EXPERTISES

JUIN 2021

SODECO

QUELLE SOUTENABILITE DE LA DONNEE AU SERVICE DE L'ECOCONCEPTION

Cas de l'éco-usage du véhicule connecté

RAPPORT

ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

En partenariat avec :

Réseau Eco SD Eco-conception de systèmes durables

STELLANTIS

Arts et Métiers Sciences et Technologies

REMERCIEMENTS

Merci aux pilotes de ce projet de recherche collaboratif pour le réseau EcoSD :
Carole CHARBUILLET
Julien GARCIA

Merci aux contributeurs à ce projet de recherche collaboratif :
Laurent BARRE
Béatrice BELLINI
Valentin BUREAU
Anne-Laure CAPOMACCIO
François CLUZEL
Sara EL GHALBZOURI
Joachim JUSSELME
Etienne LEES-PERASSO
Samuli VAIJA

CITATION DE CE RAPPORT

Joachim JUSSELME ; Julien GARCIA ; Carole CHARBUILLET ; Béatrice BELLINI ; François CLUZEL ; Etienne LEES-PERASSO ; Samuli VAIJA – EcoSD. 2021. Quelle soutenabilité de la donnée au service de l'écoconception. 58.

Cet ouvrage est disponible en ligne www.ademe.fr/mediatheque

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 2002C0027

Étude réalisée par Joachim JUSSELME ; Julien GARCIA ; Carole CHARBUILLET ; Béatrice BELLINI ; François CLUZEL ; Etienne LEES-PERASSO ; Samuli VAIJA pour ce projet cofinancé par l'ADEME

Projet de recherche coordonné par : ENSAM ; STELLANTIS

TABLE DES MATIERES

Résumé 5
1 Contexte et objectifs 6
1.1 Données et véhicule connecté 6
1.2 Evaluation de la soutenabilité du véhicule connecté 7
1.3 Objectifs et démarche du projet 8
2 Développement méthodologique 9
2.1 Description du système étudié 9
2.1.1 Architecture globale : couches physiques et virtuelles du système 10
2.1.2 Architecture logicielle 10
2.2 Cycle de vie de la fonction connectée 11
2.2.1 Cycle de vie des éléments virtuels 11
2.2.2 Cycle de vie des équipements physiques 12
2.3 Périmètre d'évaluation 13
2.3.1 Périmètre physique du système étudié 13
2.3.2 Périmètre temporel 15
2.3.3 Extension du périmètre aux aspects conséquentiels 16
2.4 Multifonctionnalité et allocation des impacts 18
2.4.1 Allocation pour les équipements du Tiers 1 19
2.4.2 Allocation pour les équipements et systèmes des tiers 2 et tiers 3 19
2.5 Unité fonctionnelle 19
2.6 Evaluation environnementale 20
2.6.1 Cadre méthodologique 20
2.6.2 Enjeux environnementaux du véhicule connecté 20
2.6.3 Indicateurs environnementaux 20
2.6.4 Accessibilité aux données pour l'évaluation environnementale 21
2.7 Evaluation sociale 22
2.7.1 Cadre méthodologique 22
2.7.2 Enjeux sociaux du véhicule connecté 22
2.7.3 Indicateurs sociaux 23
2.7.3.1 Développement de l'indicateur sur l'accidentologie 24
2.7.3.2 Développement de l'indicateur « respect de la vie privée » 25
2.7.4 Echelle d'évaluation des indicateurs sociaux 26
2.7.5 Accessibilité aux données pour l'évaluation sociale 27
2.8 Evaluation économique 27
2.8.1 Approche méthodologique 27
2.8.2 Sélection des indicateurs économiques 28
2.9 Evaluation de la soutenabilité 29

2.9.1 Score unique 29
2.9.2 Approche centrée coûts 30
2.9.3 Approche décomposée 30
3 Application de la méthodologie à un cas d'étude 30
3.1 Description de la fonction connectée étudiée 30
3.2 Inventaire des données d'évaluation 32
3.2.1 Disponibilité des données 32
3.2.2 Données environnementales 32
3.3 Evaluation des indicateurs 33
3.3.1 Analyse des indicateurs environnementaux 33
3.3.2 Analyse des indicateurs sociaux 35
3.3.2.1 Indicateur « bénéfice de sécurité » 35
3.3.2.2 Indicateur « conformité à la RGPD » 37
4 Bilan et recommandations 37
4.1 Identification des leviers d'écoconception 37
4.2 Limites de l'étude 38
4.3 Perspectives 38
4.4 Synthèse de la méthodologie 39
Références bibliographiques 41
Index des tableaux et figures 44
Sigles et acronymes 46
Annexe 1 – fonctions connectées analysées 47
Annexe 2 – indicateurs environnementaux 49
Annexe 3 – indicateurs sociaux 50
Annexe 4 – indicateurs économiques 53
Annexe 5 – inventaire des données 54
Annexe 6 – consommation d'énergie en phase d'utilisation 55

Résumé

Le projet SODECO explore comment l'objet virtuel constitué par un service numérique et les données qu'il génère dans le contexte d'utilisation du véhicule connecté, peut se traduire en termes d'impacts environnementaux, mais aussi sociaux et économiques afin de déterminer la soutenabilité de la fonction connectée, et d'orienter sa conception pour un éco-usage du véhicule.
A partir d'une étude bibliographique des enjeux du véhicule connecté, le périmètre d'évaluation a été décrit, d'abord sur les phases du cycle de vie d'une fonction connectée et de ses composantes physiques et virtuelles qu'il convient d'intégrer, puis en considérant les extensions possibles de ce périmètre, que ce soit pour la prise en compte de l'aspect dynamique lié à l'évolution temporelle rapide des technologies mises en jeu, ou pour intégrer les effets indirects liés aux conséquences de la mise en œuvre de la fonction.

Les indicateurs et méthodes de calcul jugés pertinents pour l'évaluation de la soutenabilité d'une fonction connectée dans un véhicule ont ensuite été sélectionnés à partir des indicateurs établis dans les domaines de l'ACV environnementale et sociale. Pour les enjeux sur lesquels les indicateurs existants ne semblaient pas adaptés, deux indicateurs spécifiques ont été étudiés : le premier permettant de mesurer le « bénéfice de sécurité » apporté par une fonction connectée en terme de réduction de l'accidentologie, et le second concernant le respect de la vie privée relatif à l'exploitation des données. Par ailleurs, les indicateurs appropriés pour apprécier les retombées économiques du service numérique ont été identifiés, sans que leur méthode de calcul ne soit précisée, celle-ci relevant du domaine interne aux entreprises susceptible de mettre en œuvre la démarche.
Cette analyse a permis de proposer un cadre méthodologique qui a été mis en application dans un second temps sur un cas d'étude issu du projet européen CONCORDA, visant à tester une fonction connectée de prévention des collisions.

Malgré un accès limité aux données, l'étude de cas a mis en évidence des premiers éléments de réflexion pour l'écoconception des véhicules connectés, et a permis d'identifier les limites de la méthodologie d'évaluation retenue.

1 Contexte et objectifs

1.1 Données et véhicule connecté

Dans un contexte d'accélération du développement des objets connectés et des services numériques associés, le secteur automobile participe de ce mouvement en multipliant les fonctions qui s'appuient sur la connectivité du véhicule avec son environnement pour améliorer le confort, la conduite, ou encore la sécurité des usagers du véhicule.
Un véhicule connecté est un véhicule (1) :

- Capable d'accéder à Internet à tout moment, soit à l'aide d'un appareil intégré, soit avec des appareils utilisateur ;
- Equipé d'un ensemble d'applications et de fonctionnalités contextuelles dynamiques, offrant des fonctionnalités d'info-divertissement avancées au conducteur et aux passagers ;
- Capable d'interagir avec d'autres appareils intelligents sur la route ou dans les ateliers de mécanique, en tirant parti des technologies de communication de l'infrastructure du véhicule à la route ;
- Capable d'interagir avec d'autres véhicules, en tirant parti des technologies de communication de véhicule à véhicule.

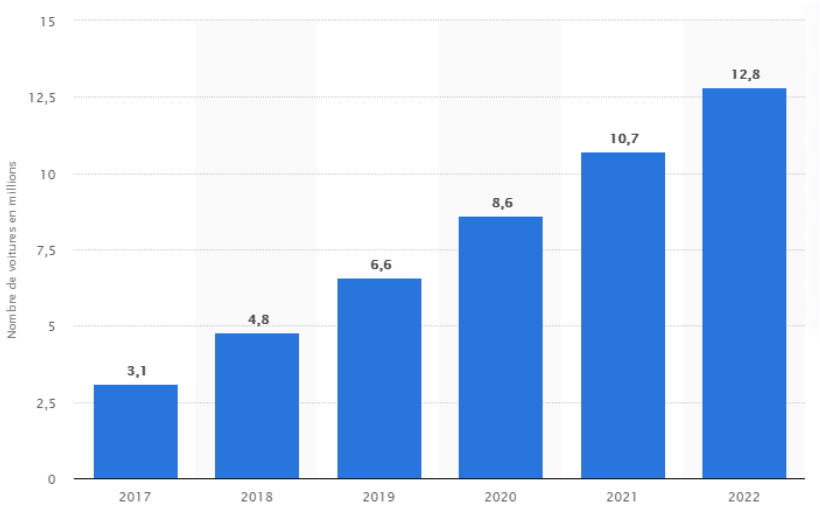

Figure 1 - Projection du nombre de voitures connectées en circulation en France de 2017 à 2022 (en millions) (2)

Différents axes de communication sont ainsi exploités pour permettre au véhicule d'interagir avec son environnement direct. L'analyse de l'existant conduite dans le cadre d'un projet étudiant ENSAM a permis d'identifier l'utilisation des axes de communication suivants dans les fonctions connectées du véhicule:

- Vehicle to Network (V2N) : utilisation des systèmes de communication existants (4G, 5G) par le véhicule pour communiquer vers le réseau internet. Il peut ainsi transmettre des données indépendamment des appareils connectés (smartphone, tablette) présents à bord
- Vehicle to Vehicle (V2V) : la communication entre véhicules permet de transmettre directement des informations, par exemple sur la détection d'un évènement (ralentissement, accident…) aux véhicules à proximité du véhicule émetteur
- Vehicle to Infrastructure (V2I) : le véhicule communique avec des équipements installés sur l'infrastructure routière (feux tricolores, panneaux de signalisation…). Ceci permet notamment la fluidification du trafic urbain par une communication entre les infrastructures, les carrefours, par exemple afin de limiter les arrêts et accélérations des véhicules, et ainsi favoriser l'éco-conduite urbaine
- Vehicle to Device (V2D) : permet l'utilisation d'autres appareils électroniques, tels que les smartphones. Par l'intermédiaire de ces appareils, il est possible d'améliorer en tout point l'expérience de conduite de l'utilisateur, par l'utilisation d'applications préventives sur les zones de contrôle.

- Vehicle to Pedestrian (V2P) : la communication entre piétons et véhicules se fait par l'intermédiaire de capteurs et par les éventuels objets connectés portés par le piéton (téléphone, montre…) afin de prévenir de potentiels accidents
- Vehicle to Grid (V2G) : la communication V2G est une interaction spécifique aux véhicules électriques, et vise à optimiser l'utilisation de l'électricité au sein du véhicule ainsi que dans "la grille". La grille est ici définie comme le réseau électrique urbain dans un contexte d'évolution vers des « grilles intelligentes » permettant d'optimiser la production, le stockage et la consommation d'énergie au niveau local en gérant de façon optimale les périodes de chargement/ déchargement de la batterie pour stocker l'énergie ou en restituer au réseau.

L'état des lieux réalisé sur les fonctions apportées par cette mise en communication du véhicule avec son environnement (cf. annexe 1) montre qu'elles concernent essentiellement l'amélioration de la sécurité, de l'efficacité du trafic et des coûts, et l'info-divertissement.

Le déploiement de ces fonctions engendre des changements à de multiples étapes du cycle de vie du véhicule qui doivent être pris en compte par les différents acteurs économiques concernés :

- Conception : l'implémentation d'équipements électroniques toujours plus nombreux engendre l'implication de nouveaux fournisseurs dans le développement. Les règlementations spécifiques aux nouveaux dispositifs doivent être pris en compte, notamment pour les fonctions d'assistance à la conduite ;
- Vente : apparition d'une offre de services en complément de l'achat du véhicule ou/et de ses fonctions ; génération de données potentiellement valorisables économiquement pour le client ou pour d'autres partenaires ;
- Utilisation : extension de l'infrastructure par l'intégration de l'environnement direct du véhicule (V2V, V2I) et des systèmes permettant la communication (serveurs, centres informatiques, etc.), et donc des acteurs de la chaine de valeur dont ceux du domaine numérique ;
- Fin de vie : complexification du démantèlement du VHU, avec la nécessité de traiter de plus en plus d'équipements électroniques ; prise en compte de la présence de matériaux critiques en quantité plus importante

1.2 Evaluation de la soutenabilité du véhicule connecté

Face à la croissance rapide des objets connectés, et des services numériques associés, l'impact environnemental des technologies d'information et de communication (TIC) est un sujet d'attention depuis plusieurs années.

