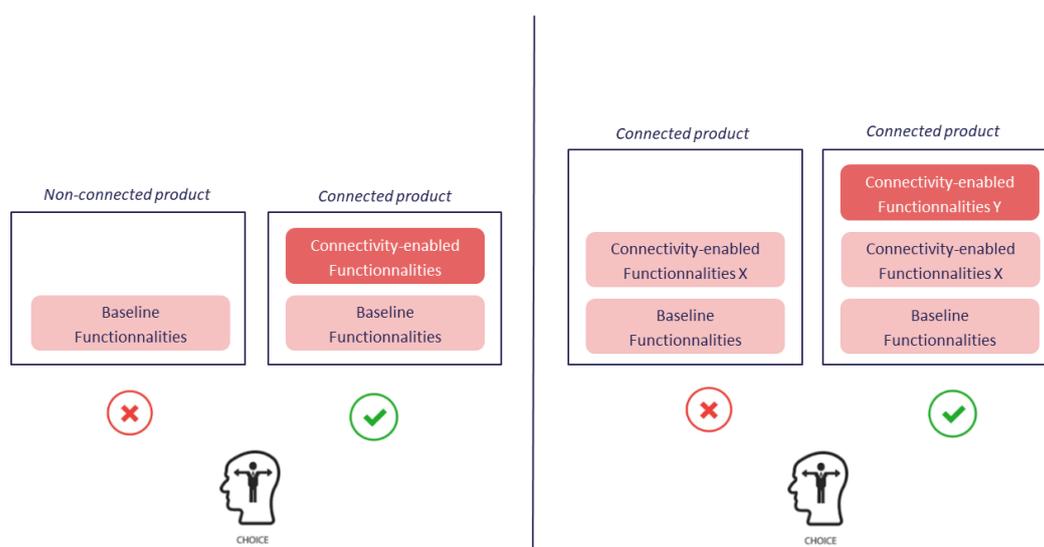


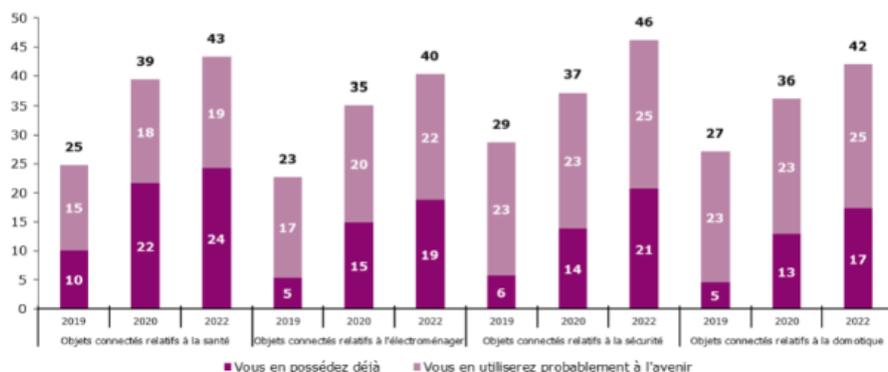
Figure 27 – Illustration des deux situations où la « connectivité » guide le choix du client : comparaison d'un produit connecté vs un produit non connecté ; comparaison de deux produits connectés

Il peut être difficile d'en tirer une analyse très concluante en travaillant avec de telles approches car il peut y avoir un biais d'interprétation, par exemple une augmentation observée du volume des ventes de réfrigérateurs connectés au cours d'une période donnée n'implique pas systématiquement que la connectivité aurait été le critère décisif pour l'acquisition de ces réfrigérateurs connectés, d'autres raisons pourraient être une raréfaction significative du réfrigérateur traditionnel (car les fabricants ne les produisent plus) alors que la demande de réfrigérateurs connectés frigos est toujours présente ou des politiques de subventions spécifiques incitant à l'achat de frigos connectés.

Selon les résultats d'une enquête menée par le CREDOC sur le marché français de 2019 à 2022 [CREDOC – 2022], une augmentation est rapportée dans l'adoption et l'intention d'acquérir des objets connectés liés à l'e-santé, à la sécurité, à l'électroménager intelligent et à la maison intelligente. Cependant, il n'est pas simple de tirer une conclusion systématique sur la question de savoir si la connectivité ou les fonctionnalités connexes sont les critères décisifs pour l'achat.

⁷⁰ Les caractéristiques de performance et les caractéristiques d'excitation sont définies dans le cadre de Kano de la qualité des produits reliant les fonctions du produit à la satisfaction du client, elles font référence à des types spécifiques d'exigences des clients d'un nouveau produit (www.Kanomodel.com)

Graphique 10
En dehors des téléphones, enceintes, télévisions et consoles de jeux, on peut disposer à domicile d'objets connectés à internet grâce à une technologie sans fil de type montre connectée, électroménager connecté, thermostat, sécurité, etc.
Par rapport à ces objets, aujourd'hui, quelle est votre situation ?¹³
 - Champ : ensemble de la population de 12 ans et plus, en % -



Source : CREDOC, Baromètre du numérique.

Figure 28 – Enquête sur le niveau d'adoption de l'IoT sur le marché français (extrait de [CREDOC - 2022])

Dans certains cas, l'achat d'un produit connecté est motivé par des fonctionnalités intelligentes autres que la connectivité (par exemple, un écran tactile intégré à un réfrigérateur intelligent) tandis que l'on peut soutenir que la connectivité pourrait être considérée « indirectement » comme un critère décisif pour l'achat, simplement parce que de telles fonctionnalités intelligentes n'auraient pas existé dans un appareil intelligent en l'absence de connectivité intégrée.

En définitive, une conclusion tirée d'un marché géographique donné ne pouvant être systématiquement transposée sur un autre marché, le rapport du CCR sur l'état des lieux des appareils ménagers intelligents sur le marché de l'UE montre des différences de niveau de maturité et de taux d'adoption des dispositifs connectés entre une sélection de pays comparables de l'UE pourtant présentant les mêmes niveaux de développement. L'âge de la base de consommateurs et la catégorie socio-économique peuvent constituer une autre source de divergences lorsqu'il s'agit d'analyser le potentiel d'attractivité des objets connectés ; par exemple, [CREDOC – 2022] fait état d'un taux d'adoption des dispositifs IoT plus élevé chez les jeunes générations que chez les plus anciennes (et en particulier, une augmentation plus forte entre 2020 et 2022 pour les plus jeunes (c'est-à-dire âgés de 12 à 17 ans)).

Appendice II

Une approche pour la catégorisation des produits connectés et les règles d'allocation carbone

(Cet appendice est relatif à Section 4.3)

Cet appendice vise à aborder la question de la comptabilisation du carbone sur la base des différents résultats de l'arbre de décision de l'heuristique et également à savoir comment étendre l'heuristique pour traiter tous les cas possibles (IoT ou non-IoT) dans un but d'exhaustivité, tout en l'harmonisant avec le cadre de l'OCDE sur l'économie numérique décrit à l'Annexe A.

Le fondement du présent Appendice repose sur les principes suivants :

- L'approche ne remet pas en cause la catégorisation des produits par les cadres internationaux de classification type (CITI, CPC, ...)
- L'empreinte carbone du dispositif appartenant aux TIC est attribuée aux TIC, l'empreinte carbone du dispositif appartenant au secteur des M&D est attribuée aux M&D
- Pour les objets connectés qui n'appartiennent pas clairement à ces secteurs (qu'ils fassent partie de l'IoT ou non), une approche d'allocation de l'empreinte carbone est définie qui prend en compte les endroits où le secteur de l'économie de l'information a un certain degré d'influence.

II.1 Catégorisation des produits connectés et extension de l'heuristique

L'objectif de cette section est d'harmoniser l'heuristique avec le cadre de l'OCDE sur l'économie numérique (voir l'Annexe A). Outre les résultats actuels de l'heuristique, une proposition est développée ci-dessous pour l'étendre sous le paradigme du cadre [OCDE – 2020].

Comme décrit à l'Annexe A, l'OCDE a recommandé en 2020 une approche progressive et souple pour définir le périmètre des activités dans le cadre (ou non) de ce qu'elle appelle « l'économie numérique ». En partant de cette *approche de l'OCDE axée sur les activités économiques*, le présent Appendice l'adapte à une catégorisation des produits qui conserve la même partition de l'économie mais par une *approche axée sur les produits* tout en mettant l'accent sur la « connectivité » comme l'un des principaux piliers de la définition du secteur / produit des TIC, comme ci-dessous :

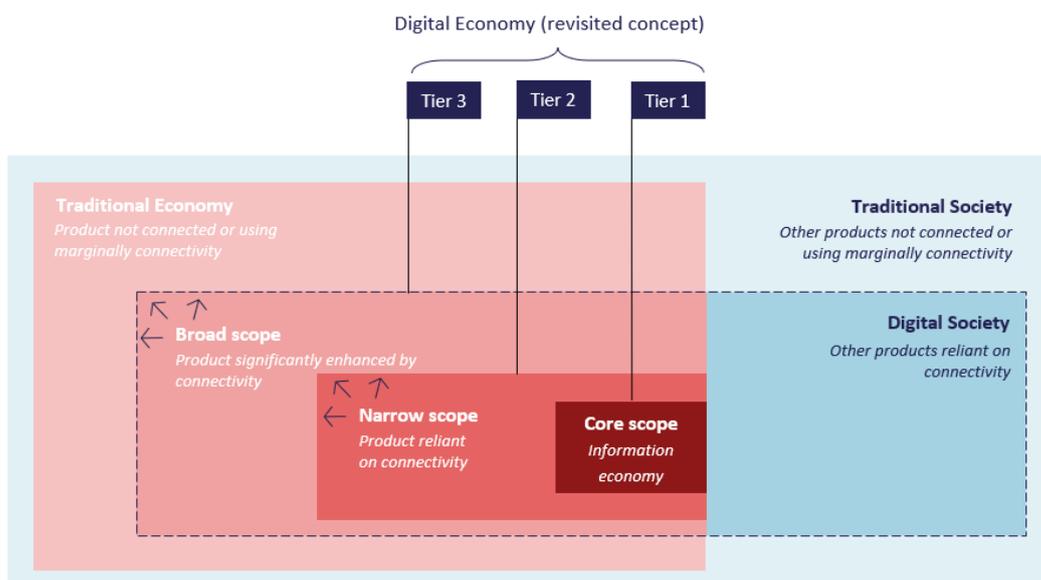


Figure 29 - Catégorisation des produits connectés inspirée du cadre de l'OCDE pour l'économie numérique [OCDE- 2020]

Sur la base de cette approche, nous cherchons à harmoniser les résultats de l'heuristique (voir Figure 32 ci-dessous) avec la partition mentionnée dans la Figure 29.

II.1.1 Produits natifs TIC

Lorsque l'heuristique conduit à un « bien TIC natif », le produit peut être étendu au secteur des TIC qui fait partie de l'économie de l'information. Par conséquent, on peut classer les « biens TIC natifs » dans la catégorie de produits « Périmètre cœur » (niveau 1 dans la Figure 29)

II.1.2 Produits M&D

De même, si l'heuristique conduit à « bien M&D », le produit peut par conséquent être étendu au secteur M&D qui fait partie de l'économie de l'information. C'est-à-dire que le produit peut être classé dans le « Périmètre cœur » (niveau 1 dans la Figure 29)

II.1.3 Produits connectés basés TIC

Lorsque l'heuristique conduit à un « bien basé TIC », cela implique que le produit n'appartient ni aux TIC ni aux M&D, à un moment donné de l'heuristique, au moins un test était positif (pour quitter l'arbre et être classé comme « bien basé TIC »). Ainsi, c'est le rôle de la connectivité et la dépendance du produit à son égard qui peuvent induire le résultat « bien basé TIC » pour un produit. Par conséquent, on peut classer les « biens basés TIC » dans la catégorie de produits « Périmètre étroit » (niveau 2 dans la Figure 29), car ce type de produit dépend de la connectivité.

II.1.4 Produits connectés non-basés TIC

Lorsque l'heuristique conduit au résultat « Bien non-basé TIC », cela implique deux possibilités pour le chemin qui a été suivi le long de l'arbre :

- Option 1 : La réponse à l'enquête de marché était « peu probable » (que la connectivité soit le critère décisif pour l'achat / la vente du produit) ;

- Option 2 : À l'exception de l'enquête de marché et une fois intégré à l'arbre, tous les tests ont reçu une réponse négative.

Pour ces deux cas, cela implique que le produit connecté ne dépend pas de la connectivité. Par conséquent, on peut classer les « biens non-basés TIC » dans la catégorie de produits « Périmètre large » ou « Économie traditionnelle » (c'est-à-dire Niveau 3 ou au-delà, car il ne s'agira pas d'un périmètre cœur ou étroit).

Être capable de distinguer entre les catégorisations « Périmètre large » et « Économie traditionnelle » signifie comprendre si le produit est considérablement amélioré par la connectivité ou si le produit utilise la connectivité comme caractéristique supplémentaire et marginale selon Figure 31.

Pour cela, l'heuristique pourrait être étendue avec deux tests supplémentaires (voir la partie droite de l'arbre étendue dans la Figure 32). L'objectif de ces tests serait d'examiner d'abord si le dispositif repose ou non sur la connectivité (c'est-à-dire le test « X » déjà représenté dans l'arbre) et sinon, si la connectivité améliore les fonctionnalités dudit produit (test « Y »). Le contenu précis du test « Y » pourrait être discuté au sein du comité afin d'arriver à une définition plus pertinente et plus détaillée.

NOTE : Le test « X » est redondant pour un produit qui relève de l'option 2 (car il y est déjà passé), mais il est nécessaire pour un produit relevant de l'option 1 car il a quitté l'arbre avant les étapes 2 et 3.

II.1.5 Produits connectés non IoT

Lorsque l'heuristique conduit au résultat « Biens non-IoT », cela implique que le produit ne fait pas partie de l'IoT (d'où une réponse négative au test associé).

Dans le but de catégoriser ce type de dispositif qui peut englober une grande variété de produits : tout d'abord, le produit peut être un produit M&D, nous incluons donc un test M&D, dans ce cas, il est catégorisé dans le périmètre cœur (niveau 1), sinon, nous devons parcourir la partie étendue de l'arbre afin d'évaluer l'influence de la connectivité sur ses fonctionnalités. En suivant le même raisonnement et afin de rester en harmonie avec le cadre [OCDE-2020], si le produit est « dépendant de la connectivité » (c'est-à-dire que le test « X » est positif), on peut classer ce type de dispositif dans le « Périmètre étroit » (niveau 2). En revanche, si le résultat est « non dépendant de la connectivité » (le test « X » est négatif), on peut effectuer le test « Y » afin de comprendre le rôle de la connectivité dans les fonctionnalités du produit, ainsi, il peut être classé dans le « Périmètre large » ou dans l'« Économie traditionnelle » (Niveau 3 ou au-delà).

II.2 Proposition de règles d'allocation carbone

Sur la base de l'harmonisation menée entre les résultats de l'heuristique et son extension proposée et le cadre [OCDE-2020] pour la portée de l'économie numérique, la présente section examine certains éléments sur les moyens d'attribuer l'empreinte carbone d'un produit au secteur de l'économie de l'information (niveau 1) en fonction de son résultat et, par conséquent, de sa catégorie de produits.

Si le produit entre dans la catégorie « Périmètre cœur » (niveau 1), il appartient à « l'Économie de l'information » et on peut allouer l'intégralité de son empreinte carbone au secteur de l'économie de l'information.

Si le produit entre dans la catégorie « Économie traditionnelle » (au-delà du niveau 3), cela signifie qu'il utilise la connectivité comme une caractéristique supplémentaire et marginale. Ainsi, la connectivité n'exerce aucune influence ou peu sur ses fonctionnalités. Par conséquent, la proposition est de ne pas allouer son empreinte carbone au secteur de l'économie de l'information.

Si le produit entre dans la catégorie « Périmètre large » (Niveau 3), cela signifie qu'il est considérablement amélioré par la connectivité mais qu'il n'en dépend pas. Par conséquent, il est

proposé d'allouer à l'empreinte carbone de l'économie de l'information uniquement la part de connectivité dans l'empreinte carbone du produit.