Ainsi, des initiatives comme THE SHIFT PROJECT proposent une évaluation de l'ensemble de l'écosystème des principaux objets connectés (Figure 2) afin de déterminer des trajectoires de maitrise de l'impact environnemental du numérique.

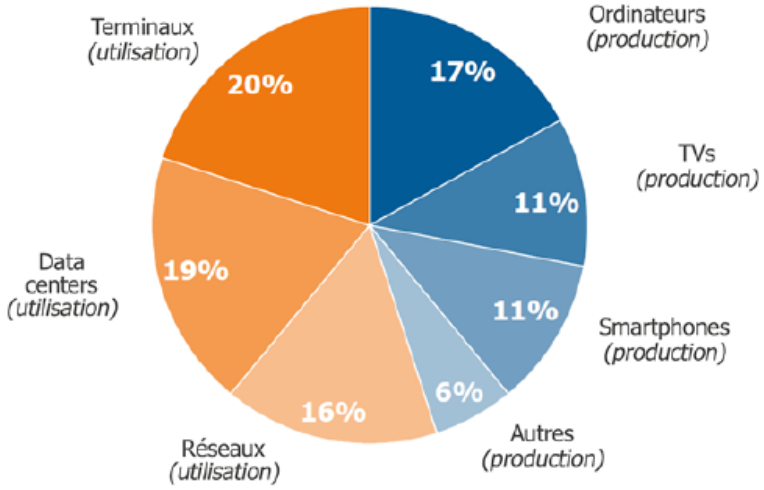

Figure 2 - Distribution de la consommation d'énergie finale du numérique par poste (3)

Dans le contexte du véhicule, l'impact environnemental des fonctions connectées est en revanche moins connu. Certaines études (4) (5) s'intéressent principalement à l'impact sur la consommation

d'énergie, et ne tiennent pas compte de l'incidence de la fonction connectée provenant des éléments hors véhicule (infrastructure, réseau, datacenters…)

Les travaux existants sur l'impact environnemental global des TIC concernent donc principalement les objets connectés les plus répandus relevant du domaine de l'IoT (Internet of Things), mais cette analyse n'a pas été transposée au domaine de l'IoV (Internet of Vehicle) par lequel on peut définir l'écosystème du véhicule connecté.

L'exploitation des données par les fonctions connectées du véhicule peut être un levier de réduction des impacts environnementaux du véhicule, par exemple par une utilisation plus efficiente de celui-ci permise par les fonctions d'assistance à la conduite, ou en optimisant le choix de trajets en fonction de la congestion du trafic (6). Mais ces fonctions ont également des impacts dans les domaines social et économique. Il est donc aussi nécessaire de définir comment évaluer l'impact de la fonction connectée sur ces deux autres aspects pour établir une compréhension globale de sa soutenabilité.
Là aussi, peu de travaux spécifiquement dédiés au contexte du véhicule connecté sont disponibles. Dans cette perspective Taiebat et al. (7) proposent par exemple une cartographie des aspects environnemental, social et économique relatifs à la soutenabilité du véhicule connecté, mais sans définir de méthodologie d'évaluation.

Afin de pouvoir appréhender la soutenabilité du véhicule connecté dans sa globalité, il est donc nécessaire de clarifier comment une fonction connectée se traduit en termes d'impacts environnementaux, sociaux et économiques, et de définir l'approche méthodologique permettant d'évaluer chacun de ses aspects.

1.3 Objectifs et démarche du projet

Le projet de recherche collaboratif SODECO doit permettre de mieux comprendre le lien entre les données générées par les fonctions connectées du véhicule et leurs conséquences en terme d'impacts environnementaux, sociaux et économiques, en analysant comment se traduisent les effets de l'objet virtuel que constituent les données, notamment au travers de leur support physique.
L'objectif est ainsi de développer une méthodologie d'évaluation de la soutenabilité de la donnée sur son cycle de vie dans un véhicule connecté.
Les problématiques suivantes relatives à chacun des trois aspects du développement soutenable, seront notamment étudiées :

- Environnement : comment traduire les impacts environnementaux d'un objet virtuel comme la donnée, sur tout son cycle de vie ?
- Social : comment intégrer et évaluer les enjeux sociaux dans la recherche d'un compromis avec la réduction des impacts potentiellement générés par la donnée ?
- Economique : comment identifier les incidences économiques d'un service connecté, que ce soit en terme de nouvelle valeur ajoutée, ou de surcoût pour l'utilisateur, et comment les positionner en rapport à une qualité sociale et environnementale de produits/services ?

Afin de répondre à ces problématiques, le projet vise à réaliser un état des lieux des enjeux du véhicule connecté vis-à-vis des différents aspects de la soutenabilité, puis de sélectionner les indicateurs et les méthodes d'évaluation associées afin de proposer un cadre d'évaluation de la soutenabilité d'une fonction connectée dans le contexte applicatif du véhicule connecté.

Une mise en application sur un cas d'étude a par ailleurs été retenue dans le projet afin de mettre à l'épreuve la démarche méthodologique développée.
Elle doit permettre de dégager des premiers axes de réflexion sur l'approche de l'écoconception d'une fonction connectée dans le véhicule, et d'identifier les éventuelles difficultés et limites relatives à l'approche de l'évaluation de la soutenabilité proposée.

La Figure 3 reprend les principales étapes de la démarche suivie pour ce projet.

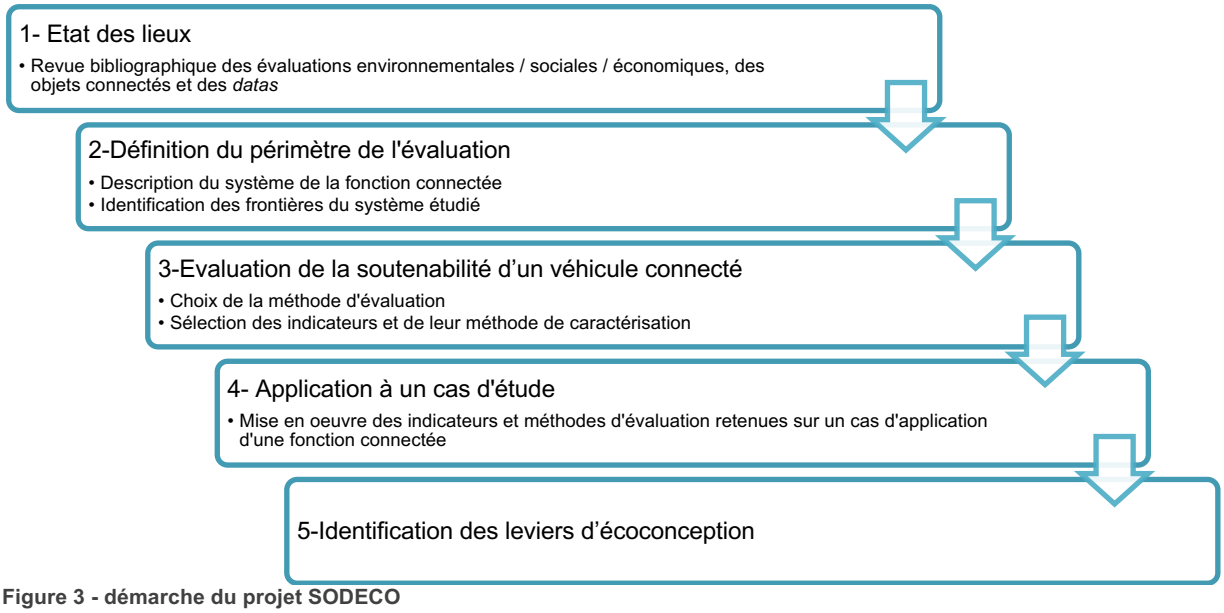

Figure 3 - démarche du projet SODECO

Le groupe de travail présenté ci-dessous a été constitué par les membres du réseau EcoSD pour conduire ce projet de recherche collaboratif.

Tableau 1 - groupe de travail

Membre	Fonction / compétences	Organisation	Rôle
Carole CHARBUILLET	enseignant chercheur / écoconception ; économie circulaire	ENSAM	porteur universitaire
Béatrice BELLINI	maitre de conférence / marketing ; modèles d'affaires responsables	Université Paris Nanterre	contributeur
François CLUZEL	maitre de conférence / ingénierie de l'innovation et conception de systèmes durables	CentraleSupélec	contributeur
Julien GARCIA	responsable écoconception et ACV	Stellantis	porteur industriel
Joachim JUSSELME	ingénieur d'étude écoconception	AMVALOR	rédacteur
Etienne LEES-PERASSO	consultant / ACV ; écoconception	Bureau Veritas LCIE	contributeur
Samuli VAIJA	analyste cycle de vie et économie circulaire	Orange	contributeur

Les approches retenues aux différentes étapes de cette démarche ont été soumises à ce groupe pour discussion.

La phase d'état des lieux a par ailleurs été en partie réalisée par le biais de deux travaux d'étudiants :

- Sara EL GHALBZOURI (CentraleSupélec)
- Valentin BUREAU (ENSAM)

2 Développement méthodologique

2.1 Description du système étudié

Par définition, un véhicule est dit connecté dès lors qu'il dispose d'équipements lui permettant de communiquer avec son environnement extérieur. L'ensemble de ces équipements embarqués, ainsi que ceux avec lesquels il communique, permettent l'exécution d'une « Fonction Connectée », aussi désignée par « Service Numérique » ou « Service Connecté ».
Afin d'évaluer l'impact sur la soutenabilité de la donnée, le système étudié doit recouvrir l'ensemble des composantes permettant d'assurer l'exécution d'une fonction connectée basée sur l'exploitation de données numériques.

La réalisation d'une fonction connectée s'appuie sur 3 composantes :

- Le hardware, qui constitue le périmètre physique ou matériel du système étudié
- Le software, qui régit l'exécution des tâches, et constitue en soi une donnée numérique qui doit être stockée
- Les données, en tant qu'information générée, échangée ou traitée par les différents équipements numériques, ainsi que comme information stockée

Le software et les données constituent les composantes virtuelles de la fonction connectée. L'incidence de leur conception et de leur utilisation sur le dimensionnement de la composante physique doit donc être évaluée afin de pouvoir traduire la fonction connectée en terme d'impacts.

2.1.1 Architecture globale : couches physiques et virtuelles du système

La structure de l'écosystème des objets connectés est généralement décrite au travers des différents niveaux de traitement des données. On peut ainsi regrouper les équipements physiques en fonction des couches virtuelles auxquelles ils correspondent dans l'écosystème.

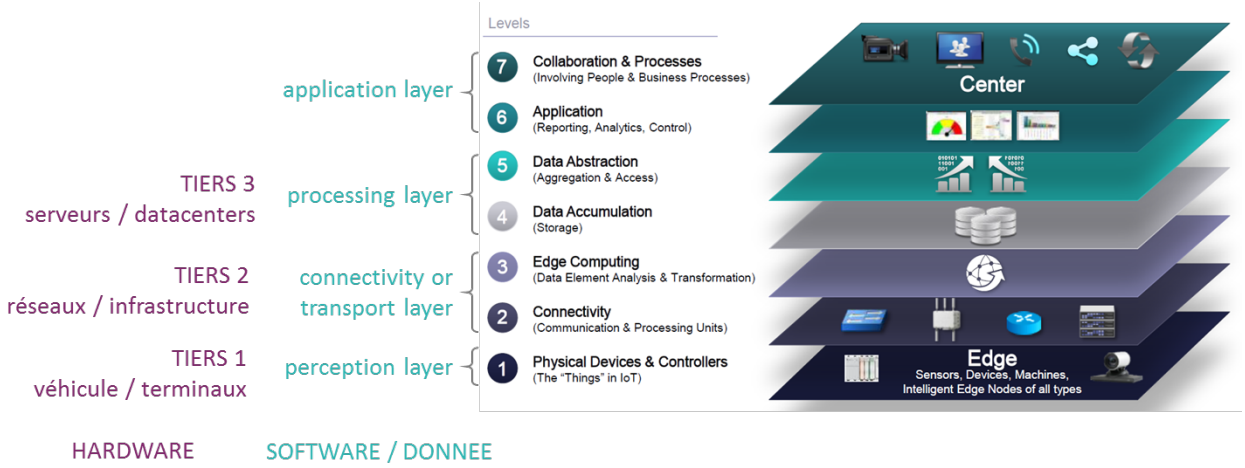

Figure 4 - structure de l'écosystème des objets connectés (8)

Pour l'étude SODECO, le découpage en trois tiers des équipements numériques défini dans le cadre du projet NEGAOCTET a été repris afin de faciliter l'exploitation des futures données d'évaluation environnementale issues de ce projet dans le cadre de la méthodologie établie par SODECO.
La correspondance entre les niveaux virtuels et physiques est présentée dans la Figure 4.