Si le produit entre dans la catégorie « Périmètre restreint » (niveau 2), cela signifie qu'il dépend de la connectivité. Deux situations possibles peuvent se présenter :

- Le produit a été classé comme un « bien basé TIC » et il s'agit d'un produit IoT (« bien basé TIC»)
- Le produit a été classé dans la catégorie « produit dépendant de la connectivité » (mais ce n'est pas un produit IoT)

Pour tenir compte de la différence entre les deux situations, il est proposé de préciser le contenu du périmètre étroit (niveau 2) avec une sous-catégorie à l'intérieur de celui-ci. C'est-à-dire un niveau 1+ qui serait l'extension du périmètre cœur (niveau 1) pour les produits basés TIC. Au contraire, les « produits dépendant de la connectivité » relèveraient du niveau 2 mais pas du niveau 1+ (voir la [Figure 31](#)).

De plus, être classé dans la catégorie Niveau 2 ou Niveau 1+ soulève la question de l'allocation de l'ensemble de l'empreinte carbone d'un tel produit à l'économie de l'information. Cependant, le degré de contrôle des organisations de l'économie de l'information sur le produit peut varier et ne pas être suffisant pour s'engager dans une stratégie de décarbonisation efficace de ces dernières. **L'essentiel serait d'envisager d'allouer à l'économie de l'information uniquement la part de la connectivité dans l'empreinte carbone du produit** ([Figure 31](#)).

Le choix d'une allocation intégrale pourrait être étayé par un ensemble de faisceaux de preuves, par exemple :

- Indicateurs financiers à long terme montrant l'importance de la connectivité dans l'entreprise concernée (par exemple, on pourrait imaginer des tests ou des considérations supplémentaires pour objectiver cette question tels que les dépenses de R&D dans le secteur des TIC, la part des revenus annuels / valeur ajoutée dans le produit attribuable à la connectivité, etc.)
- Tirer parti des concepts existants dans la norme du protocole GES et imiter l'« approche de contrôle » (approches financière ou opérationnelle ou de partage des capitaux propres) qui fournit des orientations sur la façon de comptabiliser l'impact des activités lorsqu'elles se situent à l'extérieur des frontières de l'organisation d'origine (c.-à-d. les TIC)

Cette question de recherche est une question ouverte constitue un préambule de ce flux de travail, ainsi qu'une voie possible pour les flux de travaux futurs.

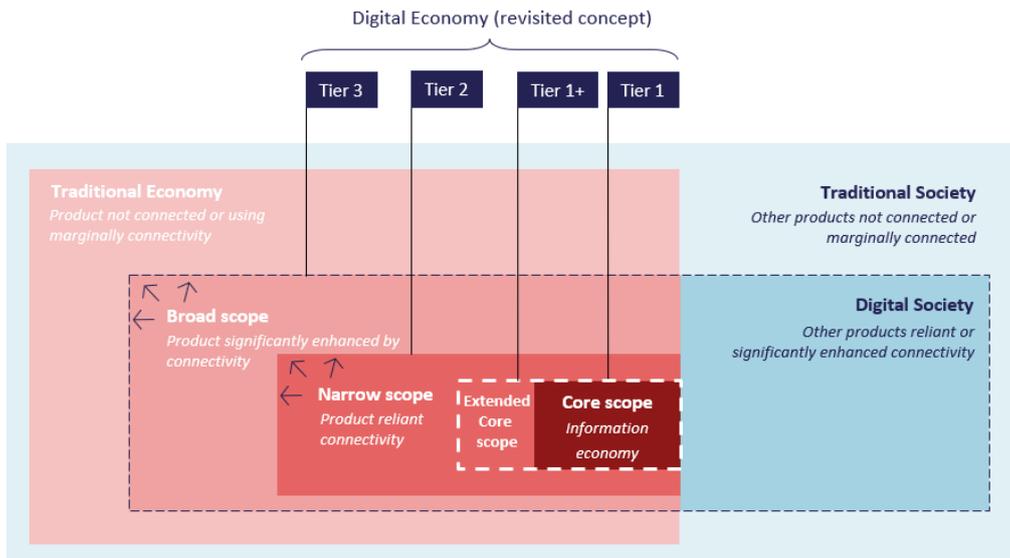


Figure 30- Subdivision du périmètre étroit (Niveau 2)

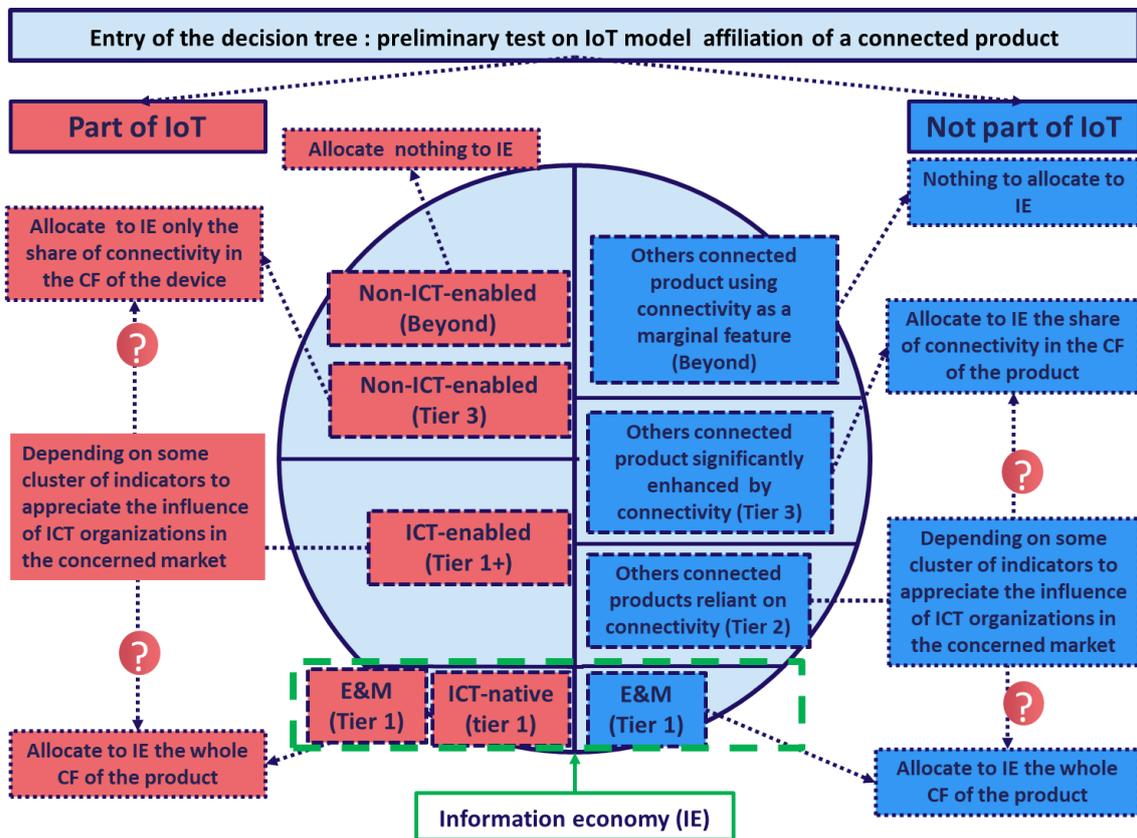


Figure 31- Cartographie des regroupements d'objets connectés et proposition de règles d'allocation carbone

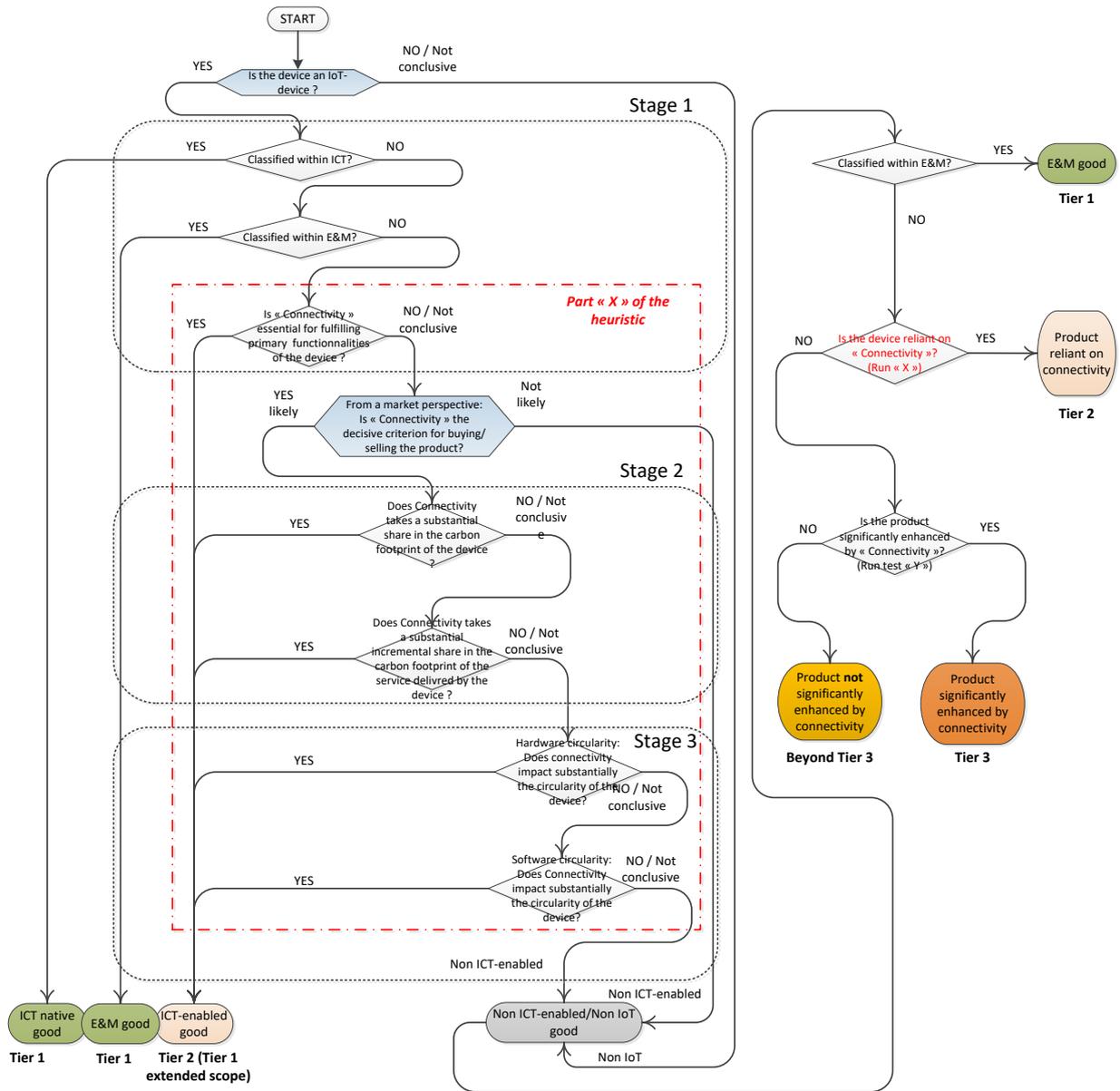


Figure 32 – Arbre de décision étendu

Appendice III

Exemples de mise en œuvre

(Cet appendice est relatif à Section 4.2 and Section 4.3)

Le présent appendice fournit des exemples de mise en œuvre des concepts développés dans le cœur du rapport et des annexes connexes, en particulier :

- Exemples de mise en œuvre de l'heuristique (Section I du présent appendice)
- Exemples de cas d'utilisation concrets mettant en œuvre l'approche de la règle d'allocation carbone développée à l'Appendice II (section II du présent appendice)
- Exemples de systèmes de dispositifs connectés reflétant les orientations fournies à l'Annexe C (section III du présent appendice)

III.1 Exemples de mise en œuvre de l'heuristique

La mise en œuvre de l'heuristique proposée ci-dessous vise à être utilisée comme guide supplémentaire pour un praticien de l'ACV. Il n'a pas l'intention d'avoir une portée normative mais plutôt d'illustrer concrètement les différents résultats théoriques de l'arbre de décision heuristique décrits dans ce rapport. Entre deux dispositifs génériques, une petite variation dans la conception du dispositif ou le contexte d'utilisation peut conduire à des résultats différents lors de la mise en œuvre de l'heuristique, ainsi, le praticien est fortement encouragé à définir le dispositif analysé et son contexte d'utilisation aussi précisément que possible.

Le résultat de l'heuristique, tel qu'illustré par les exemples abordés ci-dessous, se concentre sur la qualification du dispositif comme : dispositif natif des TIC, dispositif basé TIC ou ne faisant pas partie de l'IoT. La présente section n'aborde pas la façon de répartir l'impact carbone du dispositif à l'étude. La section II du présent appendice fournit des exemples de mise en œuvre des règles d'allocation carbone.

Le Tableau 17 illustre la mise en œuvre de l'heuristique à ses différents tests/étapes en considérant un ensemble de 15 dispositifs connectés comme illustré dans la Figure 33 :

- (1) Traceur pour animaux de compagnie/moniteur de quarantaine/surveillance d'une personne souffrant de la démence/moniteur de cheville ;
- (2) Un distributeur automatique sans espèces : un distributeur automatique où les transactions sont sans espèces, la connectivité permettant la transaction.
- (3) Vaporisateur à la nicotine connecté pour les fumeurs avec son application mobile de surveillance sur smartphone. L'utilisateur utilise le spray dans sa bouche lorsque l'envie de fumer se fait sentir. Le spray se connecte au smartphone qui enregistre l'utilisation via l'application. La progression pour cesser de fumer et la fréquence d'utilisation sont ensuite disponibles via l'application. Cet exemple considère une dose unique de nicotine par utilisation et non un recalibrage en temps réel lié à la fréquence d'utilisation.
- (4) Caméra IP connectée avec capacités de stockage mémoire/vidéo intégrées. L'exemple considéré est une caméra de sécurité installée dans un train, sur un quai, etc. Le contenu de l'enregistrement peut être transmis à volonté.

- (5) Voiture connectée pour les services d'info-divertissement. La voiture est équipée de capacités de connectivité à des fins d'info-divertissement (radio, téléchargement de musique, GPS, point d'accès Wifi local pour l'accès à Internet pour les passagers).
- (6) Distributeur automatique acceptant uniquement de pièces, avec capacité de gestion des stocks à distance.
- (7) Système d'alarme intelligent : Trois variantes de systèmes d'alarme intelligents (de différents niveaux de complexité) sont envisagées : un détecteur de fumée isolé (un système d'alarme simple) ; un ensemble de capteurs connectés/contrôlés via un smartphone (un système de complexité moyenne) ; un système de sécurité domestique (système d'alarme sophistiqué).
- (8) Un drone aérien sans pilote équipé d'une caméra pour les photos et la vidéo, utilisant pour son contrôle, ses alertes et ses communications de données une connexion sans fil directe point à point entre le drone et sa télécommande.
- (9) Un drone aérien sans pilote équipé d'une caméra pour les photos et la vidéo, utilisant pour son contrôle, ses alertes et ses communications de données un réseau mobile 5G.
- (10) Serrure de porte connectée à Internet utilisant la connectivité Wifi ou cellulaire pour verrouiller ou déverrouiller une porte.
- (11) Localisateur de clés (par exemple, un traceur « Airtag » pour Apple, un traceur « Tile » pour les dispositifs Android, etc.) : un Dispositif connecté pratique utilisant Bluetooth pour aider à suivre et localiser l'objet auquel il est attaché.
- (12) Serrure de porte intelligente non connectée à Internet utilisant la communication sans fil NFC et Bluetooth pour verrouiller ou déverrouiller une porte.
- (13) Ferme-porte à distance équipé d'une puce UWB pour contrôler à distance un bras mécanique chargé de fermer/ouvrir la porte à laquelle le bras est attaché.
- (14) Portique d'embarquement automatique (par exemple dans une gare ferroviaire/station de métro, dans un système de stationnement) équipé d'un lecteur NFC pour laisser entrer/refuser l'accès à un utilisateur après avoir montré sa carte à puce/étiquette.
- (15) Un capteur de fenêtre connecté à Zigbee équipé d'un émetteur de bip acoustique, pouvant détecter l'ouverture et la fermeture d'une fenêtre et soumettre son état via le réseau Zigbee à une plateforme Zigbee. Cet exemple est tiré de la norme [ETSI EN 303.645].