2.1.2 Architecture logicielle

Le software nécessaire à l'exécution d'une fonction connectée ne se limite pas aux éléments spécifiquement dédiés à cette fonction. On distingue des couches basses, servant à l'opérabilité et à l'exploitation du système, et des couches hautes correspondant aux applications permettant d'exécuter la fonction.

Afin d'assurer l'interopérabilité des composants du système connecté du véhicule, la norme ISO 21217:2020 relative aux systèmes de transport intelligents (ITS) décrit l'architecture du software des stations (ITS-S) constituant le système connecté du véhicule (Figure 5).
L'opérabilité de la fonction connectée suppose donc l'installation de multiples couches logicielles dans chaque tiers de l'écosystème IoV qui conditionneront le dimensionnement des éléments physiques.
La complexité de l'architecture logicielle rend la possibilité de faire un lien direct entre logiciels nécessaires à l'exécution de la fonction connectée et le dimensionnement des éléments physiques très difficile pour une personne non spécialiste de ces questions, ce dimensionnement étant potentiellement tributaire non seulement des applications qui exécutent la fonction connectée, mais aussi des couches logicielles nécessaires à l'opérabilité du système.

Aussi, s'il parait intéressant de comprendre comment s'articule l'architecture logicielle des fonctions connectées du véhicule pour saisir l'incidence qu'elle peut avoir sur le dimensionnement des éléments

physiques, l'évaluation de la soutenabilité recherchée dans le cadre du projet SODECO passera avant tout par un inventaire des données relatives aux équipements.

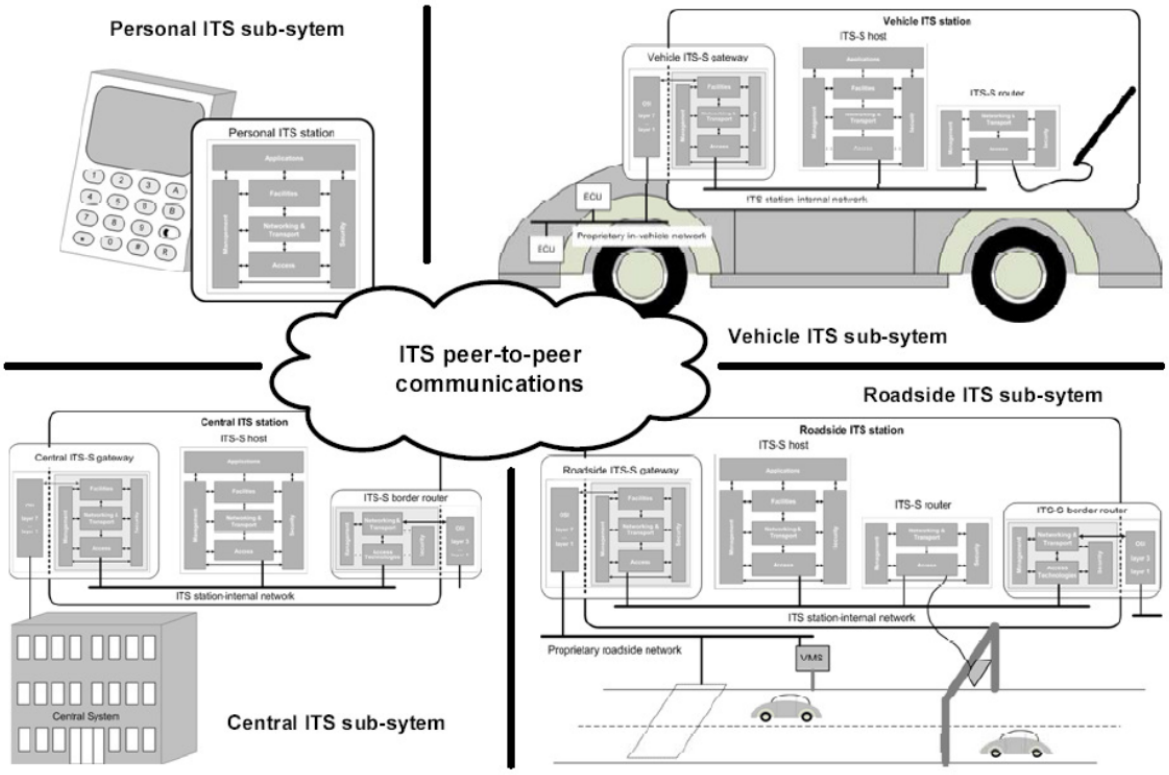

Figure 5 – type de stations de communication ITS et architecture logicielle (9)

2.2 Cycle de vie de la fonction connectée

Afin de rendre compte des impacts environnementaux, sociaux et économiques de la fonction connectée, le périmètre d'analyse doit être défini en considérant l'ensemble du cycle de vie de chacune des trois composantes décrites précédemment.
Les phases de vie propres à chaque composante sont donc décrites dans ce chapitre afin d'identifier les étapes pertinentes à intégrer au périmètre d'évaluation.

2.2.1 Cycle de vie des éléments virtuels

Le software suit son un cycle de vie allant du développement (qui comporte lui-même plusieurs itérations de codage / test / validation), à la mise hors service. La Figure 6 reprend ces étapes adaptées de la description du cycle de vie des services numériques proposée par Fatmasari et al. (10).

La phase de mise à jour du véhicule connecté peut se faire par une intervention dite « Over the Air » (OTA) qui permet d'agir à distance.
Wavestone (11) distingue trois types d'opérations, de la plus basique à la plus complexe :

- Le COTA (Configuration Over The Air) qui permet de modifier le paramétrage des objets connectés, comme leur fréquence de connexion ou leur plage nominale de valeurs
- Le SOTA (Software upgrade Over The Air) permet de mettre à jour les couches hautes du logiciel de l'objet connecté, comme des applications
- Le FOTA (Firmware upgrade Over The Air) permet de mettre à jour les couches basses du logiciel de l'objet connecté, comme un système d'exploitation

Les impacts du software sur son cycle de vie se manifesteront d'une part au travers des éléments matériels et de l'énergie nécessaires à son fonctionnement, mais aussi potentiellement par les ressources (employés, bâtiment…) qui auront été nécessaires à chaque étape du cycle de vie.

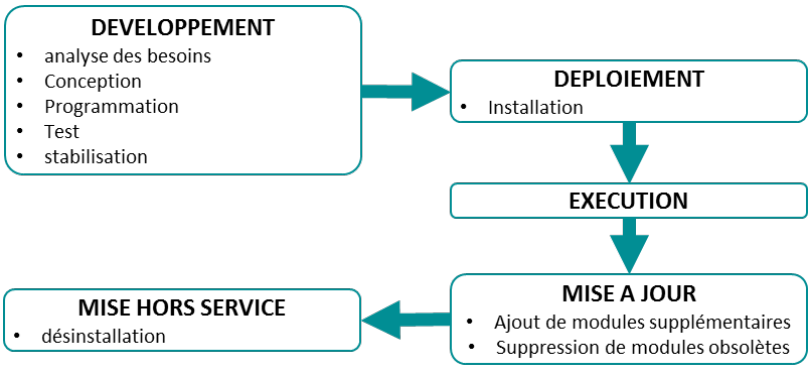

Figure 6 - cycle de vie de éléments logiciels

La description du cycle de vie de la donnée en tant qu'information traitée par le système connecté (Figure 7) suppose de partir de la génération de l'information au niveau de la couche de perception (généralement issue d'un capteur) jusqu'à son utilisation finale pour agir sur un actionneur, ou délivrer une information à l'utilisateur de la fonction.

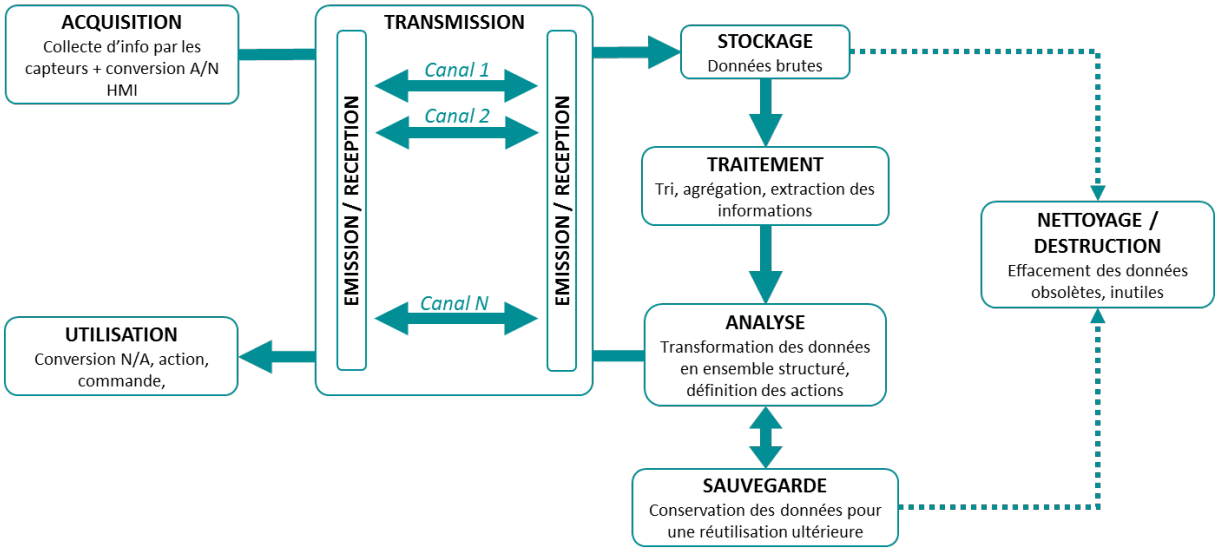

Figure 7 - cycle de vie de la donnée

Cette description permet d'identifier l'ensemble des étapes de la création à la fin de vie de la donnée. A chacune de ces étapes peuvent être associés les éléments physiques nécessaires à la gestion de la donnée qui seront inclus dans le périmètre d'évaluation.

Les phases de développement et de maintenance des éléments logiciels, ainsi que des données induisent la mobilisation de moyens humains et des ressources afférentes (bâtiment d'accueil, transport…). Le retour d'expérience de NEGAOCTET montre que les impacts environnementaux de ces ressources humaines peuvent devenir significatifs lorsque le service numérique considéré est développé pour une organisation unique, et/ou avec un nombre d'utilisateurs faible. Ce n'est cependant pas le cas des fonctions connectées d'un véhicule qui sont vouées à être utilisées par des centaines de milliers, voire des millions de véhicules. Il ne parait donc pas particulièrement pertinent d'inclure les impacts relatifs aux ressources humaines dans le périmètre de l'étude SODECO dans un premier temps.

2.2.2 Cycle de vie des équipements physiques

Le cycle de vie des objets connectés inclus les étapes de conception, extraction des ressources, fabrication, distribution/vente, installation, utilisation, fin de vie usuellement considérées pour les produits manufacturés, dans lesquelles vont s'inscrire les étapes de déploiement des éléments logiciels. La Figure 8 reprend la description de ce cycle de vie proposée par Wavestone.
Les équipements connectés sont principalement de nature électriques et électroniques. En fin de vie, on pourra considérer que les équipements des tiers 2 et 3 suivent les filières dédiées à ce type de

produit dans le cas de pays disposant de filières structurées, ce qui sera le cas pour les équipements des réseaux et datacenters sur le territoire européen (directive DEEE 2012/19/UE du 4 juillet 2012).
Pour les équipements embarqués dans les véhicules, la filière fin de vie sera celle des VHU, elle aussi tributaire de la structuration de la filière dans le pays ou le véhicule est traité en fin de vie, et ceux-ci seront donc potentiellement traités différemment des autres équipements numériques, en l'absence de disposition leur permettant d'être réintégrés dans la filière DEEE.