Le processus commence par identifier les fonctions principales et les fonctionnalités primaires du dispositif connecté à l'étude, le praticien procède ensuite aux différentes étapes de l'heuristique en considérant l'approche élargie (en passant par toutes les étapes de l'heuristique, mais les tests de l'étape 3 n'ont pas été effectués car ils sont facultatifs). Comme il ne s'agit que d'une mesure à titre indicatif, l'évaluation développée ci-dessous pour les tests de l'étape 2 reste qualitative. Lorsque le dispositif connecté a été identifié comme un dispositif IoT, son type selon la section 2.1.2 est également mentionné.

NOTE – Le tableau suivant s'adresse uniquement à la fonctionnalité primaire du dispositif, et n'explicite pas la fonctionnalité critique.

Pet/ankle/quarantine tracker	Cashless vending machine	Connected nicotine spray for smokers	Connected camera with build-in storage	Connected car for infotainment services
				
Coins-only vending machine with remote stock management	Smart alarm system	Aerial unmanned drone using point-to-point communication	Aerial unmanned drone using 5G mobile network	Internet connected smart lock
				
Key finder/tracker	Non Internet connected Smart lock	Remote door closer	Automatic boarding gantry station	Zigbee window sensor
				

Figure 33- Illustration des cas d'utilisation sélectionnés.

Tableau 17 – Analyse de la mise en œuvre de l'heuristique à travers des cas d'usage sélectionnés

Dispositif connecté	Traceur cellulaire pour animaux de compagnie/moniteur quarantaine	Distributeur automatique sans espèces	Voiture connectée pour les services d'info-divertissement
Fonctionnalité primaire	Fournir des informations de géolocalisation de l'animal / de l'individu (fonction principale)	Pour vendre et distribuer une collation : <ul style="list-style-type: none"> - Distribuer de la nourriture (fonction principale) - Pour effectuer une transaction 	Pour transporter des passagers en toute sécurité d'un point A à un point B : <ul style="list-style-type: none"> - Se déplacer d'un point A à un point B (fonction principale) - Adapter et corriger en temps réel la trajectoire entre le point A et le point B afin de garantir une conduite sûre

<p>Architecture de la solution</p>	<p>Le traceur contient une minuscule puce GNSS (Global Navigation Satellite System like GPS) , qui détermine la position. Un émetteur également situé dans le dispositif envoie ensuite ces données de géolocalisation via le réseau cellulaire à un serveur d'applications. Les algorithmes du serveur d'applications peuvent augmenter la précision de la position en utilisant le Wifi et les signaux cellulaires. Avec une connexion au serveur d'application, la localisation de l'animal / de l'individu peut être surveillée.</p>	<p>Le distributeur automatique est équipé d'un lecteur de carte bancaire. Le lecteur de puce est connecté à Internet via un réseau d'accès fixe ou mobile et communique avec un serveur d'une banque ou une plateforme de paiement chargée d'autoriser la transaction avec la banque.</p>	<p>La voiture est équipée d'un système d'info-divertissement où la connectivité est utilisée par le système d'info-divertissement pour l'assistance multimédia, la navigation assistée par GPS et le réglage analogique/numérique pour la réception radio multistandard. Plus précisément, le système d'info-divertissement embarqué fournit :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Un transfert de contenu audio et vidéo vers des écrans d'affichage, des enceintes et des écouteurs via Bluetooth. Grâce à cette connectivité, le système permet des fonctions évoluées telles que les appels mains libres, la visibilité du journal d'appels et l'intégration des smartphones conducteurs/passagers dans l'info-divertissement de la voiture. - Navigation optimisée assistée par GPS : Se connecte au GNSS et télécharge les informations d'une plateforme de service de trafic urbaine sur l'état en temps réel du trafic urbain et des routes pour traiter l'information globale et recommande au conducteur le meilleur chemin à suivre d'un point A à un point B. - Syntonisation analogique et numérique : permet de rechercher les stations de radio disponibles et la réception du canal cible diffusé - Téléchargement de flux de contenu audio ou vidéo : Grâce à son application native intégrée, le système d'info-divertissement se connecte par voie cellulaire à une plateforme de service audio ou vidéo pour télécharger le contenu choisi.
---	--	---	--

Test préliminaire	Oui, le dispositif est directement connecté via un réseau cellulaire et l'infrastructure réseau de confiance. Le dispositif comprend les différentes couches définies dans le Modèle de référence IoT, y compris la partie application. Un serveur d'applications est connecté à un réseau IP et interagit avec l'application du dispositif IoT.	Oui, la transaction à valider par le système bancaire doit être transmise via un réseau de communication (où le distributeur automatique est identifié de manière unique par le serveur de paiement de la plateforme). Tous les éléments pertinents des couches de référence IoT sont identifiés, notamment : <ul style="list-style-type: none"> - La couche d'application de paiement intégrée dans le module de paiement sans espèces du distributeur automatique et la couche d'application de paiement hébergée sur le serveur de la plateforme de paiement. - Le réseau de communication cellulaire ou IP fixe reliant le distributeur automatique au serveur de la plateforme de paiement. 	Oui, le service fourni par le système d'info-divertissement est conforme aux exigences du modèle de référence IoT.
Type de dispositif IoT	Dispositif général ; Dispositif LPHC	Dispositif général ; Dispositif HPHC	Dispositif général ; Dispositif HPHC
Étape 1 : test 1/test 2	Oui, le dispositif est principalement destiné à être utilisé à des fins de traitement et de communication d'informations (y compris la transmission et l'affichage).	Non, car le dispositif n'est pas principalement destiné à être utilisé à des fins de traitement et de communication d'informations.	Non, car le dispositif n'est pas principalement destiné à être utilisé à des fins de communication
Étape 1 : test 3	N/A	Oui, parce que la connectivité est nécessaire pour remplir la fonctionnalité primaire qui est la vente de collations (paiement qui nécessite la connectivité une fonction faisant partie de l'ensemble minimum de fonctions pour remplir son objectif principal)	Non, car la voiture est connectée pour les services d'info-divertissement et la connectivité n'est pas essentielle pour remplir sa fonctionnalité primaire.
Contrôle intermédiaire	N/A	N/A	Peu probable car la pénétration des smartphones sur le marché est maintenant très élevée et ce bien peut se substituer aux services d'info-divertissement (cette conclusion pourrait être différente si ce test avait été effectué il y a 20 ans par exemple)
Étape 2 : test 1	N/A	N/A	N/A
Étape 2 : test 2	N/A	N/A	N/A
Étape 3 : test 1	N/A	N/A	N/A
Étape 3 : test 2	N/A	N/A	N/A

Résultat l'heuristique	de	Le dispositif connecté est un dispositif natif des TIC.	Le dispositif connecté est un dispositif basé TIC.	Le dispositif connecté n'est pas un dispositif basé TIC.
-------------------------------	-----------	---	--	--

Dispositif connecté	Vaporisateur à la nicotine connecté pour fumeurs (+ appli de suivi pour smartphone)	Caméra connectée avec stockage intégré (par exemple à l'intérieur d'un train)	Distributeur automatique acceptant uniquement des pièces, avec gestion des stocks à distance
Fonctionnalité primaire	<p>Pour aider à soulager la dépendance des fumeurs par inhalation de nicotine à l'aide d'un programme personnalisé :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Inhaler de la nicotine (fonction principale) - Pour enregistrer les doses prises - Pour suivre la progression via l'application 	<p>Pour filmer et enregistrer des images dans un composant de mémoire intégré :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Filmer la scène (fonction principale) - Pour enregistrer des images dans une mémoire intégrée 	<p>Pour vendre et distribuer une collation :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Distribuer de la nourriture (fonction principale) - Pour effectuer une transaction
Architecture de la solution	<p>Le vaporisateur se connecte au smartphone via NFC qui enregistre l'utilisation via l'application (le progrès vers la cessation tabagique et la fréquence d'utilisation sont alors disponibles via l'application). Cet exemple considère une dose unique de nicotine par utilisation et non un recalibrage en temps réel lié à la fréquence d'utilisation. L'utilisateur peut comparer les performances de son utilisation par rapport à la fréquence idéale d'utilisation, cette dernière étant mise en place en fonction du profil de l'utilisateur et de son objectif.</p>	<p>Des caméras connectées sont montées à plusieurs endroits à bord du train pour enregistrer l'environnement intérieur. Les caméras filment la scène tout au long du voyage et enregistrent les images dans sa composante de mémoire intégrée. Une fois le train arrivé à la gare, la flotte de caméras se connecte via les réseaux cellulaires 4G/5G ou Wifi disponibles à un serveur du centre de contrôle du système d'information ferroviaire pour transférer les images enregistrées, où elles seront traitées. Le serveur interagit avec le parc de caméras par le biais d'API pour récupérer les images en mode pull et éventuellement d'autres types d'interactions (état de mise à jour de la caméra...)</p>	<p>Le distributeur automatique est connecté à une plateforme de service via un réseau de communication filaire (FTTH ou xDSL) ou sans fil (par exemple, la radio cellulaire) où un serveur maintient l'état en temps réel des articles stockés dans le distributeur automatique et leur date d'expiration, ce qui aiderait le technicien à planifier efficacement son intervention pour remplir le stock lorsqu'il est épuisé ou remplacer les articles.</p>

Test préliminaire	Il ne s'agit pas d'un dispositif IoT car ce type d'interaction entre le terminal NFC (le smartphone) et le vaporisateur connecté via NFC ne pourrait pas être considéré comme une interaction au niveau de la couche application. En outre, les exigences du modèle de référence pour l'exposition des capacités des dispositifs (DCE) IoT ne sont pas remplies.	La caméra est un dispositif IoT : Le transfert de données entre la caméra connectée et le serveur s'effectue via un réseau de communication (cellulaire ou Wifi) ; l'application caméra et l'application serveur interagissent via un ensemble d'API dans le cadre de la couche application.	Oui, le distributeur automatique est connecté à un serveur d'applications via le réseau cellulaire ou fixe. Le dispositif inclut les différentes couches définies dans le modèle de référence IoT. Le dispositif connecté est un dispositif IoT.
Type de dispositif IoT	N/A	Dispositif général, dispositif HPHC (à capacité de traitement et de connectivité élevées)	Dispositif général, dispositif HPHC
Étape 1 : test 1/test 2	N/A	Non, car le dispositif n'est pas principalement destiné à être utilisé à des fins de communication	Non, car le dispositif n'est pas principalement destiné à être utilisé à des fins de communication
Étape 1 : test 3	N/A	Non, car si la caméra connectée se déconnecte, l'enregistrement peut toujours être effectué (capacités d'enregistrement intégrées)	Non, car la fonctionnalité primaire peut toujours être remplie même lorsque le distributeur automatique est définitivement hors ligne et que la gestion des stocks ne fait pas partie de l'ensemble minimum de fonctions pour remplir la fonctionnalité primaire.
Contrôle intermédiaire	N/A	Il est probable que la connectivité soit l'un des critères décisifs pour acheter le dispositif, en particulier pour un énorme parc de dispositifs photo.	Il est probable qu'une capacité de gestion des stocks (permise par la connectivité) représente un critère décisif pour un prestataire visant à optimiser l'approvisionnement et le remplissage du distributeur automatique.
Étape 2 : test 1	N/A	Il est peu probable que la partie connectivité puisse représenter une part significative du CF du dispositif	Il est peu probable que la partie connectivité puisse représenter une part substantielle de la FP du distributeur automatique (gros dispositif)
Étape 2 : test 2	N/A	La part incrémentale de la connectivité peut être substantielle par rapport au CF du service délivré par la caméra connectée, en raison du volume élevé de données générées par le dispositif et à traiter par l'infrastructure numérique de l'arrière-cour.	Il est peu probable que la partie connectivité puisse représenter une part supplémentaire substantielle de la FP du service fourni par les distributeurs automatiques (la mobilisation associée de l'infrastructure numérique à l'appui du service est faible (données à faible volume))
Étape 3 : test 1	N/A	N/A	Dépendant de la mise en œuvre
Étape 3 : test 2	N/A	N/A	Dépendant de la mise en œuvre
Résultat de l'heuristique	Le dispositif connecté ne fait pas partie de l'IoT.	Le dispositif connecté est un dispositif basé TIC.	Le dispositif connecté n'est pas un dispositif basé TIC.

Dispositif connecté	Un drone aérien sans pilote équipé d'une caméra pour les photos et la vidéo, utilisant pour son contrôle, ses alertes et ses communications de données une connexion sans fil directe point à point entre le drone et sa télécommande.	Un drone aérien sans pilote équipé d'une caméra pour les photos et la vidéo, utilisant pour son contrôle, ses alertes et ses communications de données un réseau mobile 5G
Fonctionnalité primaire	<p>Pour enregistrer des vidéos à partir d'un positionnement mobile tridimensionnel qui peut être choisi à distance par le biais d'une console de contrôle au sol :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Voler - Envoyer des commandes au drone - Enregistrer des séquences filmées et des photos prises - Envoyer des alertes à l'utilisateur 	<p>Pour enregistrer des vidéos à partir d'un positionnement mobile tridimensionnel qui peut être choisi distance par le biais d'une console de contrôle au sol :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Voler - Envoyer des commandes au drone - Enregistrer des séquences filmées et des photos prises - Envoyer des alertes à l'utilisateur
Architecture de la solution	Un drone aérien sans pilote équipé d'une caméra pour les photos et la vidéo, utilisant pour son contrôle, ses alertes et ses communications de données une connexion sans fil directe point à point entre le drone et sa télécommande.	Le drone aérien sans pilote équipé d'une caméra pour les photos et la vidéo, utilisant pour son contrôle, ses alertes et ses communications de données un réseau mobile 5G pour communiquer avec une plate-forme de serveur. L'utilisateur se connecte à la plateforme serveur pour contrôler et piloter le drone grâce à l'interaction au niveau de la couche applicative entre le drone et le serveur.
Test préliminaire	Non, il n'y a pas de réseau identifié basé sur la connectivité car le drone est contrôlé à distance avec une communication point à point. Le drone et sa télécommande font partie d'un système isolé. Ce drone ne fait pas partie de l'IIoT.	Le dispositif comprend les différentes couches définies dans le modèle de référence IIoT : Il y a clairement un réseau de communication (cellulaire 5G) et une infrastructure de réseau IIoT. Le drone est clairement identifié. Ce drone fait partie de l'IIoT.
Type de dispositif IIoT	N/A	Dispositif général, dispositif HPHC
Étape 1 : test 1/test 2	N/A	Non, car le dispositif n'est pas principalement destiné à être utilisé à des fins de communication
Étape 1 : test 3	N/A	Oui, car si le drone connecté se déconnecte, il n'est pas possible d'envoyer des ordres de commande
Contrôle intermédiaire	N/A	N/A
Étape 2 : test 1	N/A	N/A
Étape 2 : test 2	N/A	N/A
Étape 3 : test 1	N/A	N/A
Étape 3 : test 2	N/A	N/A

Résultat de l'heuristique	Le dispositif connecté ne fait pas partie de l'IoT.	Le dispositif connecté est un dispositif basé TIC.
----------------------------------	---	--

Dispositif connecté	Système d'alarme intelligent : un détecteur de fumée isolé	Système d'alarme intelligent : capteurs connectés à un smartphone	Système d'alarme intelligent : un système de sécurité domestique
Fonctionnalité primaire	<p>Pour détecter les changements dans l'environnement cible et émettre un signal d'alarme</p> <ul style="list-style-type: none"> - Surveiller les variations d'un ensemble de variables (température, fumée, mouvement, bris de verre, etc.) dans l'environnement cible (fonction principale) - Analyser et décider de la pertinence des variations surveillées - Pour émettre un signal d'alarme 	<p>Pour détecter les changements dans l'environnement cible et envoyer une alerte :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Surveiller les variations d'un ensemble de variables (température, fumée, mouvement, bris de verre, etc.) dans l'environnement cible (fonction principale) - Analyser et décider de la pertinence des variations surveillées - Pour envoyer des notifications d'alerte lorsque cela est pertinent 	<p>Pour détecter les changements dans l'environnement cible et envoyer une alerte :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Surveiller les variations d'un ensemble de variables (température, fumée, mouvement, bris de verre, etc.) dans l'environnement cible (fonction principale) - Analyser et décider de la pertinence des variations surveillées - Pour envoyer des notifications d'alerte lorsque cela est pertinent
Architecture de la solution	<p>La solution consiste en un capteur isolé (détecteur de fumée) émettant un signal d'alarme le cas échéant. Le dispositif n'est pas du tout connecté.</p>	<p>Différents capteurs (qualité de l'air, humidité, température) connectés via Bluetooth à un smartphone / tablette montée sur un mur. Le smartphone / tablette gère les capteurs connectés, ces derniers exposant leurs capacités respectives au smartphone / tablette. Le smartphone / tablette capable d'alerter l'utilisateur soit visuellement (affichage d'un message spécifique sur l'écran du dispositif), soit en émettant un signal d'alarme.</p>	<p>Le système de sécurité domestique comprend une passerelle connectée localement à des détecteurs de mouvement et d'intrusion, un détecteur de fumée, des sirènes, une vidéosurveillance utilisant des protocoles sans fil (par exemple. Bluetooth, Wifi...). La passerelle est connectée à un réseau d'accès fixe (FTTH) et/ou à un réseau cellulaire (4G). Un serveur d'applications est connecté à la passerelle via un réseau de couche de communication (IP) pour traiter les notifications et déclencher un appel d'urgence/envoyer une notification à l'entité externe concernée (le smartphone de l'utilisateur, le centre d'appels de la police ou le fournisseur de services de l'agence de sécurité).</p>

Test préliminaire	Le dispositif n'est pas un dispositif IoT.	Les capteurs sont connectés au smartphone / tablette montée sur un mur via un réseau local (ici Bluetooth). En tant que DCE (référence pour l'exposition des capacités des dispositifs) IoT, le smartphone/tablette expose les capacités des capteurs connectés aux applications IoT supérieures hébergées nativement dans le dispositif DCE. L'architecture de la solution est conforme à l'architecture de référence DCE IoT (qui est conforme au modèle de référence IoT). Dans cet exemple, l'application IoT du dispositif DCE s'abonne et accède aux capacités du dispositif IoT dans un mode d'autorisation local comme spécifié dans la Recommandation UIT L.4115 ; il n'est donc pas nécessaire de passer par un réseau de communication au-delà du réseau local de la zone IoT. Les capteurs connectés dans cette solution sont considérés comme des dispositifs IoT.	Toutes les différentes couches du modèle de référence IoT sont identifiées. La solution est une solution IoT et les capteurs sont des dispositifs IoT (la passerelle est une passerelle IoT).
Type de dispositif IoT	N/A	Dispositif de détection/actionnement ; Appareil LPLC (à faible puissance et faible coût)	Dispositif de détection/actionnement ; Appareil LPLC
Étape 1 : test 1/test 2	N/A	Les capteurs connectés ne sont pas principalement destinés à être utilisés ou à permettre le traitement de l'information et la communication.	Les capteurs connectés ne sont pas principalement destinés à être utilisés ou à permettre le traitement de l'information et la communication.
Étape 1 : test 3	N/A	La fonctionnalité primaire ne pourrait pas être remplie si les capteurs sont hors ligne.	La fonctionnalité primaire ne pourrait pas être remplie si les capteurs sont hors ligne.
Contrôle intermédiaire	N/A	N/A	N/A
Étape 2 : test 1	N/A	N/A	N/A
Étape 2 : test 2	N/A	N/A	N/A
Étape 3 : test 1	N/A	N/A	N/A
Étape 3 : test 2	N/A	N/A	N/A
Résultat de l'heuristique	Le dispositif connecté n'est pas un dispositif IoT.	Le dispositif connecté est un dispositif basé TIC.	Le dispositif connecté est un dispositif basé TIC.

Dispositif connecté	Localisateur/traqueur de clés	Serrure intelligente non connectée à Internet	Ferme-porte à distance
<p>Fonctionnalité primaire</p>	<p>Pour surveiller l'emplacement de l'animal / de l'individu (fonctionnalité primaire) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pour transmettre son signal Bluetooth à un dispositif reconnu à proximité - Le dispositif reconnu à proximité détermine la position relative du traceur (en fonction de la force du signal Bluetooth) - Le dispositif reconnu à proximité transmet ces informations et sa propre position à la plateforme de service qui détermine l'emplacement précis du traceur (fonction principale) - La plateforme de service renvoie ces informations au dispositif de l'utilisateur qui indique l'emplacement du traceur via une application spécifique. 	<p>Pour verrouiller/déverrouiller à distance (une porte, une fenêtre...) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pour lire et authentifier le code transmis, l'application installée sur le smartphone (via Bluetooth) et en option par une clé intelligente NFC (via NFC). - Verrouiller ou déverrouiller l'accès une fois le code authentifié (fonction principale). 	<p>Pour fermer/ouvrir la porte à distance (fonctionnalité primaire) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Activer le bras motorisé équipé d'un capteur via un signal de commande d'une télécommande appairée utilisant un signal radio basse fréquence. - Pour ouvrir ou fermer la porte à l'aide du bras motorisé activé et équipé d'un capteur fixé à la porte (fonction principale).
<p>Architecture de la solution</p>	<p>Le traceur émet un signal Bluetooth (UWB) qui se connecte à tout dispositif reconnu/enregistré à proximité dans une portée spécifique (par exemple, dans le cas d'Airtag, de tout iPhone ou autre dispositif Apple à proximité dans le réseau « Localiser mon », dans un rayon d'environ 10 mètres), l'emplacement du traceur est triangulé en fonction de la puissance du signal Bluetooth reçu par le dispositif à proximité ; ce dernier envoie la position du traceur, via Internet, à une plateforme de service cloud (dans le cas d'Airtag, il s'agit de iCloud). L'utilisateur se connecte à une application spécifique affichant la localisation du traceur.</p>	<p>La serrure intelligente n'est pas connectée à Internet, mais équipée d'une puce Bluetooth et d'une puce NFC (active). L'ouverture/fermeture se fait à proximité de la porte via une connexion Bluetooth sécurisée et entièrement cryptée avec un smartphone (à l'aide de l'application mobile), ou via des clés intelligentes NFC fournies (passives) – la serrure intelligente agissant comme un mode de fonctionnement en lecture/écriture. Pour la première utilisation du système, le code attaché à la clé intelligente NFC doit être ajouté au portefeuille de codes géré par l'application. Une fois l'appairage réussi entre l'application et la serrure intelligente, la clé intelligente NFC peut être reconnue par la serrure intelligente et est prête à l'emploi. L'application permet également de désactiver une clé intelligente donnée si celle-ci a été volée ou perdue.</p>	<p>Le dispositif connecté est composé d'un bras motorisé équipé de capteurs, qui peut être monté sur la porte, fixé à une unité de traitement contrôlant son fonctionnement. L'unité de traitement est équipée d'un récepteur 433 MHz intégré et d'une antenne pour pouvoir être appairée à une télécommande portable utilisant la communication RF P2P. La télécommande sans fil transmet un signal codé chiffré, décodé et interprété par l'unité de traitement permettant d'ouvrir et de fermer la porte.</p>

Test préliminaire	Oui, le traceur est un dispositif IoT, utilisant un réseau local IoT (Bluetooth entre le traceur et le dispositif à proximité) et un réseau de communication WAN (connexion Internet au Cloud) et une plateforme de service. Un service d'application est identifié à la fois sur la plateforme de service (iCloud) et sur le dispositif de l'utilisateur. Le dispositif de l'utilisateur agit comme un dispositif d'exposition des capacités des dispositifs. La solution est conforme au modèle de référence d'exposition des capacités des dispositifs IoT défini dans la norme UIT Y.4115.	<ul style="list-style-type: none"> - Il existe un réseau de communication entre la serrure intelligente et le smartphone à l'aide d'un réseau IoT local (Bluetooth). - Il existe une application de dispositif IoT (au niveau de la serrure intelligente) et une application IoT au niveau du smartphone qui interagissent dans le cadre de la couche applicative de la solution IoT. Il s'agit d'un dispositif IoT.	Bien qu'il existe un réseau local (communication radio P2P entre le récepteur intégré à 433 MHz et la télécommande), aucune interaction n'est identifiée au niveau de la couche application entre la télécommande et l'unité de traitement du ferme-porte à distance. Il ne s'agit pas d'un dispositif IoT (NOTE 1)
Type de dispositif IoT	Appareil général, dispositif LPLC	Dispositif de détection/actionnement, dispositif LPLC	Dispositif de détection/actionnement, dispositif LPHC
Étape 1 : test 1/test 2	Le dispositif n'est ni un dispositif TIC ni un dispositif M&D	Le dispositif n'est ni un dispositif TIC ni un dispositif M&D	N/A
Étape 1 : test 3	Oui, car sans connectivité, le traceur ne pourrait pas être détecté par un dispositif à proximité.	Oui, car si la serrure intelligente se déconnecte en permanence (pas de connexion Bluetooth), la serrure intelligente ne peut pas remplir sa fonctionnalité primaire.	N/A
Contrôle intermédiaire	N/A	N/A	N/A
Étape 2 : test 1	N/A	N/A	N/A
Étape 2 : test 2	N/A	N/A	N/A
Étape 3 : test 1	N/A	N/A	N/A
Étape 3 : test 2	N/A	N/A	N/A
Résultat de l'heuristique	Le dispositif connecté est un dispositif basé TIC.	Le dispositif connecté est un dispositif basé TIC.	Le dispositif connecté n'est pas un dispositif IoT.
NOTE 1 – Pour certains modèles avancés de Ferme-portes à distance, le système est équipé avec une connectivité cellulaire afin d'ouvrir/fermer/verrouiller la porte via une application installée sur le smartphone/tablette. Dans ce cas, le dispositif serait qualifié de dispositif IoT.			

Dispositif connecté	Serrure intelligente connectée à Internet	Portique d'embarquement / d'accès automatique (par exemple, dans une gare ferroviaire/station de métro, dans un système de stationnement)	Un capteur de fenêtre connecté à Zigbee capable d'émettre un bip acoustique
----------------------------	--	--	--

Fonctionnalité primaire	<p>Pour verrouiller/déverrouiller une porte à distance :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pour envoyer une commande de verrouillage/déverrouillage via l'application mobile d'un smartphone en utilisant le Wifi. - Verrouiller ou déverrouiller l'accès une fois la commande associée reçue (fonction principale). 	<p>Pour contrôler automatiquement l'accès :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pour interroger une carte à puce/étiquette à l'aide de la technologie NFC (mode de fonctionnement en lecture/écriture) et récupérer des données d'information (code d'identification) - Autoriser ou refuser l'accès (p. ex. ouvrir/fermer la porte) lors de la validation du code (fonction principale). 	<p>Pour détecter l'ouverture de la fenêtre à laquelle le capteur est attaché et émettre une notification d'alarme :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pour détecter l'ouverture de la fenêtre (fonction principale) - Avertir l'utilisateur en cas de détection en envoyant un message d'alarme à l'application de l'utilisateur via une plateforme serveur (via le réseau local Zigbee et le WAN) - Avertir l'utilisateur en cas de détection en émettant un court bip acoustique au cas où la connectivité ne pourrait pas être détectée.
Architecture de la solution	<p>La serrure intelligente est équipée d'une puce Wifi et se connecte via Internet à un serveur. Grâce à son application mobile téléchargée auprès du fournisseur serrure intelligente, l'utilisateur peut envoyer à distance une commande à un serveur qui la relaie à la serrure intelligente. À la réception, la serrure intelligente active un mécanisme motorisé pour verrouiller ou déverrouiller la porte. La serrure intelligente signale son état de verrouillage au serveur, qui maintient l'état en temps réel de la porte afin que l'utilisateur puisse vérifier si la porte est verrouillée ou non une fois qu'il a quitté la maison (pas de fonction principale).</p>	<p>Le portique d'embarquement / d'accès est équipé d'un lecteur NFC et utilise le NFC (via un mode de fonctionnement Lecture-Écriture) pour consentir/refuser l'accès à l'utilisateur lorsqu'il montre sa carte à puce/étiquette à proximité.</p>	<p>Un capteur de fenêtre Zigbee peut détecter l'ouverture et la fermeture d'une fenêtre ; il se connecte via Zigbee à une plateforme Zigbee pour soumettre son état, ce dernier est transféré via un WAN vers une plateforme serveur qui envoie une notification d'alarme à l'utilisateur via l'application mobile.</p> <p>Dans le cas où le capteur de fenêtre soit déconnecté (volontairement, en raison d'un dysfonctionnement de l'interface réseau ou d'une panne de réseau), le capteur est capable, lors de la détection de l'ouverture de la fenêtre, d'émettre un court bip acoustique pour avertir l'utilisateur.</p>
Test préliminaire	<p>La serrure intelligente se connecte à un réseau de communication (Wifi + WAN) à un serveur. Il y a une interaction au niveau de la couche applicative entre la serrure intelligente et le serveur (pour commander le verrouillage/déverrouillage, pour signaler l'état en temps réel de la serrure intelligente).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - La carte à puce/étiquette est connectée passivement au lecteur NFC équipant la gare d'embarquement. Il n'y a pas d'interaction au niveau de la couche d'application entre le lecteur NFC à la gare d'embarquement et la carte à puce/étiquette. <p>Il ne s'agit pas d'un dispositif IoT.</p>	<p>La solution comprend un capteur connecté via un réseau IoT local (Zigbee) à une plateforme Zigbee agissant comme une passerelle vers un réseau WAN afin d'atteindre un serveur. Il y a une interaction au niveau de la couche applicative entre le capteur et le serveur.</p> <p>Le capteur de la fenêtre est un dispositif IoT.</p>

Type de dispositif IoT	Dispositif de détection/actionnement, dispositif LPHC (faible niveau de traitement ; niveau de connectivité élevée)	N/A	Dispositif de détection/actionnement, dispositif LPLC
Étape 1 : test 1/test 2	Le dispositif n'est ni un dispositif TIC ni un dispositif M&D	N/A	Le dispositif n'est ni un dispositif TIC ni un dispositif M&D.
Étape 1 : test 3	Oui, car sans connectivité (Wifi et WAN), la serrure intelligente ne pourrait pas être contrôlée à volonté.	N/A	Le capteur de fenêtre peut être déconnecté du réseau ZigBee® par le biais de la plateforme à laquelle il est connecté. Ensuite, les signaux du capteur de fenêtre ne peuvent plus affecter le réseau. Dans ce cas, le capteur de fenêtre reste sa fonctionnalité primaire pour avertir un utilisateur de l'ouverture ou de la fermeture d'une fenêtre par un court bip acoustique émis en cas d'un tel événement. Le capteur de fenêtre dans cet exemple est un dispositif IoT isolable, car la connectivité n'est pas nécessaire pour remplir la fonctionnalité primaire du dispositif (grâce à la capacité de notification acoustique comme moyen de secours du dispositif).
Contrôle intermédiaire	N/A	N/A	Comme le dispositif à l'étude est un simple capteur, le fait d'être connecté est susceptible d'être une caractéristique différenciante sur le marché (par rapport aux capteurs non connectés fournissant une fonctionnalité primaire équivalente). Ainsi, la connectivité est susceptible d'être un critère décisif pour l'achat ou la vente du dispositif.
Étape 2 : test 1	N/A	N/A	Les capteurs sont généralement de minuscules dispositifs, où la partie connectivité est susceptible d'être non négligeable par rapport à l'empreinte carbone totale du dispositif, même si le dispositif communique via une passerelle/plateforme.
Étape 2 : test 2	N/A	N/A	N/A
Étape 3 : test 1	N/A	N/A	N/A

Étape 3 : test 2	N/A	N/A	N/A
Résultat de l'heuristique	Le dispositif connecté est un dispositif basé TIC.	Le dispositif connecté n'est pas un dispositif IoT.	Le dispositif connecté est un dispositif basé TIC.

III.2 Exemples de cas d'usage concrets

La mise en œuvre de l'approche développée à l'Appendice II est illustrée par 3 exemples :

- Le cas des dispositifs IoT portables pour les soins de santé
- Le cas d'une montre intelligente pour le marché de l'IoT grand public
- Le cas du compteur intelligent « Linky ».