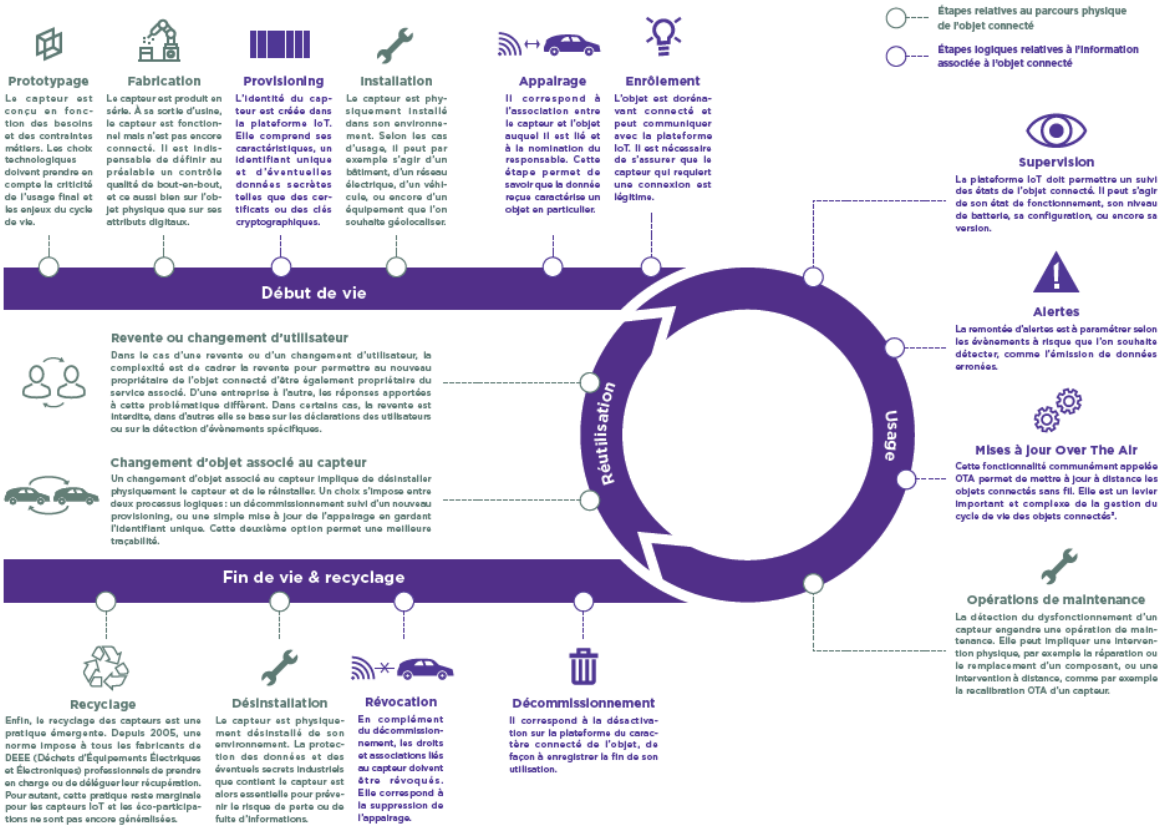

Figure 8 - cycle de vie d'un objet connecté dans le véhicule

Au-delà de l'objet connecté, élément du tiers 1, les équipements constitutifs des autres tiers du système connecté suivront un cycle de vie similaire.
L'incidence sur les trois aspects de la soutenabilité de chacun de ces équipements sera donc évaluée en tenant compte des étapes de la chaine de valeur et des parties prenantes associées.

2.3 Périmètre d'évaluation

2.3.1 Périmètre physique du système étudié

On peut distinguer deux écosystèmes dans lesquels se répartissent les équipements physiques nécessaires à l'exécution de la fonction connectée d'un véhicule.
L'un est spécifique à l'Internet du Véhicule (IoV), et comprend les équipements ITS à bord du véhicule, et sur l'infrastructure ITS du réseau routier, ainsi que les datacenters opérés par les constructeurs automobiles et dédiés à leurs véhicules pour le tiers 3.
L'autre est générique, et commun à l'ensemble des objets connectés (IoT), et inclus les terminaux (ex. smartphone), le réseau de communication (4G/5G) ou les datacenters opérés par des prestataires externes à l'opérateur de la fonction connectée.

Les équipements se rattachant à chacun de ces périmètres (Figure 9) sont de plusieurs natures :

- Les équipements numériques (PCU, émetteur/receveur, GPU…), dont le dimensionnement sera directement conditionné par les caractéristiques (volume, débit) des données à traiter

- Les équipements énergie, qui assurent l'apport énergétique (alimentation, conversion, refroidissement…) nécessaire au fonctionnement des équipements numériques
- Les équipements d'infrastructures spécifiques aux équipements numériques (supports d'antenne, bâtiment de datacenter…)

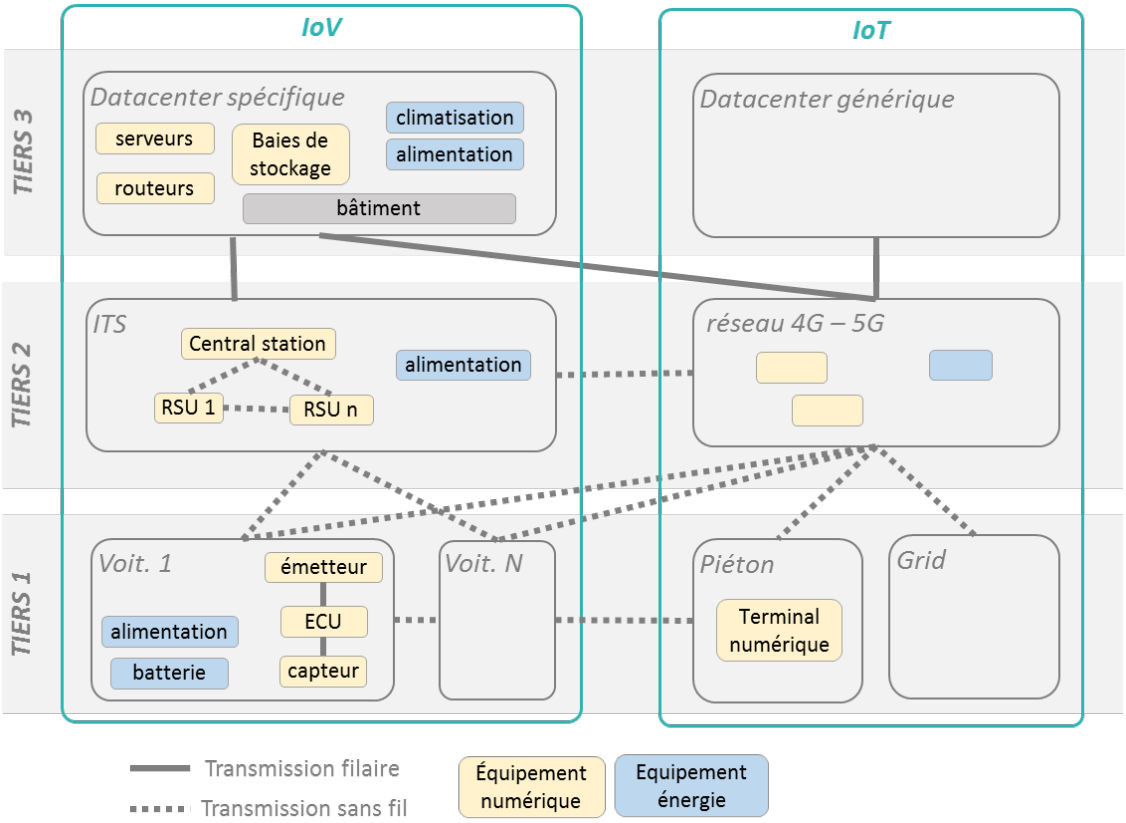

Figure 9 - périmètre physique de la fonction connectée

Les modalités de prise en compte dans le périmètre d'évaluation des impacts relatifs au cycle de vie de chacun de ces équipements sont décrites dans les paragraphes suivants.

TIERS 1 : terminaux mobiles et équipements embarqués dans le véhicule

Les équipements du tiers 1 embarqués dans le véhicule sont ceux dont la spécification est directement maitrisée par le concepteur / spécificateur de la fonction connectée. La description détaillée de ces équipements est donc celle qui sera la plus facilement accessible.

Le périmètre doit inclure l'ensemble des équipements du véhicule qui seront spécifiquement ou partiellement dédiés à l'exécution de la fonction connectée. On peut ainsi inclure les éléments suivants:

- Equipements numériques (ECU, modules d'émission /réception…)
- Equipements électriques / analogiques (capteurs, câblage, batterie, alimentation…)
- Composants mécaniques (pièces support, capotage…) spécifiquement dédiés aux équipements numériques

TIERS 2 et TIERS 3: réseaux et datacenters

Les équipements des tiers 2 et 3 ne sont pas directement maitrisés par le concepteur de la fonction connectée, notamment sur le périmètre IoT. La fonction va utiliser un système (réseau 4G, réseau GPS, datacenter du cloud…) sans qu'il soit possible d'identifier individuellement chaque équipement sollicité par la fonction.
Par ailleurs, compte tenu de l'architecture de l'écosystème IoT, plusieurs niveaux d'infrastructure sont potentiellement utilisés (edge / fog / cloud) pour transmettre, traiter ou stocker les données. Le périmètre des tiers 2 et 3 va donc dépendre des besoins de la fonction (Puissance de calcul, latence, précision, fiabilité…) comme l'illustre la Figure 10.

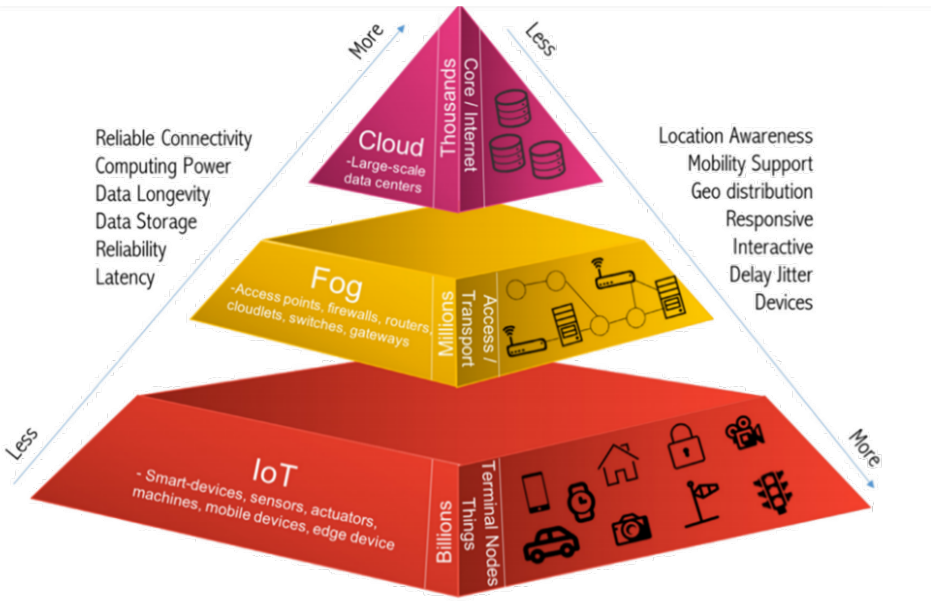

Figure 10 - architecture à 3 niveaux de l'écosystème IoT-fog-cloud (12)

Il n'est donc pas possible de décrire de façon détaillée les équipements inclus dans le périmètre des tiers 2 et 3 comme pour le tiers 1.
Seule une approche globale de l'évaluation des systèmes utilisés pour ces tiers est donc envisageable. Ces systèmes étant partagés entre un nombre très élevé de services numériques, l'attribution de leurs impacts à la fonction connectée étudiée doit donc se faire proportionnellement à l'utilisation de l'infrastructure par cette fonction suivant un facteur d'allocation (cf. §2.4).

2.3.2 Périmètre temporel

L'opérabilité de la fonction connectée s'appuie sur des équipements dont les durées de vie peuvent être très variables. Pour les équipements embarqués dans le véhicule, leur durée de vie sera tributaire de l'âge moyen des VHU (Stellantis se base sur une durée de vie moyenne de 18 ans pour des véhicules particuliers), alors que les réseaux et datacenters sont constitués d'un mixte d'équipements d'âges différents dont la durée de vie moyenne peut varier de 3 à 5 ans.

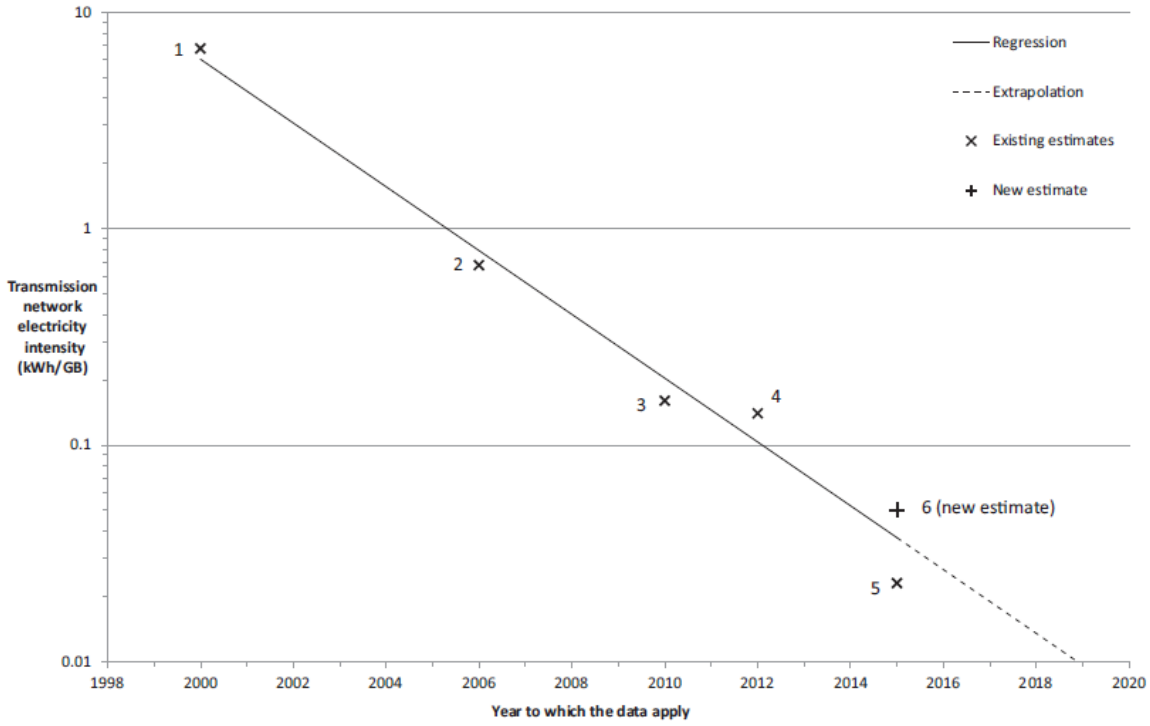

Figure 11 - Consommation d'énergie par GB transporté sur les réseaux de transmission (13)

L'évolution continue des équipements des réseaux / datacenters permet de répondre au besoin croissant en traitement de données générées par les objets connectés par le déploiement de technologies toujours plus performantes. Cette évolution contribue par ailleurs à améliorer l'efficacité énergétique de ces systèmes comme le montre la Figure 11 pour les réseaux de transmission.

La soutenabilité, d'une fonction connectée, notamment en ce qui concerne ses impacts environnementaux, est donc susceptible d'évoluer entre le moment de l'évaluation et ses impacts réels en fin de vie du véhicule compte tenu de l'évolution rapide des écosystèmes IoT /IoV externes au véhicule.

La question de l'intérêt d'intégrer une dimension dynamique à l'évaluation pour tenir compte du périmètre temporel de la fonction connectée se pose donc. On peut cependant opposer plusieurs limites à l'adoption d'une telle démarche :

Limites technologiques

- L'amélioration de la performance repose sur des ruptures technologiques non prédictibles
- D'après Shehabi, A. et al., les leviers d'optimisation ont des limites qui pourraient être atteintes à plus ou moins brève échéance au vu des progrès déjà réalisés (14)
- L'historique des TIC montre que l'amélioration de l'efficacité énergétique a toujours été absorbée par la croissance du besoin en puissance de calcul pour un service rendu similaire (obésiciel / bloatware)

Limites méthodologiques

- L'évaluation dynamique induit un degré d'incertitude élevé étant donné qu'il n'est pas possible de prédire avec précision l'évolution de la performance des équipements sur la durée de vie du véhicule
- L'évaluation dynamique rend la démarche beaucoup plus complexe, sans qu'il soit certain qu'elle permette d'orienter des choix de conception de façon plus pertinente qu'une évaluation basée sur les connaissances des impacts au moment de la conception

Compte tenu de ces limites, et au regard des objectifs définis dans le cadre de l'étude SODECO, il ne paraît pas pertinent d'intégrer ce facteur dynamique à l'approche de l'évaluation. Ce point pourra être abordé dans un second temps, après que les difficultés propres à l'évaluation sans facteur dynamique auront été levées.

2.3.3 Extension du périmètre aux aspects conséquentiels

Au-delà des impacts directs liés au cycle de vie des équipements permettant de réaliser la fonction connectée, il est aussi nécessaire de tenir compte des conséquences environnementales, sociales et économiques de cette fonction en intégrant les effets indirects dans le périmètre d'évaluation de la soutenabilité.

Ces effets peuvent se situer à plusieurs niveaux, selon qu'ils sont une conséquence plus ou moins directe de la fonction. Dans le cadre de l'évaluation environnementale par une approche ACV de type conséquentielle, différentes désignations de ces niveaux d'effets indirects (ou effets rebonds) sont utilisées comme l'illustre le Tableau 2, appliqué à l'exemple du GPS.

Les effets du 2ème ordre (selon la désignation de Hilty) sont les conséquences propres au service rendu par la fonction connectée, et doivent donc à ce titre être intégrés dans l'évaluation.
Les effets du 3ème ordre (systémiques ou structuraux) paraissent plus complexes à modéliser et à prendre en compte. Leur évaluation présente notamment un niveau d'incertitude élevé (7). Ils ne sont par ailleurs pas nécessairement la conséquence d'une seule fonction considérée de façon indépendante compte tenu de la possibilité d'effets combinés, et ne peuvent donc pas toujours être attribués exclusivement à la fonction connectée évaluée.

Tableau 2 - Taxonomie des effets sur l'énergie des TIC (15)

Taxonomy described in this paper			Alternate taxonomies			
Effect	**Scope**	**GPS System Example**	**Hilty**	**Berkhout & Hertin**	**Williams**	**Rattle**
Embodied energy	Direct	Energy to produce a GPS system	1st-order	Direct effects	ICT infrastructure and devices	
Operational energy		Energy to operate a GPS system				
Disposal energy		Energy to dispose of a GPS system at end-of-life				
Efficiency	Indirect: Single-service	More efficient traffic flow due to GPS-enhanced routing	2nd-order	Indirect effects	Applications	Optimization
Substitution		Replacement of paper-based maps				Substitution
Direct rebound		More travel due to lower cost of traffic congestion	3rd-order	Structural & behavioral effects	Effects on economic growth and consumption patterns	Induction
Indirect rebound	Indirect: Complementary services	Energy consumed during time saved by more efficient travel				Supplementation
Economy-wide rebound (Structural change)	Indirect: Economy-wide	GPS enables autonomous vehicles and causes growth of intelligent transportation system manufacturing				Creation
Systemic Transformation	Indirect: Society-wide	Autonomous vehicles alter patterns in where people choose to live and work			Systemic effects on technology convergence & society	

Ainsi, dans le cadre des objectifs du projet SODECO, s'il parait nécessaire de prendre en compte les effets indirects des fonctions connectées, il ne semble pas pertinent à ce stade de complexifier la démarche en intégrant les effets systémiques à l'évaluation de la soutenabilité.

Le Tableau 3 présente une liste non exhaustive des conséquences directes qu'il convient de prendre en compte, et des conséquences systémiques qui seront exclus du périmètre d'évaluation, notamment établie à partir des études de Chen et al. (16) et de Taiebat et al. (7).

Tableau 3 - Identification des conséquences indirectes et structurelles dans le cas du véhicule connecté

ASPECT		EFFETS INDIRECTS (2ème ORDRE)	EFFETS STRUCTURELS (3ème ORDRE)
Environnemental	⊕	- Réduction de la consommation d'énergie par distance parcourue du véhicule par l'incidence sur le profil de vitesse (ex. régulation de trafic, pelotonnage…)	- Optimisation de l'usage des infrastructures - Intégration du véhicule dans l'infrastructure électrique (SmartGrid) - Réduction du nombre véhicules par habitant (autopartage…) - Changement modal - Gestion de la politique publique de transport - Réduction de masse véhicule induite par l'amélioration de la sécurité (suppression d'équipements)
	⊖	- Augmentation de la consommation d'énergie par distance parcourue du véhicule par la masse supplémentaire des équipements et par l'effet sur le coefficient de trainée	- Adaptation des infrastructures (routes, bâtiments…)

ASPECT		EFFETS INDIRECTS (2ème ORDRE)	EFFETS STRUCTURELS (3ème ORDRE)
Social	⊕	- Baisse de l'accidentologie	- Réduction du stress / Amélioration du confort pour le conducteur et les passagers - Réduction du temps de trajet - Développement technologique
	⊖	- Utilisation de données personnelles	- Transformation sectorielle - Impact sur l'emploi (réduction, déplacement d'un secteur vers un autre)
Economique	⊕	- Nouvelle chaine de valeur - Chiffre d'affaire lié aux nouvelles offres de service	
	⊖	- Augmentation du coût d'achat du véhicule - Coûts supplémentaires d'utilisation (abonnement…)	- Modification du modèle économique du secteur automobile (réduction de la propriété individuelle du véhicule)

2.4 Multifonctionnalité et allocation des impacts

En limitant aux effets indirects (2ème ordre) l'extension du périmètre d'évaluation, et en ne prenant pas en compte les effets systémiques, les impacts liés aux aspects conséquentiels d'une fonction connectée seront attribuables à une seule et même fonction. On pourra donc allouer 100% de ces impacts à la fonction évaluée. Par exemple, si la fonction agit sur la régulation de la vitesse du véhicule, et permet des économies de carburant par une éco-conduite automatisée, la réduction des impacts liés aux gains d'énergie consommée seront entièrement attribués à cette fonction.

En revanche, la problématique de l'allocation des impacts directs, relatifs au cycle de vie des équipements, se pose différemment étant donné que ceux-ci peuvent servir à de multiples fonctions, connectées ou non (Figure 12).

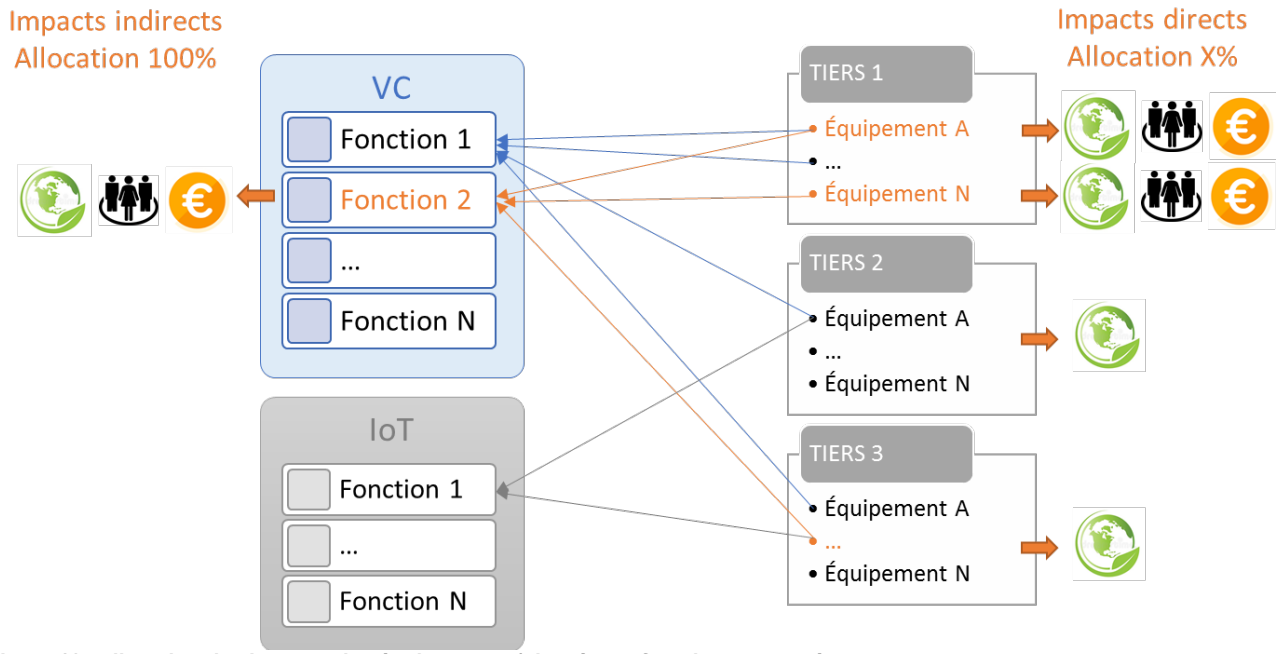

Figure 12 - allocation des impacts des équipements / tiers à une fonction connectée

L'attribution des impacts relatifs à ces équipements à une fonction donnée suppose donc la définition de règles d'allocation.