III.2.1 Cas 1: Dispositifs portatifs IoT pour les soins de santé

a) Description⁷¹

L'IoT est mis en œuvre de nombreuses façons dans le domaine de la santé, notamment en détectant les maladies par mesure de prévention, en traitant une maladie comme une solution de guérison et en surveillant une maladie pendant le processus de guérison. Dans le cadre de l'IoT, des dispositifs de santé portables ont été développés pour aider les gens à obtenir le traitement adapté à leurs besoins.

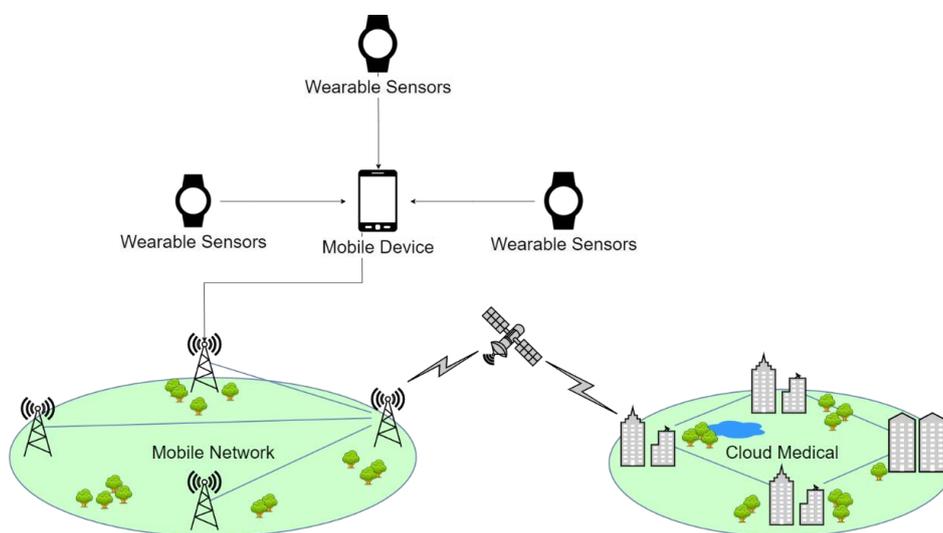


Figure 34 - Architecture générale de l'IoT pour les soins de santé

Figure 34 représente l'architecture générale de l'IoT pour les soins de santé.

L'architecture se compose de capteurs portables, d'un dispositif mobile, d'un réseau mobile et de la plateforme de santé basée sur le cloud. Les données obtenues à partir des capteurs sont transmises à un dispositif mobile via Bluetooth ou Wi-Fi. L'appareil mobile agit comme un dispositif de périphérie qui prétraite les données du capteur avant de les transmettre à la plateforme de santé basée sur le cloud via un réseau mobile. L'analyse et le stockage des données sont effectués sur cette plateforme.

⁷¹ See "A Review of Wearable Internet-of-Things Device for Healthcare a,b,c,d Computer Science Department, issued for 5th International Conference on Computer Science and Computational Intelligence 2020

Les informations issues de l'analyse des données seront visualisées dans l'application mobile pour donner aux utilisateurs un aperçu de leur santé.

Il existe de nombreux types de capteurs qui servent, par exemple, à mesurer la pression artérielle à l'aide d'une montre ou de lunettes intelligentes, à détecter des tremblements de Parkinson et de les réduire grâce à un système d'actionnement. Les dispositifs portables sont également mis en œuvre dans d'autres aspects des soins de santé comme la scoliose, le cancer du sein, la surveillance de multiple patients, la surveillance de la nutrition, les accidents vasculaires cérébraux, la qualité du sommeil.

Le cas présent se concentre sur les capteurs portables/portatifs.

b) Analyse

Il s'agit clairement d'un cas IoT, avec une application fonctionnant dans le cloud médical, et dans les différents dispositifs (capteurs portables). Il existe une passerelle (dispositif mobile), qui recueille et prétraite les données des capteurs portables. Un réseau mobile est le réseau de communication de couche 3 entre la passerelle (dispositif mobile) et le serveur d'applications.

Le cas entier appartient au domaine de la « santé humaine »,⁷² mais la connectivité est nécessaire pour remplir la fonctionnalité primaire de ce capteur portable : sur la base de l'heuristique, il est qualifié de dispositif « basé TIC ».

c) Allocation de l'impact carbone

La passerelle est un dispositif mobile, faisant partie des TIC telles que définies par la norme UIT-T L.1450, et est déjà comptabilisé dans les TIC.

Une question intéressante, qui n'est pas abordée dans ce rapport, est de savoir si le secteur de la santé devrait effectuer un double compte de l'impact carbone de ce dispositif mobile.

Il convient de noter que les différents capteurs portables n'appartiennent pas aux TIC⁷³.

Personne ne contestera le grand avantage de l'IoT pour le cas décrit, mais l'utilisation accrue de ces solutions sera déclenchée par le secteur de la santé, et non par les parties prenantes des TIC. En ce qui concerne la comptabilisation carbone des capteurs portables de soins de santé dans ce cas d'utilisation du point de vue des TIC, seule la partie connectivité du capteur portable est prise en compte (le capteur portable fait partie du champ d'application Niveau 1+).

III.2.2 Cas 2: Montre connectée pour le marché grand public

a) Description

Les montres intelligentes à usage général sont des dispositifs portables équipés de divers capteurs, tels que des moniteurs de fréquence cardiaque, des accéléromètres et des gyroscopes. Les montres intelligentes offrent d'autres fonctionnalités telles que le suivi de la condition physique, les alertes de notification, les applications, le GPS et la gestion des médias. La plupart de ces dispositifs doivent être

⁷² Section Q de la CITI Rév. 4 « Santé humaine et travail social »

⁷³ Classe 2651 de la CITI Rév 4 « Fabrication de dispositifs de mesure, d'essai, de navigation et de contrôle » [fabrication d'instruments d'analyse de laboratoire (par exemple, dispositifs d'analyse du sang)]. Les industries manufacturières des TIC comprennent les classes CITI suivantes : 2610, 2620, 2630, 2640 et 2680.

appariés à des smartphones et en dépendent, tandis que d'autres peuvent être des dispositifs autonomes et se connecter directement au réseau (notamment cellulaire). Les montres intelligentes permettent aux utilisateurs de rester connectés et de surveiller leur bien-être en temps réel, mais aussi d'établir des appels de communication et de recevoir des messages. Selon les rapports de marché et les données de Statista⁷⁴, les principaux fournisseurs de ce marché sont des acteurs des TIC, notamment Apple, Samsung, Sony, Google et d'autres.



Figure 35- Illustration d'une montre intelligente connectée à son dispositif apparié (smartphone)

b) Analyse

Le cas d'utilisation de la montre intelligente est clairement un cas d'utilisation IoT, soit par interaction directe avec le réseau cellulaire (pour les modèles de montre intelligente autonomes), soit par interaction indirecte avec le WAN via un smartphone par exemple (pour les modèles les plus simples/contraints, la montre intelligente expose ses capacités au smartphone conformément au cadre d'exposition des capacités des dispositifs IoT ; ainsi, les montres intelligentes sont des dispositifs IoT.

Connectée directement ou indirectement au réseau WAN, la montre intelligente a besoin de connectivité pour exécuter ses fonctionnalités primaires. Selon l'heuristique, il est qualifié de dispositif « basé TIC ».

c) Allocation de l'impact carbone

Pour la comptabilisation carbone de la montre intelligente du point de vue des TIC, l'ensemble de l'empreinte carbone de la montre intelligente doit être pris en compte car le dispositif IoT est sous le contrôle des TIC étant donné les principaux fournisseurs du marché, et le fait que les acteurs des TIC sont des moteurs de l'adoption des montre intelligentes grand public à usage général (la montre intelligente fait partie du champ d'application Niveau 1+).

III.2.3 Cas 3: Compteur intelligent Linky

a) Description

Plus qu'un compteur, Linky est un système complet (cf. Figure 36). Le cas présent se concentre sur le compteur intelligent Linky.

⁷⁴ <https://www.statista.com/statistics/910862/worldwide-smartwatch-shipment-market-share/>

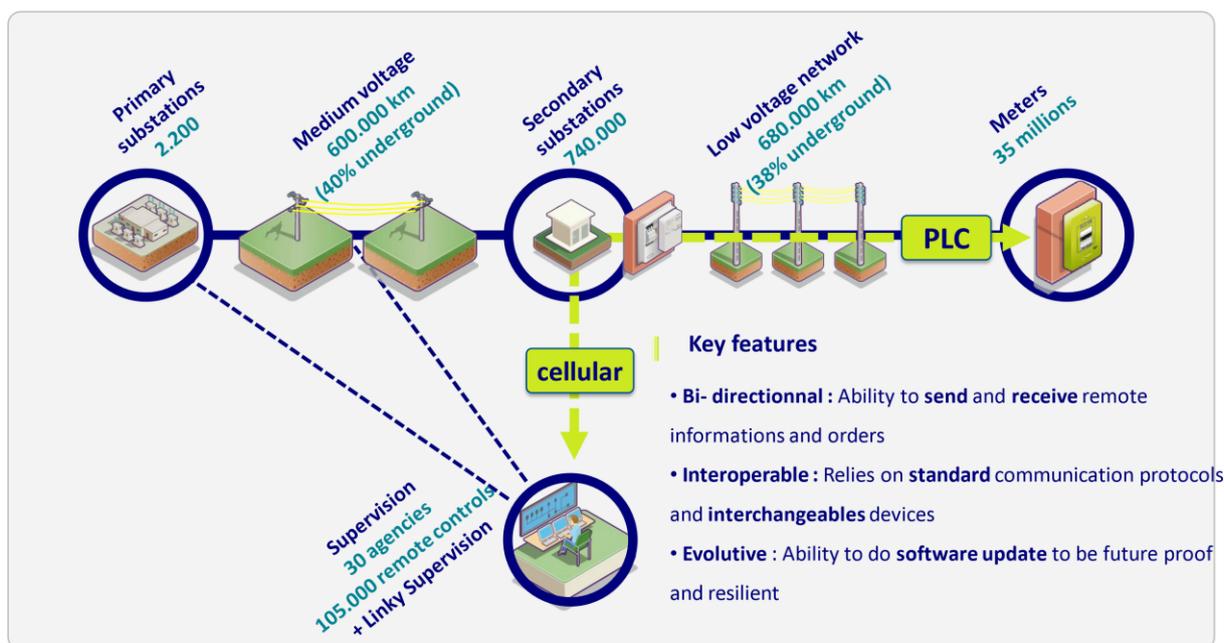


Figure 36 – Illustration du système de compteur intelligent Linky (vue de bout en bout)

Les passerelles Linky sont situées dans les postes secondaires, à la périphérie des réseaux basse tension. Le courant porteur en ligne (CPL) est utilisé sur le réseau basse tension pour connecter les passerelles aux compteurs intelligents Linky. Linky utilise la technologie G3-PLC, qui fonctionne indépendamment des opérateurs de télécommunications et facilite la communication sur les lignes électriques existantes, ce qui le rend idéal pour les applications de réseaux intelligents. En tirant parti de l'infrastructure CPL existante, G3-PLC élimine le besoin de voies de communication supplémentaires, réduisant ainsi les coûts d'installation et de maintenance.

G3-PLC est une norme internationale ouverte publiée par l'Union internationale des télécommunications UIT (<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.9903>).

Les communications entre les passerelles et le système d'information Linky utilisent des réseaux cellulaires.

b) Analyse

Il s'agit clairement d'un cas IoT, avec une application fonctionnant dans le système d'information Linky, et dans les différents dispositifs (compteurs intelligents Linky). Il existe des passerelles à la périphérie des réseaux basse tension, qui collectent et prétraitent les données des compteurs intelligents Linky. Un réseau mobile est le réseau de communication de couche 3 entre les passerelles et le système d'information Linky.

L'ensemble du boîtier appartient au domaine de « L'électricité »⁷⁵, mais la connectivité est nécessaire pour remplir la fonctionnalité primaire du compteur intelligent Linky : sur la base de l'heuristique, le compteur intelligent est qualifié de dispositif « basé TIC ».

⁷⁵ Section D de ISIC Rév 4 « Production et distribution d'électricité, de gaz, de vapeur et climatisation ». Classe n° 3510 Pro ISIC Rév 4 Production, transport et distribution d'électricité

c) Allocation de l'impact carbone

Il est à noter que les différents compteurs intelligents Linky n'appartiennent pas aux TIC⁷⁶ et que l'utilisation accrue de ces compteurs intelligents est déclenchée par le gestionnaire du réseau électrique (Enedis), et non par les acteurs des TIC.

Pour la comptabilisation carbone du compteur intelligent Linky du point de vue des TIC, seule la connectivité des compteurs intelligents Linky (puces G3-PLC) doit être prise en compte (le compteur intelligent Linky fait partie du périmètre Niveau 1+).

III.3 Exemples de système de produits connectés

Le présent appendice s'inspire des documents élaborés dans la Recommandation UIT-T Y.4119 spécifiant les exigences et le cadre de capacités pour les systèmes d'intervention d'urgence automobile basés sur l'IoT pour les dispositifs de marchés secondaires et des exemples de sa mise en œuvre.

Un système d'intervention d'urgence automobile (AERS) basé sur l'IoT, comme illustré dans la Figure 37, signale les accidents d'automobile à un centre d'intervention d'urgence automobile (AERC) au moyen d'un dispositif de détection d'urgence automobile utilisant les capteurs du véhicule de l'automobile et/ou les capteurs internes installés sur les dispositifs du marché secondaire tels que le système de navigation, la caméra de tableau de bord, le smartphone, etc.

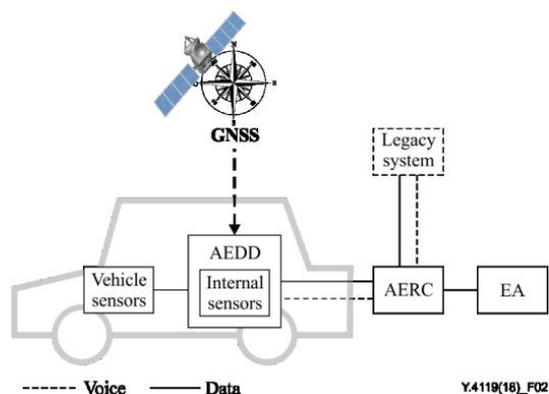


Figure 37 - Vue d'ensemble du système d'intervention d'urgence pour automobile (extrait de [ITU Y.4119]).

'EA' = Autorité d'intervention d'urgences

⁷⁶ Classe 2651 de ISIC Rév 4 "Fabrication de matériel pour la mesure, la vérification, la navigation et le contrôle" [fabrication de compteurs de consommation (e.g. eau, gaz)]. Les industries manufacturières TIC comprennent les classes ISIC suivantes : 2610, 2620, 2630, 2640 and 2680. Les fabricants des compteurs intelligents Linky sont Sagemcom, Itron, Landis+Gyr, Ziv, Cahors et Elster.

Exigences et cadre de capacités applicables au système d'intervention d'urgence pour automobile basé sur l'IoT

Le système d'intervention d'urgence automobile pour les dispositifs (AEDD) préinstallés par les fabricants d'équipements d'origine, tels que le système paneuropéen eCall, peut être considéré comme un système de fournisseur de services tiers.

Selon la [UIT Y.4119], le dispositif de système d'intervention d'urgence pour automobile est une unité (ou un ensemble d'unités) censée remplir au moins les fonctions suivantes :

- recevoir des données de détection, provenant de capteurs internes et/ou de capteurs du véhicule, pour déterminer si l'accident s'est produit et s'il nécessite ou non une récupération d'urgence ou recevoir des signaux de déclenchement manuels,
- déterminer si l'accident s'est produit ou non et s'il nécessite une récupération d'urgence,
- recevoir des informations sur l'emplacement du véhicule ou le déterminer,
- l'envoi d'un ensemble minimal de données (EMD) liées à l'accident et
- fournir une communication vocale bidirectionnelle.