2.4.1 Allocation pour les équipements du Tiers 1

Pour les équipements du tiers 1 embarqués sur le véhicule, le nombre de fonctions utilisatrices est connue, ce qui peut permettre une répartition spécifique de l'impact des équipements par fonction.

Idéalement, le facteur d'allocation des impacts d'un équipement à une fonction connectée devrait être déterminé selon le paramètre qui conditionne le dimensionnement de l'équipement considéré. Il est cependant difficile de définir à priori, en l'absence d'une analyse de sensibilité, quel est le paramètre dimensionnant d'un équipement.
L'alternative est d'utiliser une caractéristique représentative de la performance de l'équipement comme facteur d'allocation. A défaut de pouvoir identifier une caractéristique pour l'équipement complet, on peut cibler les composants critiques qui influencent la performance et qui représentent un impact significatif. Le Tableau 4 fourni des exemples de composants critiques et de caractéristiques dimensionnantes, en partie basés sur les recommandations de l'ITU (17).

Tableau 4 - composants critiques et caractéristiques dimensionantes selon le type de fonction des équipements

FONCTION	COMPOSANT CRITIQUE	CARACTERISTIQUE
Acquisition de données	Capteurs	Selon type de capteur
Stockage de données	Mémoire vive Mémoire morte Mémoire de masse	Volume de données (Byte - octet)
Traitement de données	CPU	Nombre d'opérations par seconde (FLOPS)
Transmission de données		Débit des données (bits/s)
Alimentation électrique	Câble	Ampérage
	Convertisseur AC/DC – DC/DC	Puissance

Cependant, chaque équipement combine potentiellement plusieurs composants critiques pour assurer sa fonction. Il devient alors complexe de sélectionner une caractéristique représentative de la fonction comme facteur d'allocation. Par ailleurs, même si une caractéristique précise peut être identifiée afin de répartir les impacts de l'équipement (par exemple débit pour un équipement de transmission), il sera souvent difficile de déterminer de façon simple la part attribuable spécifiquement à la fonction évaluée. Dans ce cas, il convient de réaliser une allocation des impacts d'un équipement en divisant ceux-ci par le nombre de fonctions utilisatrices de l'équipement. Cette solution a l'inconvénient de ne pas allouer les impacts de façon proportionnelle au niveau d'utilisation de l'équipement par la fonction, mais permet une approche simplifiée de l'allocation.

2.4.2 Allocation pour les équipements et systèmes des tiers 2 et tiers 3

Les équipements des tiers 2 et 3 sont utilisés non seulement par des fonctions connectées du véhicule, mais aussi potentiellement par d'autres objets et services connectés (Figure 12).
Compte tenu par ailleurs de l'évaluation par une approche globale des systèmes des tiers 2 et 3, l'allocation des impacts à la fonction ne peut se faire qu'en proportion d'un paramètre de sollicitation du système par la fonction évaluée.

Le taux d'utilisation du système par la fonction relativement à la capacité globale de celui-ci ne peut être établi. Par exemple, l'utilisation de bande passante ou de puissance de calcul peut s'évaluer au niveau d'un équipement individuel et à un instant t, mais n'a pas de sens au niveau d'un réseau ou d'un système complexe, et ne permet pas de rendre compte d'un taux d'utilisation dans la durée.
Aussi, le volume de donnée (Bytes) transitant et/ou stocké sur les systèmes sollicités est le paramètre d'allocation attribuable à la fonction connectée qui est à la fois le plus facile à déterminer, et qui permet de caractériser de façon représentative le taux d'utilisation des tiers 2 et 3 par la fonction. C'est donc ce paramètre qui sera privilégié comme facteur d'allocation des impacts des réseaux, serveurs et datacenters à la fonction connectée considérée.

2.5 Unité fonctionnelle

L'évaluation des impacts sur le cycle de vie de la fonction connectée doit être établie pour une unité fonctionnelle prédéfinie afin de permettre, le cas échéant, la comparabilité des impacts entre plusieurs solutions évaluées.

Dans le cas de la fonction connectée d'un véhicule, l'unité fonctionnelle doit être définie par le service rendu par cette fonction, ramené à l'échelle d'un véhicule.
La durée d'usage de la fonction, qui doit également être définie dans l'unité fonctionnelle, peut être basée sur différents paramètres :

- Distance parcourue par le véhicule
- Durée en fonctionnement, c'est-à-dire quand la fonction et/ou le véhicule sont actifs
- Durée d'utilisation du véhicule, en incluant à la fois les périodes ou la fonction est active, et celles où elle est inactive (en se référant à un profil d'utilisation type du véhicule)

Selon la fonction considérée, certains paramètres peuvent se révélés plus pertinents que d'autres. Néanmoins, compte tenu du caractère le plus souvent discontinu de l'utilisation de la fonction, alors qu'elle s'appuie sur des éléments dont le fonctionnement est continu (réseau, datacenter), il parait plus approprié de s'appuyer sur la durée d'utilisation du véhicule.
PSA considère généralement une durée de vie typique de 18 ans pour les véhicules thermiques. Pour les technologies électriques, la même hypothèse peut être considérée dans un premier temps, le recul ne permettant pas à ce jour de déterminer si la technologie modifiera globalement la durée d'utilisation du véhicule.

Si le contexte de l'analyse de la fonction connectée nécessite la référence à une unité fonctionnelle, elle pourra donc être définie selon le principe suivant :

« Assurer la fonction F pour un véhicule pendant 18 ans »

2.6 Evaluation environnementale

2.6.1 Cadre méthodologique

Dans la plupart des études, l'évaluation de l'impact environnemental des TIC, ainsi que des véhicules, est réalisé suivant les principes de l'ACV environnementale. L'utilisation de cette méthode permet de s'appuyer sur des outils et des bases de données régulièrement enrichies de nouvelles informations (ex projet NEGAOCTET).
L'ACV-E parait donc la méthode la plus indiquée pour identifier au mieux les points critiques sur l'ensemble du cycle de vie des équipements concernés.

2.6.2 Enjeux environnementaux du véhicule connecté

Afin de sélectionner des indicateurs pertinents, ceux-ci doivent permettre de caractériser les enjeux environnementaux les plus critiques pour le véhicule connecté.
Pour les véhicules, notamment dans le cas de moteurs thermiques, les enjeux suivants ont été identifiés à partir de la littérature (18) et des échanges avec Stellantis:

- Changement climatique
- Epuisement des ressources (fossiles, minérales)
- Consommation d'énergie
- Santé humaine (Pollution, émissions…)
- Incidence sur les milieux (acidification, eutrophisation, biodiversité…)
- Gestion des déchets (production, VHU)

Pour les équipements numériques, nous nous baserons sur les principaux enjeux environnementaux identifiés par THE SHIFT PROJECT (3):

- Changement climatique
- Consommation d'énergie
- Consommation de métaux rares
- Consommation d'eau

2.6.3 Indicateurs environnementaux

Pour l'ensemble des enjeux identifiés, les indicateurs et les méthodes de caractérisation associées issus de l'ACV environnementale et pouvant potentiellement caractériser ces enjeux ont été évalués (cf. annexe 2) sur le base de critères adaptés de la matrice ADEME (référentiel BP X30-323).

Cette évaluation a notamment été réalisée en tenant compte des considérations suivantes :

- Afin de faciliter l'exploitation des indicateurs issus d'autres sources telles que la base de données NEGAOCTET ou les futures déclarations issues de la loi AGEC, il est nécessaire de privilégier pour SODECO la sélection d'indicateurs et des méthodes de caractérisation retenus dans ces référentiels
- Pour la robustesse, l'évaluation des méthodes de caractérisation de l'ILCD a été prise en compte

La liste des indicateurs et méthodes retenus est présentée dans le Tableau 5.

Tableau 5 - liste des indicateurs environnementaux sélectionnés

indicateurs	unité	méthode
Climate change	kg CO2 eq	IPCC 2013 GWP 100a
Ionising radiation	kBq U-235 eq	Human health effect model as developed by Dreicer et al. 1995 (Frischknecht et al, 2000)
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	LOTOS-EUROS (Van Zelm et al, 2008) as applied in ReCiPe 2008
Particulate matter	disease inc.	PM method recommended by UNEP (UNEP 2016)
Resource use, fossils	MJ	CML Guinée et al. (2002) and van Oers et al. (2002)
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	CML Guinée et al. (2002) and van Oers et al. (2002)

Tous les indicateurs et méthodes sélectionnés sont référencés par le référentiel d'évaluation « Environmental Footprint 3.0 » de la commission européenne établi pour les déclarations de type PEF / OEF.

2.6.4 Accessibilité aux données pour l'évaluation environnementale

Afin d'identifier les potentielles difficultés d'accès aux données pour l'évaluation environnementale, une analyse des sources exploitables pour chacun des périmètres d'étude a été réalisée. Le Tableau 6 présente les sources de données utilisables pour l'évaluation environnementale, ainsi qu'une estimation de l'accessibilité à ces données.

Tableau 6 - sources de données pour l'évaluation environnementale

PERIMETRE			DONNEES SPECIFIQUES		DONNEES GENERIQUES		
			source	accessibilité 1-constructeur 2-fournisseurs rang 1 3-autres	source	disponibilité 1-disponible 2-disponible à moyen terme 3-indisponible	accessibilité 1-accès libre 2-licence
effets directs	**IoV**	**Tiers 1**	Nomenclature / achats	2	Negaoctet / GaBi / EcoInvent	2	2
		Tiers 2	Operateurs Public / privés infrastructures	3	Negaoctet / GaBi / EcoInvent	2	2
		Tiers 3	MOA datacenter	2	Negaoctet / GaBi / EcoInvent	2	2
	IoT	**Tiers 1**	Fabricants de terminaux	3	Negaoctet / GaBi / EcoInvent	2	2
		Tiers 2	FAI	3	Bibliographie	1	1
					publication FAI (loi AGEC art 13)	2	1
		Tiers 3	FAI	3	Bibliographie	2	2
effets indirects			connaissance interne	1	Bibliographie	1	1

On voit ici que seuls les éléments du tiers 2 pour le périmètre IoV ne peuvent pas faire l'objet d'une collecte de données spécifiques. Il ne sera par conséquent pas possible d'établir un impact représentatif pour cette partie de l'écosystème IoV. On ne pourra ainsi s'appuyer que sur une approximation basée sur des évaluations relatives au tiers 2 de l'écosystème IoT avec, dans le futur, la possibilité d'utiliser les données publiées par les fournisseurs d'accès dans le cadre de la loi AGEC.

Malgré les nombreuses sources disponibles en appui des études ACV, on observe que lorsqu'on se place du point de vue du concepteur de la fonction connectée, c'est-à-dire le constructeur du véhicule, certaines difficultés d'accès aux données peuvent se poser pour les domaines du périmètre d'étude qui ne sont pas directement maitrisés par celui-ci.

2.7 Evaluation sociale

2.7.1 Cadre méthodologique

Le but est de pouvoir évaluer les effets sociaux significatifs chez les acteurs les plus impactés dans le périmètre du système étudié, en rendant compte à la fois des effets sociaux négatifs et positifs de la fonction connectée.
Plusieurs approches ont été développées pour l'évaluation sociale de système de produit / service. A défaut de consensus scientifique sur la démarche à suivre, le guide UNEP (19) effectue la synthèse des approches établies de l'ACV sociale et propose des lignes directrices pour réaliser une évaluation sociale d'un système de produit ou d'une organisation.
Ce guide distingue 2 types d'approches de l'ACV-sociale : le type I (Reference Scale Approach) répondant à un objectif d'évaluation des effets immédiats des activités, et le type II (Impact Pathway Approach) qui vise davantage à évaluer les conséquences long terme.
Compte tenu des limites identifiées au §2.3.2 et §2.3.3 liées à l'extension du périmètre aux aspects systémiques et temporels, l'approche de type I parait plus adaptée au périmètre défini pour SODECO. Cette approche étant par ailleurs plus mature, elle sera retenue pour la sélection des indicateurs et des méthodes d'évaluation.

2.7.2 Enjeux sociaux du véhicule connecté

Dans le contexte du projet SODECO, les indicateurs doivent être sélectionnés de façon à rendre compte des impacts sociaux spécifiquement induits par la fonction connectée et les équipements nécessaires à son opérabilité. Le but n'est donc pas de cibler les enjeux sociaux partagés par l'ensemble du secteur automobile, mais ceux influencés directement par la fonction connectée.
Comme expliqué au §2.3.3, afin de pouvoir évaluer l'ensemble des impacts sociaux, il est nécessaire de s'intéresser à la fois aux effets directs liés au cycle de vie des équipements numériques nécessaires pour la fonction connectée, mais aussi aux effets indirects découlant de l'utilisation de la fonction.

A ce titre, plusieurs enjeux sociaux ont été identifiés.

Effets directs : Cycle de vie des équipements numériques
La fonction connectée touche à divers enjeux liés à la chaine de valeur des équipements numériques, notamment en ce qui concerne les impacts sur les populations locales de l'extraction des ressources minérales ainsi que la chaine d'approvisionnement des métaux critiques mis en œuvre dans ces produits. Au-delà de l'extraction des ressources, la chaine de valeur inclue la production des composants électroniques, la fabrication des sous-ensembles (cartes, modules…) et l'assemblage des équipements numériques. Cette chaine est principalement localisée dans des pays offrant un niveau limité de protection des travailleurs, ce qui présente également un enjeu social significatif, comme le met en évidence la démarche entreprise par Fairphone pour établir une chaine d'approvisionnement plus équitable, et tenant compte des impacts sociaux sur les travailleurs.
Par ailleurs, le traitement fin de vie des équipements numériques peut présenter un enjeu social spécifique dès lors qu'il sort des filières réglementées en vigueur, notamment dans les pays européens.

Effets indirects : Santé et sécurité de l'utilisateur
Les accidents génèrent 1,25 million de morts et jusqu'à 50 millions de blessés dans le monde chaque année dont 90 % sont imputables à des erreurs humaines. Certaines fonctions connectées peuvent contribuer à réduire le nombre et la gravité des accidents par des solutions de sécurité active, par exemple en détectant un ralentissement en amont du véhicule, ou l'arrivée d'un autre véhicule à une intersection avec une faible visibilité. Ces accidents représentent également un enjeu financier pour la société dans son ensemble, du fait des frais de santé engendrés par la prise en charge des victimes,

estimés à 38,3 milliards d'euros pour l'État français en 2016 (20). Certaines fonctions d'assistance à la conduite peuvent par ailleurs réduire le stress et de la fatigue pour le conducteur.

Effets indirects : Respect de la vie privée de l'utilisateur
La collecte et l'exploitation massive de données contenant des informations de géolocalisation ou de comportement de l'utilisateur présente un enjeu vis-à-vis de la propriété et de la confidentialité des données stockées, ou encore de l'information de l'utilisateur sur l'exploitation des données. La sécurisation de ces données représente également un enjeu important compte tenu de la potentielle vulnérabilité du véhicule connecté comme le soulignent Maanak Gupta et Ravi Sandhu (21)

2.7.3 Indicateurs sociaux

Une liste des parties prenantes et des sous-catégorie jugées pertinentes vis-à-vis des enjeux sociaux de la fonction connectée a dans un premier temps été sélectionnée à partir de la liste proposée par le guide UNEP (cf. annexe 3) et de résultats d'ACV-sociale sur un ordinateur portable (22).

Ensuite, afin de sélectionner des indicateurs pertinents pour chacune des sous-catégories identifiée, les fiches méthodologiques UNEP (23) ont été exploitées, en évaluant d'une part si les indicateurs proposés étaient non-redondants avec les indicateurs des aspects environnementaux ou économiques, et d'autre part la pertinence de l'indicateur dans le contexte du véhicule connecté.

De nombreuses fonctions connectées appliquées au véhicule sont développées dans un objectif d'amélioration de la sécurité des passagers, en visant à prévenir les accidents par une assistance à la conduite, intégrant ainsi les systèmes de sécurité active du véhicule. Les indicateurs identifiés par le guide UNEP pour la sécurité du client / utilisateur sont établis pour un contexte générique, et ne sont par conséquent pas pertinents pour rendre compte de l'incidence de la fonction connectée sur la sécurité du véhicule.
Pour compléter les indicateurs UNEP, un indicateur spécifique a donc été développé pour la catégorie « santé et sécurité » du client. Celui-ci est basé sur le bénéfice de sécurité que peut avoir la fonction connectée sur la santé et la sécurité de l'utilisateur en agissant sur la baisse de l'accidentologie.

Par ailleurs, l'indicateur pour évaluer la catégorie « respect de la vie privée » du client a également fait l'objet d'une recherche spécifique afin de l'adapter au mieux au contexte étudié.

Les sous-catégories et les indicateurs présentés dans le Tableau 7 ont ainsi été retenus.

Tableau 7 - parties prenantes, sous-catégories d'impact et indicateur sociaux

Parties prenantes	Sous-catégories	Indicateur	Unité	Méthode	Source
employé	Bénéfices sociaux / sécurité sociale	Dépense de sécurité sociale	% of GDP	Social expenditure per country	PSILCA
communautés locales	accès aux ressources matérielles	Extraction de ressources matérielles	t/cap	Extraction de minerais	PSILCA
utilisateur	vie privée	Conformité du système de management à la réglementation sur le respect de la vie privée	Niveau de conformité	Conformité liste de contrôle RGPD	Développement spécifique
utilisateur	Santé et sécurité	Bénéfice de sécurité	% réduction	Potentiel de réduction du nombre d'accidents	Développement spécifique

Ces indicateurs ont été définis et discutés dans le cadre du groupe de travail SODECO dont l'expertise se focalise davantage sur l'évaluation environnementale. Ainsi, les choix ont été orientés en fonction des outils identifiés et des connaissances des acteurs du projet. Comme précisé dans les limites et perspectives de cette étude, un travail complémentaire sur le choix des indicateurs et méthodes par des personnes qualifiées dans ce domaine serait donc souhaitable
.

2.7.3.1 *Développement de l'indicateur sur l'accidentologie*

Afin d'évaluer l'incidence de la fonction connectée sur l'accidentologie, un indicateur a été développé à partir de la formule suivante proposée par Alvarez (24), qui permet d'évaluer les bénéfices de sécurité potentiels apportés par les innovations des véhicules autonomes.

$$SB = TP \times SE$$

Avec

SB	*Safety Benefit*	*bénéfice de sécurité obtenu par l'innovation*
TP	*Addressable crash population*	*Population cible, concernée par ces innovations dans les accidents (ce paramètre a un impact sur le nombre et le type d'accidents concernés par les innovations)*
SE	*Effectiveness of vehicle system*	*efficacité du système autonome en terme de réduction du risque d'accident*

Pour établir l'efficacité de la fonction connectée, il faut prendre en compte le taux de véhicules équipés avec celle-ci circulant dans le parc pour l'année considérée, ainsi que la capacité de la fonction à effectivement prévenir un accident survenant dans les circonstances pour lesquelles la fonction a été conçue.

Par ailleurs, on peut considérer que parmi les accidents prévenus, une partie sera totalement évitée, et une autre partie verra sa gravité réduite par l'action préventive de la fonction. Cette répartition (Figure 13) est donc prise en compte dans le calcul de l'indicateur pour les catégories d'usagers considérés.

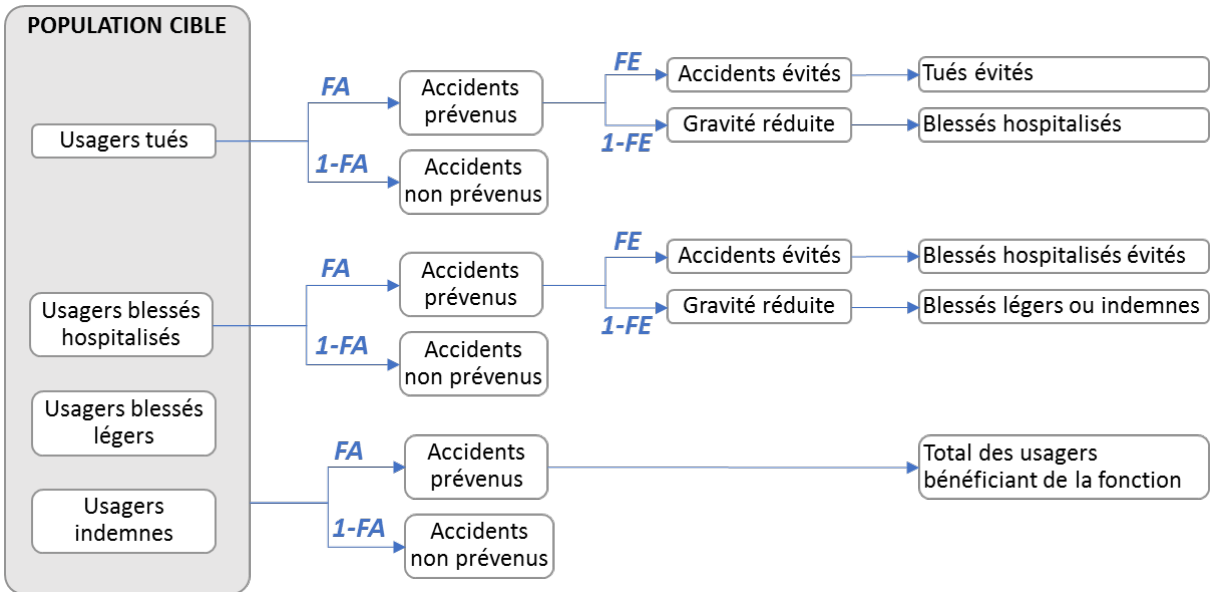

Figure 13 - efficacité de la fonction sur les usagers de la population cible

A partir de la formule d'Alvarez, et de travaux internes de l'ENSAM sur le développement d'indicateurs permettant de caractériser l'apport de fonctions intelligentes du véhicule sur la sécurité, les 3 sous-indicateurs suivants ont ainsi été établis afin de quantifier l'apport de la fonction connectée pour différents groupes d'usagers victimes d'accident:

$$BS_{tués} = A_{tués} \times FA \times TP \times FE$$

$$BS_{\,blessés\ hospitalisés} = A_{blessés\ hospitalisés} \times FA \times TP \times FE - A_{usagers\ tués} \times FA \times TP \times (1 - FE)$$

$$BS_{\,usagers\ total} = A_{usagers\ total} \times FA \times TP$$

Avec

BS	*Bénéfice de Sécurité*	*Taux d'usagers victimes d'accident évité par la fonction relativement au total d'usagers concernés dans la zone géographique et pour l'année considérée*
A	*Population d'accidents cible*	*Part des accidents survenus dans des circonstances évitables par la fonction*
FA	*Facteur de prévention des Accidents*	*% d'accidents pour lesquels la fonction va prévenir l'accident (relativement au nombre total d'accidents de la population cible), soit en l'évitant, soit en réduisant sa gravité*
TP	*Taux de pénétration*	*% du parc automobile roulant équipé avec la fonction pour l'année considérée*
FE	*Facteur d'évitement*	*% d'accidents évités relativement au nombre d'accidents prévenus*

Dans le contexte français, la détermination de la population cible peut être réalisée à partir du fichier national des accidents corporels de la circulation (fichier BAAC) géré par l'Observatoire national interministériel de la sécurité routière (ONISR) (25). La base de données des accidents corporels issue de ces fichiers contient l'intégralité des accidents survenus par année sur le territoire français. Elle donne des informations répertoriées suivant quatre fichiers (Tableau 8).

Tableau 8 - fichiers de la base de données des accidents corporels

Fichiers	Définition
Caractéristiques	Circonstances générales de l'accident: date, luminosité, localisation géographique, conditions atmosphériques, type de collision
Lieux	Le lieu principal de l'accident même si celui-ci s'est déroulé à une intersection: type de route, nombre de voies, nature des voies, état de la surface…
Véhicules	Type et nombre de véhicules impliqués: catégorie du véhicule, obstacle, point de choc, manœuvre…
Usagers	Types et nombre d'usagers impliqués: type d'usager, gravité de l'accident, motif du trajet…

On peut ainsi identifier pour une fonction connectée donnée, les circonstances (lieux, caractéristiques), et le type de véhicule pour lesquelles la fonction sera potentiellement opérante, et extraire de la base la population cible correspondante.

2.7.3.2 Développement de l'indicateur « respect de la vie privée »

Afin d'évaluer la capacité du système de management des données de l'opérateur de la fonction connectée à prévenir les atteintes à la vie privée, une recherche bibliographique a été réalisée.