Ainsi, la fonctionnalité primaire du dispositif de système d'intervention d'urgence pour automobile (AEDD) est d'effectuer un appel d'urgence à un centre d'intervention d'urgence lors de la détection d'une collision ; il est rempli par l'ensemble minimum de fonctions requises mentionnées ci-dessus. Le dispositif peut être tout type de dispositif équipé de capteurs de détection de chocs et d'un récepteur GNSS (système mondial de navigation par satellite), qui peut être installé après l'achat du véhicule, par exemple, avec l'aide d'un système de navigation ou d'une caméra embarquée.

L'architecture fonctionnelle générale d'un dispositif « AEDD » typique est représentée dans la Figure 38, où plusieurs entités fonctionnelles (EF) et composantes sont identifiées et leur rôle est mis en correspondance avec les exigences du dispositif par rapport au système d'intervention d'urgence pour automobile comme suit (conformément à la norme UIT Y.4119) :

- Localisation EF : en charge de l'acquisition d'informations de localisation géographique du véhicule par satellite (par exemple via GNSS) ou réseaux cellulaires ;
- Appel vocal EF : pour effectuer des capacités d'appel vocal, y compris l'identification du numéro de téléphone ;
- L'entité fonctionnelle (EF) générant un ensemble minimal de données : pour générer et transmettre des ensembles minimaux de données si le dispositif « AEDD » détecte des accidents automobiles ou si le bouton SOS est enfoncé ;
- EF de surveillance de l'état du véhicule : chargé d'obtenir des informations à partir des capteurs du véhicule pour aider le système d'intervention d'urgence pour automobile (le scanner du système de diagnostic embarqué-II (OBD-II) est un exemple de la mise en œuvre de cette EF) ;
- Capteurs internes : capteur installé ou physiquement connecté à le dispositif « AEDD » pour fournir des informations pour la détection des accidents automobiles ;
- Capteurs de véhicule : capteurs tels que capteur de collision, accéléromètre, capteur de déploiement d'airbag, etc., qui sont installés dans le véhicule pour être utilisés dans la détection des accidents automobiles afin de fournir les informations nécessaires à la détection des accidents de véhicules. Ces capteurs signalent leur état pour l'EF de surveillance de l'état du véhicule et l'EF générant l'EMD via des technologies de connectivité locales (par exemple, Ethernet embarqué, réseau CAN, etc.).

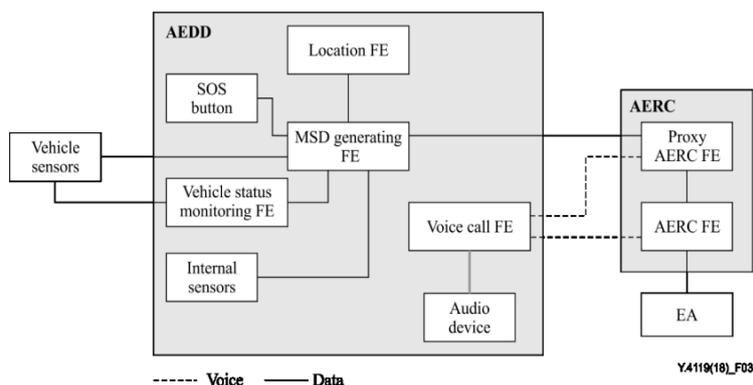


Figure 38 - Architecture fonctionnelle du dispositif de système d'intervention d'urgence pour automobile (extraite de la [UIT-T Y.4119])

Selon la norme UIT Y.4119, en ce qui concerne la capacité de communication de données et de voix avec le centre d'intervention, le dispositif « AEDD » peut se diviser en trois catégories : un dispositif « AEDD » sans capacité de communication de données et de voix, un dispositif « AEDD » avec capacité de communication de données uniquement et un dispositif « AEDD » avec capacité de communication de données et de voix.

Étant donné qu'il peut y avoir différentes formes de mise en œuvre des dispositifs « AEDD » du marché secondaire, le dispositif « AEDD » peut être considéré comme un système de dispositifs connectés, où, selon sa catégorie, la définition des paramètres serait une condition préalable importante à l'analyse.

(1) Dispositif de système d'intervention d'urgence pour automobile avec capacités de communication vocale et de données :

Un dispositif « AEDD » du marché secondaire doté de capacités de communication vocale et de données interagit avec son environnement extérieur par le biais d'interfaces de connectivité externes.

Cette catégorie de dispositifs « AEDD », telle que décrite dans la Figure 39, représente la forme de mise en œuvre la plus intégrée et la plus complète. Les interfaces de connectivité externes comprennent : l'interface A utilisée par la composante capteur de position de l'EF où la connectivité est soit cellulaire, soit satellite (par exemple, GNSS) ; interface B comportant la connectivité cellulaire utilisée par l'EF génératrice de l'EMD et l'EF d'appel vocal, respectivement, pour la communication de données et la communication vocale avec le centre d'intervention ; interface C utilisée par l'EF génératrice de l'EMD et l'EF de surveillance de l'état du véhicule pour collecter des données à partir des capteurs du véhicule via le réseau CAN par exemple. Les capteurs internes ne peuvent pas être physiquement intégrés dans le dispositif « AEDD », mais connectés à distance à celui-ci par une technologie de connectivité « interne » (considérant le dispositif « AEDD » comme un système de dispositifs connectés), auquel cas l'interface D doit être considérée comme interne au dispositif « AEDD ».

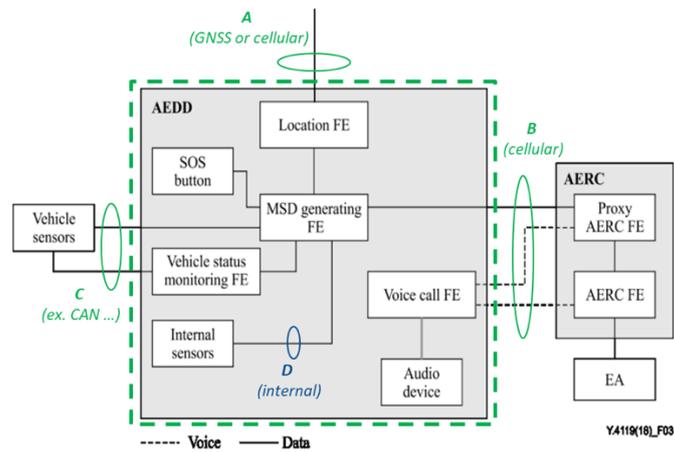


Figure 39 – Système de dispositifs connectés pour dispositif « AEDD » avec capacités de communication vocale et de données (extrait de la [UIT-T Y.4119] et modifié aux fins du présent rapport).

Le dispositif « AEDD » est considéré comme un dispositif basé TIC car sa fonctionnalité primaire ne serait pas remplie dès que l'une des interfaces externes susmentionnées (A, B et C) soit définitivement hors ligne. L'interface interne D est hors du champ d'application du test de négation.

(2) Dispositif « AEDD » avec capacités de communication de données :

Dans cette variante de mise en œuvre, le dispositif « AEDD » pourrait être un système de navigation/caméra de tableau de bord. Il utilise son modem de communication de données et le téléphone de l'utilisateur pour la communication vocale. Selon la norme UIT Y.4119, l'EF génératrice de l'EMD devrait être en mesure d'obtenir le numéro de rappel du téléphone de l'utilisateur dans le véhicule. Le dispositif « AEDD » peut être considéré comme un système de dispositifs connectés où l'interface entre le téléphone et le système de navigation (interface D) est interne.

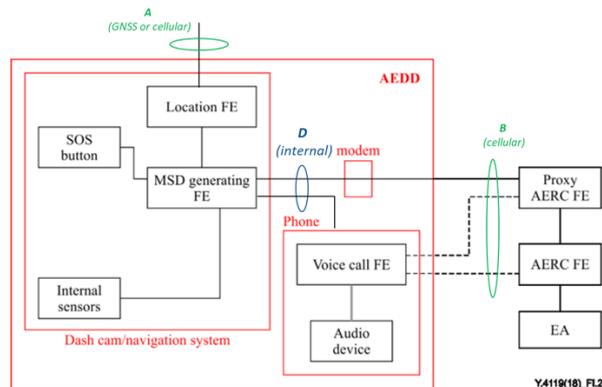


Figure 40 – Variante de mise en œuvre d'un dispositif « AEDD » avec des capacités de communication de données (extraite de la [UIT-T Y.4119] et modifiée aux fins du présent rapport)

(3) Dispositif « AEDD » sans capacités de communication de données et vocales :

Cette forme de mise en œuvre du dispositif « AEDD » comprend un système de navigation ou une caméra de tableau de bord, utilisant les capacités de communication de données et de communication vocale du téléphone de l'utilisateur dans le cas de la transmission de EMD. L'EF générateur de l'EMD doit être en mesure d'obtenir les numéros de rappel du téléphone de l'utilisateur dans le véhicule. Du

point de vue du système des dispositifs connectés, la connectivité entre le téléphone et le système de navigation serait considérée comme interne.

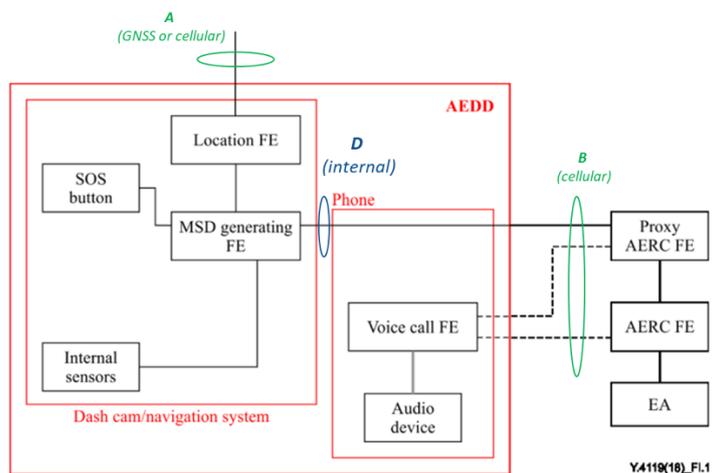


Figure 41 – Variante de mise en œuvre d'un dispositif « AEDD » sans capacités de communication vocale et de données (extraite de la [UIT-T Y.4119] et modifiée aux fins du présent rapport)

Appendice IV

Exemples de paramètres contextuels pour les dispositifs IoT

(Cet appendice est relatif à Section 5)

IV.1 Détermination du nombre de dispositifs IoT connectables en fonction des paramètres contextuels

Le nombre de dispositifs IoT connectables peut être déduit en calculant la pénétration du marché de l'application/service IoT à l'aide de paramètres contextuels pertinents (par exemple, proportion d'utilisateurs, proportion de ménages, proportions de voitures, etc.), et en l'ajustant avec un facteur contextuel approprié (α) comme le montre la formule ci-dessus :

$$n^{\circ} \text{ de dispositifs IoT connectables}_y = \text{part des paramètres contextuels} \times \alpha_y$$

Le Tableau 18 fournit des exemples de paramètres contextuels pour certains dispositifs IoT, les plages/valeurs des facteurs contextuels (ρ et α) fournis ne sont qu'à titre indicatif.

Tableau 18 – Exemples de paramètres contextuels pour une sélection de dispositifs IoT

Marché vertical IoT – domaine d'application	Dispositif IoT	Paramètres contextuels	Facteurs contextuels
IoT grand public – Maison intelligente	Dispositifs intelligents	Nombre de ménages	$\rho < 0,5$: La majorité des dispositifs intelligents peuvent ne pas être connectés efficacement au réseau. $\alpha > 1$: Plus d'un dispositif intelligent peut être attribué à un ménage.
IoT grand public – Dispositifs portables	Services multimédias liés aux dispositifs portables (montres intelligentes, lunettes intelligentes...)	Nombre d'utilisateurs	$\rho \approx 1$ $\alpha > 1$: Plusieurs dispositifs intelligents peuvent être attribués à un utilisateur.
IoT grand public – Dispositifs portables	Services sportifs liés aux dispositifs portables (bracelets intelligents, bagues intelligentes, capteurs...)	Nombre d'utilisateurs	$\rho \approx 1$ $\alpha > 1$: Plusieurs dispositifs intelligents peuvent être attribués à un utilisateur.
IoT grand public – Dispositifs portables	Services de gestion de la santé liés aux dispositifs portables (capteurs médicaux/physiologiques, stimulateurs cardiaques...)	Nombre de patients	$\rho \approx 1$ $\alpha > 1$: Plus d'un dispositif intelligent peut être attribué à un patient.
IoT grand public – Maison intelligente	Compteurs intelligents pour la domotique	Nombre de ménages	$\rho \approx 1$ $\alpha \approx 1$

IoT grand public – Ville intelligente	Compteurs intelligents pour les bâtiments professionnels	Nombre de bâtiments professionnels	$\rho \approx 1$ $\alpha > 1$: Un bâtiment professionnel peut être équipé de plus d'un compteur (car de nombreuses entreprises peuvent partager la même installation)
IoT industriel – Fabrication intelligente	Capteurs/actionneurs dans les robots intelligents ou l'automatisation de processus	Nombre d'usines	$\rho \approx 1$ $\alpha > 1$: Un robot intelligent/un plancher d'automatisation peut être équipé de plusieurs capteurs/actionneurs.
IoT grand public – Ville intelligente	Caméra IP de surveillance	Nombre de logements	$\rho \approx 1$ $\alpha > 1$: Plusieurs caméras IP peuvent être installées dans une installation donnée (en fonction de l'empreinte géographique de l'installation)
Mobilité IoT-Automobile	Modules de voiture pour appels d'urgence eCall	Nombre de voitures	$\rho \approx 1$ $\alpha \approx 1$

IV.2 Détermination du nombre de dispositifs IoT connectables en fonction du volume d'expéditions

Le nombre de dispositifs connectables pourrait être calculé à l'aide de statistiques sur les ventes ou les expéditions de dispositifs avec une méthodologie similaire au modèle « Bottom-Up Energy Analysis System » (BUENAS) développé par le Lawrence Berkeley National Laboratory⁷⁷. BUENAS estime le potentiel global d'efficacité énergétique des équipements résidentiels, commerciaux et industriels (incluant donc les dispositifs IoT), il est utilisé par le Total Energy Model (*modèle énergétique intégré*/TEM) développé par l'AIE [EDNA-TEM – 2019] pour estimer par modélisation ascendante (« bottom-up ») le stock de dispositifs et leurs projections.

Le nombre de dispositifs connectables pour une année donnée 'y' peut être calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\begin{aligned} & \text{nombre de dispositifs IoT connectables}_y \\ &= \sum_{age=0}^{30} \text{Expéditions}(y - \text{âge}) \times \text{Surv}(\text{âge}) \end{aligned}$$

Où « *Expéditions (y)* » fait référence au nombre de ventes de dispositifs IoT à l'année « y » tel que rapporté par les statistiques/études de marché ; « *Surv(âge)* » fait référence à la probabilité de survivre jusqu'à « âge » ans.

La probabilité de survie jusqu'à « y » ans pourrait être calculée à l'aide de fonctions de survie paramétriques typiques (appelées également fiabilité) telles que les fonctions de survie de Weibull. En considérant les estimations de la durée de vie moyenne (par type de dispositif IoT) comme les années de vie pendant lesquelles 50 % des dispositifs IoT connectés restent en service, le praticien est en mesure de calculer le nombre de dispositifs IoT opérationnels au cours d'une année donnée.

La Figure 42 fournit un exemple tiré du modèle TEM [EDNA-TEM – 2019] d'un dispositif IoT ayant une durée de vie moyenne de 4 ans (c'est-à-dire où 50 % du parc de dispositifs connectés est encore en service).

⁷⁷ [Système d'analyse énergétique ascendant \(BUENAS\) | Analyse énergétique internationale \(Ibl.gov\)](#)

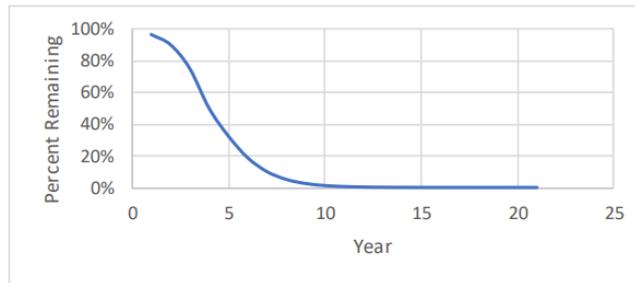


Figure 42– Exemple d'une fonction de survie d'un dispositif IoT avec une espérance de vie moyenne typique de 4 ans (d'après [EDNA-TEM – 2019])

IV.3 Exemples de modèle de trafic pour les dispositifs IoT

Plusieurs approches existent pour concevoir des modèles de trafic pour les dispositifs IoT. Le volume de trafic généré par les dispositifs IoT peut être estimé à l'aide du débit de génération de données par dispositif « D » et du facteur d'activité annuel « A » du dispositif (le profil typique du fonctionnement du dispositif représentant la proportion de temps pendant laquelle le dispositif est actif par rapport à l'inactif/en veille) :

$$\text{Volume de trafic} = D \times A$$

Outre le débit de génération de données (D) d'un dispositif IoT, on peut faire la distinction entre la fréquence de traitement requise (T) pour effectuer les opérations de base et les tâches de traitement du dispositif ainsi que la fréquence minimale requise (C) pour qu'un microcontrôleur crypte et transmette les données non traitées au réseau. Alors que le premier (T) met en évidence la charge sur la partie traitement du dispositif IoT, le second (C) met en évidence la charge sur la partie connectivité du dispositif IoT.

[Samie – 2016] fournit des plages de valeurs plausibles de T , P et C pour différents dispositifs IoT non cellulaires typiques, par exemple :

- Les capteurs de surveillance de la santé pour la fréquence cardiaque (par exemple, les stimulateurs cardiaques) généreraient des données à une vitesse (D) de 0,1 à 0,8 Kbps, le traitement serait effectué à une vitesse (P) de 0,5 à 1,1 MHz et la communication avec le réseau LPWAN (par exemple, Bluetooth) se ferait à une vitesse (C) de 5 à 50 KHz.
- Une caméra de surveillance IP de sécurité (vidéo SD) générerait des données à un débit (D) de 0,8 à 5 Mbps, le traitement serait effectué à un débit (P) de 0,5 à 1 GHz et la communication avec le réseau LPWAN (par exemple Bluetooth) se ferait à un débit (C) de 50 à 100 MHz.

Appendice V

Liste des produits TIC et D&M selon les systèmes de classification internationale

(Cet appendice est relatif à Annex A)

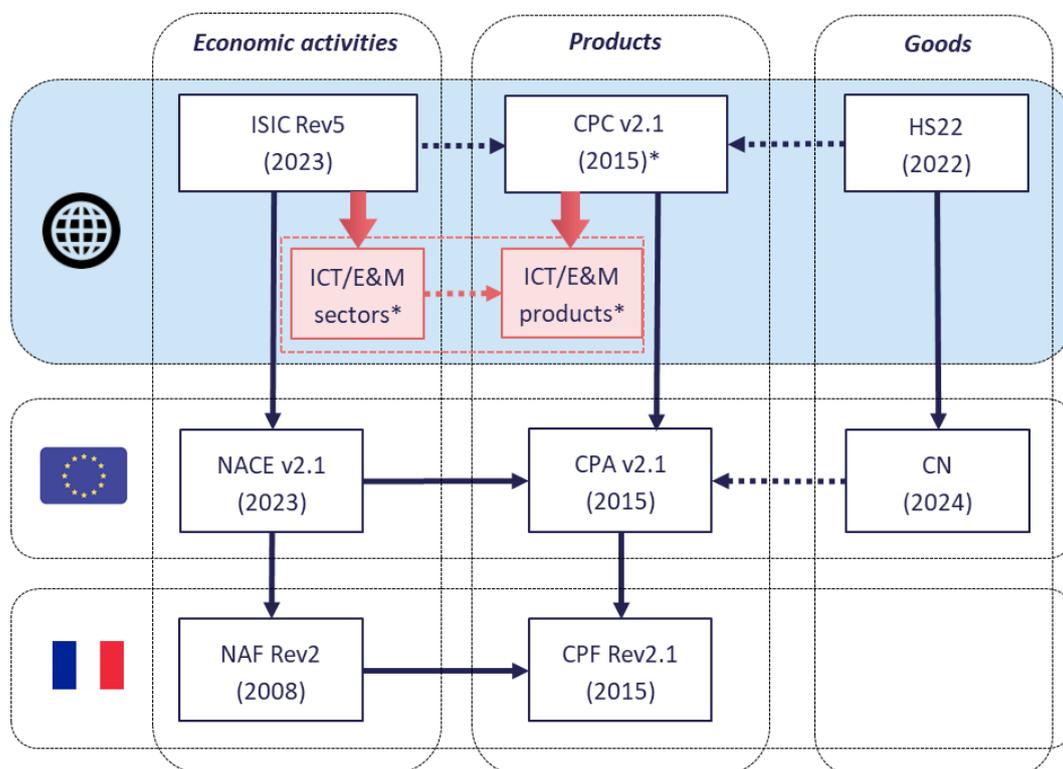
Les classifications internationales fournissent un cadre commun reconnu permettant l'établissement et la présentation de statistiques. Comme toute activité ou dispositif économique, les activités et dispositifs des TIC et des M&D sont classés statistiquement selon deux types de classifications :

- La classification des activités économiques est conçue pour catégoriser les données qui ne peuvent être liées qu'à l'unité d'activité (par exemple, un établissement individuel ou un groupe d'établissements). On peut citer à titre d'exemple : la CITI pour la classification internationale type, par industrie, de toutes les branches d'activité économique des Nations Unies, la NACE pour la nomenclature statistique des activités économiques dans la communauté européenne, etc.
- Les classifications de dispositifs sont conçues pour catégoriser les dispositifs (biens et services) qui ont des caractéristiques communes et servir de base à l'établissement de statistiques sur la production, le commerce, la consommation et le transport de ces dispositifs. Des exemples de ces classifications comprennent : la Classification centrale des dispositifs (CPC) des Nations Unies, la Classification européenne des dispositifs par activité (CPA), le Système harmonisé de désignation et de codification des marchandises (SH) géré par l'Organisation mondiale des douanes, la Nomenclature combinée (NC) – une classification européenne des marchandises utilisée pour les statistiques du commerce extérieur, etc.

Toutes ces classifications correspondent à différents niveaux hiérarchiques (niveau mondial, niveau UE, niveau national). Ils sont liés entre eux soit par la structure (par exemple lorsqu'une classification est mappée d'un niveau hiérarchique à un autre), soit par des tables de conversion (par exemple d'un type de classification à un autre) comme illustré dans la Figure 43 qui indique la version actuelle de chaque nomenclature et l'année depuis son entrée en vigueur.

Le secteur et les dispositifs de l'économie de l'information (TIC et M&D) sont définis par le Groupe de travail sur les indicateurs de la société de l'information de l'OCDE (GTISI) comme une agrégation alternative. Cette agrégation utilise respectivement des sous-classes complètes de la CPC et des classes de la CITI pour définir la portée des dispositifs et des industries de l'économie de l'information.

NOTE – Au moment de l'approbation du présent rapport, la structure complète de la CITI Rev.5 a été approuvée en 2023 et l'adoption des notes explicatives et du plan de mise en œuvre est prévue en 2024. La version 3.0 du CPC fait l'objet d'un processus de consultation avant d'être pleinement approuvée en 2024. L'OCDE a mis en place depuis novembre 2023 un groupe de travail dans le but d'étudier l'opportunité d'examiner les définitions des secteurs et des dispositifs des TIC et des M&D en ce qui concerne les révisions complètes/en cours susmentionnées (CITI Rev5.0, CPC v3.0, SH22).



*Till the consent on the Report, these items are undergoing revisions within their relevant fora

Figure 43– Relation entre les différents systèmes de nomenclature aux niveaux mondial, européen et national. Les cases en rouge représentent les secteurs et les dispositifs de l'économie de l'information en tant qu'« agrégations alternatives » fournies par le GTISI/OCDE.

La liste des dispositifs TIC et M&D et leur mise en correspondance avec les versions actuelles de la CPC et de la CITI sont détaillées dans un document complémentaire fourni sur demande.

Cette liste est fournie à titre indicatif uniquement pour aider un praticien, d'autres sources pertinentes, y compris la norme UIT L.1450 (Annexe A), doivent être prises en considération.

Appendice VI

Considérations sur l'intelligence artificielle des objets

(Cet appendice est relatif à Section 6)

L'intelligence artificielle des objets (AIoT) fait référence à l'intégration des capacités de l'Intelligence Artificielle (IA) dans les dispositifs et systèmes IoT. L'AIoT combine la puissance des algorithmes d'IA avec les capacités de connectivité et de collecte de données des dispositifs IoT pour créer des systèmes intelligents et autonomes et libérer la valeur des données. L'AIoT est un terme générique faisant référence à un ensemble de plusieurs formes de solutions intégrant l'IA dans l'IoT. Ainsi, dans de tels cas, l'IA prend en charge la fonctionnalité primaire d'un dispositif.

Cet appendice fournit quelques informations sur la façon d'aborder le cas des systèmes AIoT à travers l'heuristique décrite dans la section 0; il convient de noter que les travaux sur la normalisation de l'AIoT sont en cours dans le cadre de forums de travail incluant l'UIT (par l'intermédiaire d'un groupe de travail par correspondance (GC) spécialisé sur l'AIoT et d'autres groupes de travail pertinentes⁷⁸) et les comités ISO/CEI (JTC1/SC 42).

La technologie de l'IA peut être appliquée au sein de l'infrastructure IoT de bout en bout, en particulier dans le dispositif et la périphérie, tout en tenant compte des limites existantes de certains systèmes IoT (par exemple, la mise en œuvre de systèmes d'apprentissage automatique « minuscule » (TinyML) dans des dispositifs IoT contraints).

La Figure 44 illustre, à un niveau élevé, un chaînage typique possible des étapes du cycle de vie d'une solution AIoT. Il comprend : le prétraitement des données, l'entraînement/l'apprentissage du modèle, l'affinage/l'ajustement du modèle, l'exécution/l'inférence du modèle, la livraison et la mise à jour des résultats.

NOTE – Le réglage peut englober de nombreuses formes, y compris l'apprentissage à plus petite échelle, par exemple la formation locale dans le contexte des systèmes de ML fédérés.

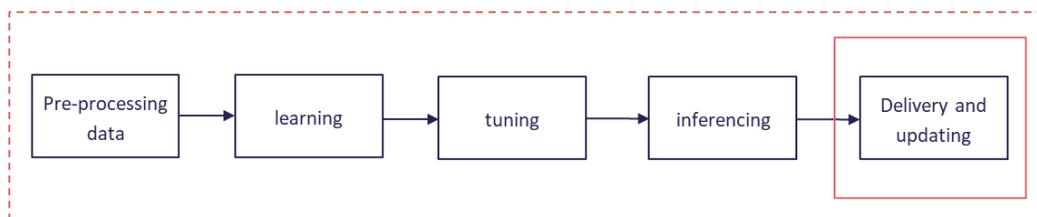


Figure 44– Étapes typiques du cycle de vie d'une solution AIoT : la ligne continue et la ligne pointillée représentent respectivement le périmètre minimum et maximum d'un modèle de mise en œuvre AIoT

Différents modèles de déploiement AIoT peuvent être identifiés en fonction de plusieurs considérations (capacités des dispositifs, capacités de l'environnement, exigences des cas d'utilisation, contexte d'utilisation, etc.), et se situent entre deux cas extrêmes :

- L'AIoT peut déployer l'IA sur le dispositif IoT pour réduire la latence, protéger la confidentialité des données et améliorer l'expérience utilisateur. Dans ce modèle, le dispositif prétraite les

⁷⁸ Y compris les CE 13, CE 16 et CE 20

données, effectue des inférences et interagit avec la périphérie ou le cloud pour l'entraînement du modèle. D'autres formes d'IA/ML légère (appelées « Tiny AI ») sont conçues spécifiquement pour être entraînées et exécutées sur le dispositif lui-même.

- L'AIoT peut déployer l'IA à la périphérie ; lorsqu'une plateforme de périphérie (avec le support du cloud) est responsable du développement et du déploiement de l'algorithme, elle peut également effectuer une inférence contextuelle et pousser le résultat vers le dispositif IoT.

Dans un modèle de déploiement plus général, le dispositif, le dispositif périphérique/appairé et le cloud fonctionnent ensemble pour fournir des services AIoT à l'application.

En raison de la variété des modèles de déploiement de l'AIoT, il est important, lors de la mise en œuvre de l'heuristique d'un système AIoT, de déterminer (1) si une étape du cycle de vie du système d'IA intervient dans la fourniture de la fonctionnalité primaire/critique du dispositif IoT et (2) si la phase du cycle de vie identifiée du système d'IA est exécutée sur le dispositif ou est déportée ailleurs (par exemple sur un dispositif Edge ou sur le Cloud).

Le Tableau 19 identifie le potentiel de déport pour chaque étape pour 4 modèles typiques de solutions AIoT.

Tableau 19 – Exemple de modèles types de mise en œuvre de l'AIoT et qualification de la connectivité

Étape	Modèle n°1	Modèle n°2	Modèle n°3	Modèle n°4
Prétraitement	Sur le dispositif	Sur le dispositif	Sur le dispositif	Déporté
Apprentissage	Sur le dispositif	Déporté	Déporté	Déporté
Réglage	Sur le dispositif	Sur le dispositif	Déporté	Déporté
Inférence	Sur le dispositif	Sur le dispositif	Sur le dispositif	Déporté
Livraison/mise à jour	Sur le dispositif	Sur le dispositif	Sur le dispositif	Sur le dispositif
Exemple de dispositifs AIoT	Ce modèle s'adapte bien aux dispositifs prenant en charge les étapes complètes du cycle de vie de l'IA, tels que les dispositifs « HPHC » IoT. Il convient également au cas des dispositifs IoT contraints mettant en œuvre un TinyML léger ⁷⁹ .	Ce modèle peut bien s'adapter à un « HPHC » ou à un « LPHC » ⁸⁰ tant que les capacités de traitement sont suffisantes pour le réglage / l'affinement du modèle mais pas assez pour l'apprentissage, comme une caméra IP ou des véhicules aériens sans pilote / drones autonomes.	Ce modèle peut bien s'adapter à un dispositif LPHC avec des capacités de traitement suffisantes pour l'inférence, mais pas pour l'apprentissage ou le réglage du modèle, comme des lunettes intelligentes ou des dispositifs portables.	Ce modèle convient bien aux dispositifs LPLC ou LPHC IoT.
Impact de la connectivité en ce qui concerne l'IA dans la réalisation de la fonctionnalité primaire	La connectivité ne serait pas considérée comme nécessaire	La connectivité serait considérée comme nécessaire	La connectivité serait considérée comme nécessaire	La connectivité serait considérée comme nécessaire

⁷⁹ <https://arxiv.org/pdf/2206.15472.pdf>

⁸⁰ HPHC = High processing high connectivity (capacité de traitement et de connectivité élevée) ; LPHC = Low processing high connectivity (capacité de traitement basse et capacité de connectivité élevée)

Appendice VII

Extension du cadre multi-strate de l'économie numérique aux autres piliers du secteur TIC

(Cet appendice est relatif à Section 6)

Avec la numérisation croissante de notre société, de plus en plus de dispositifs pourraient être systématiquement équipés de fonctionnalités de connectivité, de traitement ou d'affichage, ce qui rendent floues les frontières de l'économie de l'information (et des TIC en particulier) comme expliqué dans l'Annexe A.

Au-delà des dispositifs connectés, cet appendice propose de s'appuyer sur l'heuristique développée au cœur du rapport et ouvre d'autres perspectives appuyant la généralisation du cadre révisé de l'économie numérique à tout type de dispositif.

VII.1 Adaptation de paradigme de l'heuristique pour une catégorisation généralisée

Selon l'OCDE [OCDE-2011], le principe directeur suivant est utilisé pour identifier les dispositifs TIC (adapté du principe directeur convenu pour le secteur des TIC) :

« Les dispositifs TIC doivent être principalement destinés à remplir ou à permettre la fonction de traitement de l'information et de communication par des moyens électroniques, y compris la transmission et l'affichage ».

Sur la base de ce principe directeur qui définit la notion de TIC, le Comité croit comprendre qu'elle peut être résumée en trois piliers essentiels : la connectivité (désignant la « *communication par des moyens électroniques, y compris la transmission* »), le traitement et l'affichage.

NOTE – On peut remarquer que les trois piliers ne sont pas strictement indépendants les uns des autres, en particulier entre la « connectivité » et le « traitement » ; Par exemple, un dispositif avec une capacité de connectivité élevée nécessiterait généralement une capacité de traitement moyenne à élevée.

L'heuristique développée au cœur de ce rapport tourne autour du pilier clé de la connectivité. Cela amène le praticien, à travers plusieurs tests, à remettre en question le rôle de la connectivité et à comprendre à quel point le dispositif connecté dépend de la connectivité.

Une extension possible pourrait consister à imiter l'heuristique actuelle autour des deux autres piliers clés définissant les TIC (c'est-à-dire le traitement et l'affichage). Tous les tests (à l'exception des tests préliminaires sur la classification IoT, ICT ou M&D) développés dans l'heuristique peuvent être orientés vers la notion de « traitement » ou la notion de « affichage » au lieu de la notion de « connectivité ». Par exemple :

- « La [connectivité] est-elle essentielle pour remplir les fonctionnalités du dispositif ? » peut-être reproduit par « Est-ce que [traitement] / [affichage] est essentiel pour remplir les fonctionnalités du dispositif ? »
- « La [connectivité] prend-elle une part substantielle de l'empreinte carbone du dispositif ? » peut être reproduit par « Le [traitement] / [l'affichage] prend-il une part substantielle de l'empreinte carbone du dispositif ? »

- Etc.

Par conséquent, on pourrait prendre n'importe quel dispositif et utiliser l'heuristique selon ses trois versions différentes (sur la base de chaque pilier clé définissant les TIC). En suivant l'approche de catégorisation des dispositifs connectés développée en Appendice II et en l'adaptant à cette heuristique élargie et généralisée, on pourrait représenter n'importe quel dispositif par un vecteur dont les coordonnées sont les résultats de l'heuristique (sur la connectivité, sur le traitement et sur l'affichage).

Chacune des coordonnées d'un tel vecteur peut être soit de niveau 1 (c'est-à-dire appartenant à l'économie de l'information), Niveau 2 (c'est-à-dire que le dispositif analysé dépend de [connectivité] ou [traitement] ou [affichage]), Niveau 3 (c'est-à-dire que le dispositif analysé dépend de [connectivité] ou [traitement] ou [affichage]) ou Au-delà de l'économie numérique (c'est-à-dire utiliser marginalement ou ne pas utiliser [connectivité] ou [traitement] ou [affichage]). Parce que les TIC sont multi-piliers, leur influence sur un dispositif donné est déterminée par le pilier le plus influent. Ainsi, un tel vecteur tridimensionnel peut être factorisé en prenant le minimum de ses coordonnées (c'est-à-dire le plus petit niveau reflétant le pilier le plus influent) comme illustré dans la Figure 45⁸¹.

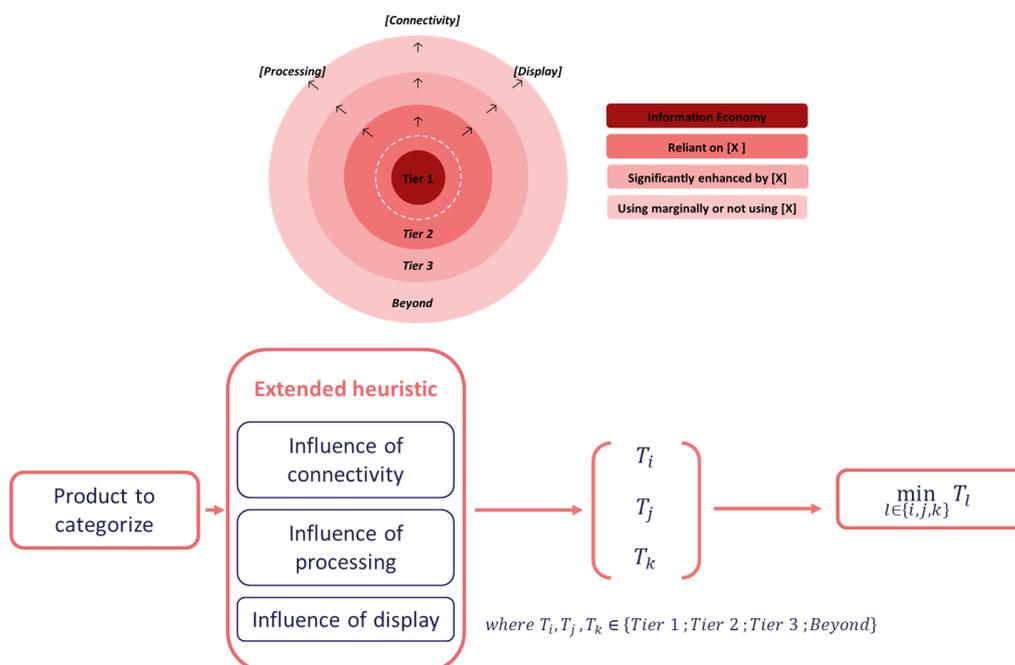


Figure 45- Dérivation d'une heuristique élargie pour considérer les deux autres piliers du secteur TIC

Compte tenu des adaptations susmentionnées, le cadre à plusieurs niveaux revisité de l'économie numérique introduit à l'Appendice II pour le cas des dispositifs connectés pourrait être généralisé pour traiter de la catégorisation de tout dispositif en ce qui concerne les TIC en prenant le vecteur de

⁸¹ Le lecteur remarquera peut-être que la notion de niveau 1+ développée à l'Appendice II n'est pas examinée ici. En effet, comme expliqué dans l'Appendice II, ce sous-espace situé entre les deux, tout en essayant d'utiliser le cadre de l'OCDE pour l'économie numérique, est l'équivalent de « TIC » parmi les résultats possibles de l'heuristique. Ceci est spécifique à l'heuristique de base concernant l'influence de la connectivité sur un dispositif IoT (c'est-à-dire réussir positivement le premier test). Dans ce cas général qui n'est pas uniquement axé sur les dispositifs connectés et IoT, les concepts les plus pertinents sont celui sur les niveaux déjà développé dans le cadre de l'OCDE dont s'inspire l'Appendice II. Le cercle en pointillés blancs correspond au niveau 1+ développé à l'Appendice II.

coordonnées unique représentant le pilier le plus influent des TIC sur un dispositif et son degré d'influence, comme illustré dans la Figure 45.

On peut reconnaître que pour une mise en œuvre efficace de cette approche revisitée, il est nécessaire d'inclure des définitions plus détaillées des concepts de « traitement » et « d'affichage » dans le principe directeur définissant les TIC. Par exemple, on peut se demander si un dispositif équipé d'un microcontrôleur peut être considéré comme un équipement doté de capacités de traitement.

VII.2 Adaptation du paradigme de l'heuristique pour les règles d'allocation carbone

Sur la base de l'approche développée à l'Appendice II sur les règles d'allocation carbone, on pourrait alors proposer la même approche et en déduire un ensemble de règles liées non seulement à la « connectivité » mais aussi aux deux autres piliers clés du secteur des TIC.

En utilisant le vecteur de coordonnées unique factorisé catégorisant un dispositif qui positionne un dispositif donné dans un niveau particulier (cf. Figure 45), les règles proposées à l'Appendice II seraient adaptées à tout dispositif comme dans le Tableau 20 :

Tableau 20 – Règles relatives à la répartition de l'empreinte carbone en ce qui concerne les TIC

Niveau auquel appartient le dispositif	Allocation de l'empreinte carbone du dispositif (par rapport aux TIC)
Dispositifs TIC (niveau 1)	Attribuer à l'économie de l'information l'ensemble de l'empreinte carbone du dispositif
Dispositif dépendant des TIC (niveau 2)	En fonction d'un groupe d'indicateurs permettant d'apprécier l'influence des organisations TIC sur le marché concerné, attribuez soit à l'économie de l'information l'empreinte carbone totale du dispositif, soit l'empreinte carbone attribuable aux composants de connectivité, de traitement et d'affichage
Dispositif considérablement amélioré grâce aux TIC (niveau 3)	Seule l'empreinte carbone attribuable aux composantes de connectivité, de traitement et d'affichage est allouée à l'économie de l'information
Dispositif non ou légèrement améliorés par les TIC (au-delà du niveau 3)	Aucune partie du produit de l'empreinte carbone à allouer à l'économie de l'information

Si l'on peut reconnaître que ces règles d'allocation peuvent surestimer la part de l'empreinte carbone allouée à l'économie de l'information, le biais introduit ne semble pas déraisonnable.

Bibliographie

- [Raff – 2020] Raff, S., Wentzel, D. and Obwegeser, N. (2020), “Smart Products: Conceptual Review, Synthesis, and Research Directions”. *J Prod Innov Manag*, 37: 379-404. <https://doi.org/10.1111/jpim.12544>
- [IMF – 2022] IMF Working Paper, Statistics Department “Experimental Indicators of Digital Industries in Select Countries: Definitions, Methods, and Results”. Prepared by Brent Moulton, James Tebrake, and Martha Tovar, September 2022.
- [OECD – 2019] OECD SDD/CSSP/WPNA (2019)3, Working Party on National Accounts “Guidelines for Supply-Use tables for the Digital Economy”, 2019.
- [OECD – 2020] OECD, “A roadmap toward a common framework for measuring the Digital Economy”, Report for the G20 Digital Economy Task Force, Saudi Arabia (2020).
- [Bukht – 2017] Bukht, R. and Heeks, R., “Defining, Conceptualising and Measuring the Digital Economy”, August 2017. Development Informatics Working Paper no. 68, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3431732> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3431732>
- [Hillerstrom – 2010] H. Hillerstrom, U. Troborg, Customized LCA for Network Cameras, Master of Science Thesis MMK 2010:04 MCE220, KTH Industrial Engineering and Management Machine Design, 02/2010.
<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:444443/FULLTEXT01.pdf>
- [EDNA-TEM – 2019] Total Energy Model for Connected Devices – Report prepared for IEA 4E EDNA (2019)
https://www.iea-4e.org/wp-content/uploads/2020/11/A2b - EDNA_TEM_Report_V1.0.pdf
- [Samie – 2016] Samie et al. “IoT Technologies for Embedded Computing : A survey”, IEEE/ACM (2016) [IoT technologies for embedded computing | Proceedings of the Eleventh IEEE/ACM/IFIP International Conference on Hardware/Software Codesign and System Synthesis](https://doi.org/10.1109/ICHI.2016.7800000)
- [ITU-T Y.4119] ITU-T Y.4119, Requirements and capability framework for IoT-based automotive emergency response system (03/2018)
- [SAE – 2021] Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles J3016_202104 https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/
- [IEA – 2017] IEA “Digitalization & Energy” 2017: <https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy>
- [TEM-IEA – 2019] IEA EDNA « Total Energy Model for Connected Devices”, 09/2019
https://www.iea-4e.org/wp-content/uploads/2020/11/A2b - EDNA_TEM_Report_V1.0.pdf
- [France Strat–2022] <https://www.strategie.gouv.fr/publications/monde-de-linternet-objets-dynamiques- maitriser>
- [Malmodin/Lunden – 2018] Malmodin & Lundén, “The energy and Carbon footprint of the Global ICT and E&M sectors 2010-2015” (2018): <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/9/3027>
- [ARCEP/ADEME – 2023] ARCEP/ADEME Technical experts committee on measuring the environmental impact of digital technologies (2023)
- [GSMA – 2022] GSMA, TS.34- IoT Device connection efficiency guidelines (Version 8.0) 21 July 2022
- [ADEME/ARCEP – 2022] Lees Perasso Etienne, Vateau Caroline, Domon Firmin, ADEME, Arcep, BUREAU VERITAS, A. Theobald, « Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective. Evaluation 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>
- [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

- [ITU L.1470] ITU L.1470 (2020): Greenhouse gas emissions trajectories for the information and communication technology sector compatible with the UNFCCC Paris Agreement.
<https://www.itu.int/rec/T-REC-L.1470>
- [IEA-TEM-2021] Addendum Report for the Total Energy Model V2.0 for Connected Devices. Report prepared for IEA 4E EDNA (2021)
<https://www.iea-4e.org/wp-content/uploads/publications/2021/02/EDNA-TEM2.0-Report-V1.0-Final.pdf>
- [Auriscchio *et al.* – 2011] M. Auriscchio *et al.* "On the functions of the products", Proceedings of International Conference on Engineering Design, ICED11 (08/2011)
- [Siderius/Meier – 2014] H.-P. Siderius and A. Meier, "Assembling Appliances Standards from a Basket of Functions" ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings (08/2014)
<https://buildings.lbl.gov/publications/assembling-appliances-standards>
- [SAREF – 2020] ETSI TS 103 264 V3.1.1, SmartM2M; Smart Applications; Reference Ontology and oneM2M Mapping (2020)
https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103200_103299/103264/03.01.01_60/ts_103264v030101p.pdf
- [oneM2M – 2016] ETSI TS 118 112 V2.0.0, oneM2M; Base Ontology (oneM2M TS-0012 version 2.0.0 Release 2) (2016)
https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/118100_118199/118112/02.00.00_60/ts_118112v020000p.pdf
- [ISO/IEC 30118-1 – 2021] [ISO/IEC 30118-1:2021 Information technology — Open Connectivity Foundation \(OCF\) Specification — Part 1: Core specification](https://www.iso.org/standard/7401.html) (2021)
- [ISO/IEC 30118-5 – 2021] [ISO/IEC 30118-5:2021 Information technology — Open Connectivity Foundation \(OCF\) Specification — Part 5: OCF device specification](https://www.iso.org/standard/7401.html) (2021)
- [Viola – 2012] Viola N. *et al.* "Functional Analysis in Systems Engineering: Methodology and Applications", System Engineering – Practices and Theory (2012)
<https://www.intechopen.com/chapters/32617>
- [CREDOC – 2022] Baromètre du numérique Edition 2022 : Enquête sur la diffusion des technologies de l'information et de la communication dans la société française
https://www.arcep.fr/uploads/tx_gspublication/rapport-barometre-numerique-edition-2022-Rapport.pdf
- [Ramachandran – 2011] Ramachandran, Raveesh, "Understanding the Role of Functions and Interactions in the Product Design" (2011). All Theses. 1180.
https://tigerprints.clemson.edu/all_theses/1180
- [CPCv2.1 – 2015] <https://unstats.un.org/unsd/classifications/unsdclassifications/cpcv21.pdf>
- [HS – 2022] <https://www.wcoomd.org/en/topics/nomenclature/instrument-and-tools/hs-nomenclature-2022-edition.aspx>
- [ISIC – 2008] https://unstats.un.org/unsd/publication/seriesm/seriesm_4rev4e.pdf
- [UNCTAD – 2015] UNCTAD, International Trade in ICT services and ICT-enabled services: Proposed Indicators from the partnership on measuring ICT for development, October 2015.
https://unctad.org/system/files/official-document/tn_unctad_ict4d03_en.pdf
- [IEC TR62726:2014 – 2014] IEC TR 62726:2014, Guidance on Quantifying GreenHouse Gaz Emission Reductions From the Baseline For Electrical and Electronic Products and Systems (Technical Report), 2014.
<https://webstore.iec.ch/publication/7401>
- [ISO 14064-2:2019 – 2019] ISO 14064-2:2019, Greenhouse gases – Part 2: Specification with guidance at the project level for quantification, monitoring and reporting of greenhouse gas emission reductions or removal enhancements.
<https://www.iso.org/standard/66454.html>

Arcep at a glance

The Regulatory Authority for Electronic Communications, Postal Affairs and Print Media Distribution (Arcep), a neutral and expert arbitrator with the status of independent administrative authority (IAA), is the architect and guardian of internet, fixed and mobile telecoms and postal networks in France.

ADEME at a glance

At ADEME – France’s National Agency for the Ecological Transition – we are firmly committed to fighting global warming and resource depletion. ADEME is a public establishment, under the joint authority of the Ministry for the Ecological Transition and the Ministry for Higher Education, Research and Innovation.