Dans un premier temps, l'indicateur "Ranking Digital Rights Corporate Accountability Index" (26) développé par le think tank New America a été identifié. Cet indicateur étant basé sur 3 sous-index (Gouvernance, Liberté d'expression, Vie privée), le sous-index vie privée aurait plus particulièrement être repris pour évaluer le service numérique considéré.
Cependant, la méthodologie de cet index a été développée pour une évaluation par un acteur externe à l'entreprise concevant le service connecté, et cible originellement les entreprises de type GAFAM fournissant des services digitaux. Le questionnaire servant de base à l'évaluation ne semble donc pas adapté pour le contexte d'une évaluation intra entreprise, et pour un projet qui s'inscrit en premier lieu dans le cadre réglementaire français et européen qui impose un niveau d'exigence avancé en matière de protection des données personnelles.

Dans un deuxième temps, un indicateur a donc été proposé sur la forme d'une liste de contrôle afin d'évaluer la conformité aux principes établis par le Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD).
L'indicateur proposé est basé sur une évaluation qualitative de la satisfaction aux exigences de la RGPD pour chaque item de la liste de contrôle. En fonction des réponses obtenues, 3 niveaux de conformité du système de gestion des données peuvent être atteints (Tableau 9). La liste de contrôle utilisée pour

cette évaluation est celle mise à disposition par l'Union Européenne sur son site dédié à la directive RGPD (27).

Tableau 9 - niveaux de conformité à la RGPD

Niveau	Conditions
exigences partiellement satisfaites	un ou plusieurs items de la liste de sont pas satisfaits un ou plusieurs items de la liste sont partiellement satisfaits un ou plusieurs items de la liste ne peuvent pas être répondu par défaut de justification
exigences totalement satisfaites	100% des items de la liste sont satisfaits ou non applicable pour la fonction considérée
exigences dépassées	100% des items de la liste sont satisfaits ou non applicable pour la fonction considérée Sur certains items, le système de management des données permet une protection des données au-delà des exigences réglementaires

2.7.4 Echelle d'évaluation des indicateurs sociaux

Selon le principe retenu d'après le guide UNEP, chaque indicateur peut être évalué selon une échelle qui permettra d'identifier les points critiques, ou les phases à risque dans le cycle de vie des équipements et de la fonction connectée.

Pour les indicateurs issus de la base PSILCA, les différents niveaux de cette échelle sont définis en accord avec les préconisations du guide UNEP. On peut ainsi calculer ces indicateurs pour chacune des phases de vie des équipements du véhicule, et utiliser l'échelle pour interpréter le résultat et identifier si certains éléments présentent un niveau de risque critique.

Tableau 10 - échelles d'évaluation des indicateurs sociaux

NIVEAU	Descriptif UNEP	Descriptif PSILCA	Dépenses sociales par pays	Extraction de minerais	Conformité liste de contrôle RGPD	Bénéfice de sécurité
			% of GDP	t/cap	Niveau de conformité	% de réduction
2	Performance idéale. Meilleures pratiques connues dans la catégorie	risque très faible	20 < y	0 ≤ y < 5	exigences dépassées	10% ≤ y
1	Dépasse la conformité	risque faible	15 < y ≤ 20	5 ≤ y < 10		0% ≤ y < 10%
0	Conformité aux lois locales et internationales et/ou attentes sociétales basiques	risque intermédiaire	7,5 < y ≤ 15	10 ≤ y < 15	exigences totalement satisfaites	0%
-1	Légèrement en dessous du niveau de conformité	risque élevé	2,5 < y ≤ 7,5	15 ≤ y < 20		
-2	Nettement en dessous du niveau de conformité	risque très élevé	2,5 > y	20 ≤ y	exigences partiellement satisfaites	

Pour les deux indicateurs spécifiquement décrits dans le cadre du projet SODECO, une échelle est également proposée dans l'hypothèse ou une synthèse des indicateurs sociaux serait envisagée.
Ces propositions de positionnement n'ayant cependant pas fait l'objet d'une analyse approfondie, il conviendrait de consolider la définition des échelles pour ces deux indicateurs dans le cadre d'une étude spécifique.
Ces indicateurs peuvent donc être exploités dans un premier temps en considérant leur résultat brut, sans chercher à les positionner vis-à-vis de l'échelle UNEP.

2.7.5 Accessibilité aux données pour l'évaluation sociale

Afin d'identifier les potentielles difficultés d'accès aux données pour l'évaluation sociale, une analyse des sources exploitables pour chacun des périmètres d'étude a été réalisée.

Le Tableau 11 présente les sources de données utilisables pour l'évaluation sociale, ainsi qu'une estimation de l'accessibilité à ces données.

Tableau 11 - sources de données pour l'évaluation sociale

PERIMETRE			DONNEES SPECIFIQUES		DONNEES GENERIQUES		
			source	accessibilité	source	disponibilité	accessibilité
				1-constructeur 2-fournisseurs rang 1 3-autres		1-disponible 2-disponible à moyen terme 3-indisponible	1-accès libre 2-licence
effets directs	IoV	Tiers 1	Nomenclature / achats	2	SHDB / PSILCA	2	2
		Tiers 2	Operateurs Public / privés infrastructures	3	Pas de source identifiée	3	
		Tiers 3	MOA datacenter	2		3	
	IoT	Tiers 1	Fabricants de terminaux	3	Pas de source identifiée	3	
		Tiers 2	FAI	3		3	
		Tiers 3	FAI	3		3	
effets indirects			Connaissance interne	1	Bibliographie	1	1

On voit ici que seuls les éléments du tiers 1 pour le périmètre IoV peuvent faire l'objet d'une réelle évaluation. Ce sont en effet les seuls équipements dont la chaine de valeur est potentiellement connue et accessible par le concepteur de la fonction.
Pour les tiers 2 et 3 ainsi que le périmètre IoT, il n'a en revanche pas été possible d'identifier des sources génériques sur lesquelles s'appuyer comme pour l'évaluation environnementale. Ceci constitue une limite au regard des objectifs de SODECO qui visait à embrasser l'ensemble des impacts de la fonction connectée sur la soutenabilité. Il sera donc nécessaire de tenir compte de cette restriction lors de l'exploitation des résultats.

2.8 Evaluation économique

2.8.1 Approche méthodologique

Comme pour les aspects environnementaux et sociaux, l'évaluation des aspects économiques doit porter sur l'ensemble du cycle de vie de la fonction connectée et des équipements.

L'analyse du coût du cycle de vie est généralement utilisée pour intégrer des critères économiques à l'évaluation de la soutenabilité d'un système de produit. Dans le cadre du projet SODECO, l'objectif initial est de se focaliser plus particulièrement sur les retombées économiques de la fonction connectée étudiée.

Comme pour les aspects sociaux plusieurs parties prenantes sont concernées par les aspects économiques du système produit /service numérique évalué. Le choix des indicateurs économiques va donc dépendre de quel point de vue on se positionne.
Pour le fabricant et/ou l'opérateur du service connecté, on cherchera avant tout à mesurer les retombées économiques que peut apporter ce service.
Pour le propriétaire et l'utilisateur du véhicule, la fonction connectée représentera des coûts supplémentaires directs, mais peut aussi engendrer indirectement des économies de fonctionnement, par exemple en permettant une maintenance prédictive, ou en limitant la consommation d'énergie par une assistance à la conduite. Il est donc nécessaire de pouvoir mettre en perspective les coûts perçus par le client, propriétaire ou utilisateur du véhicule, et d'analyser si le différentiel de coût perçu est acceptable vis-à-vis des potentiels bénéfices environnementaux et sociaux.

La perspective peut également changer en fonction du modèle économique adopté pour la propriété du véhicule : achat ou leasing avec offre d'achat (LOA). Le mode d'acquisition en LOA tend en effet à

devenir le modèle économique prédominant, notamment du fait de l'augmentation du coût initial du véhicule.

Ainsi le choix des indicateurs économiques devra être adapté au contexte de vente du véhicule connecté et de la perspective des parties prenantes.

2.8.2 Sélection des indicateurs économiques

Le Tableau 12 récapitule l'ensemble des indicateurs économiques identifiés par phase du cycle de vie et en fonction des différentes parties prenantes qui peuvent être concernées par la fonction connectée. Dans ce tableau, les indicateurs de coût doivent s'entendre comme spécifiquement relatifs à la fonction connectée. C'est-à-dire que seul l'écart de coût entre un véhicule sans et avec la fonction connectée doit être pris en compte.

Une évaluation de ces indicateurs a été opérée en fonction des critères suivants (cf. annexe 4) :

- Pertinence de la partie prenante
- Pertinence de l'indicateur
- Prédictibilité de l'indicateur, c'est-à-dire dans quelle mesure l'évaluation de cet indicateur est-elle réalisable de façon représentative et fiable au moment de la conception de la fonction, et de l'orientation des choix de solutions techniques et du modèle économique

Tableau 12 - indicateurs économiques de la fonction connectée

<table>
<tr><th rowspan="2">Partie prenante</th><th rowspan="2">MATIERES PREMIERES</th><th rowspan="2">FABRICATION</th><th rowspan="2">DISTRIBUTION / VENTE</th><th colspan="3">UTILISATION</th><th rowspan="2">FIN DE VIE</th></tr>
<tr><th>opération</th><th>maintenance</th><th>réparation</th></tr>
<tr><td>Fabricant du véhicule</td><td colspan="2">Coût de production
Durée / Taux de RsI
(Retour sur investissement)</td><td>Part de marché
Marge nette</td><td></td><td colspan="2">Marge de vente sur les pièces de rechange</td><td>Eco contribution filière REP</td></tr>
<tr><td>Exploitant du service</td><td></td><td>Coût de développement</td><td>Chiffre d'affaires</td><td>Marge d'exploitation</td><td>Coût de maintenance</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">Client, Propriétaire, Utilisateur</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td>Coût d'acquisition</td><td>Coût d'opération (carburant / abonnement…)</td><td>Coût d'entretien</td><td>Coût de réparation</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="4">Coût total de possession</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Société</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">TVA véhicule</td><td>TVA abonnement carburant</td><td colspan="2">TVA pièces et main d'œuvre</td><td rowspan="2">Coût de traitement</td></tr>
<tr><td colspan="3">Frais de santé</td></tr>
<tr><td colspan="7">Cotisations sociales</td></tr>
</table>

A partir de cette évaluation, une sélection d'indicateurs préférentiels est proposée (Tableau 13). Certains indicateurs seront potentiellement privilégiés en fonction du modèle économique de vente du véhicule et du service connecté.

Tableau 13 - indicateurs économiques recommandés

partie prenante	indicateur	modèle économique de vente
fabricant	Marge nette	Achat
exploitant	CA service numérique	Achat / LOA
propriétaire	Coût d'acquisition	Achat
utilisateur	Coût d'opération	Achat / LOA

Les méthodes de calcul de ces indicateurs n'ont cependant pas été précisées comme pour les indicateurs environnementaux et sociaux. Les indicateurs économiques font en effet partie des éléments de pilotage usuels de toute entreprise développant des produits ou services. Aussi, on peut supposer que des outils internes sont disponibles pour ces calculs, et qu'ils devront être exploités en priorité afin de rester cohérent avec les choix économiques du projet de développement de la fonction connectée. Ceci permet par ailleurs de limiter l'effort d'évaluation, sans alourdir la démarche par des indicateurs supplémentaires.

2.9 Evaluation de la soutenabilité

La finalité de la démarche étant d'évaluer la soutenabilité de la fonction connectée, plusieurs approches peuvent être envisagées afin d'analyser si le compromis entre les trois domaines environnemental, social et économique, a été trouvé.

2.9.1 Score unique

A partir de l'évaluation des trois aspects de la soutenabilité sur leurs indicateurs respectifs, on peut envisager de traduire les résultats en un score unique, en introduisant une agrégation des indicateurs par une normalisation et une pondération entre les différents domaines.

On peut ainsi ensuite orienter les décisions par une analyse multi-critères (MCDA) permettant de synthétiser les indicateurs évalués.

E. Ekener (28) recense différentes méthodes de type MCDA qui ont été développées dans le domaine des évaluations environnementales :

- Multi-Attribute Value Theory (MAVT)
- Multi Attribute Utility Theory (MAUT)
- Analytical Hierarchy Process (AHP)
- Elimination and Choice Expressing the Reality (ELECTRE)
- Preference ranking Organization method for Enrichment of Evaluations (PROMETHEE)
- Dominance based Rough Set Approach (DRSA)

La méthode MAVT est considérée comme la plus appropriée pour l'évaluation de la soutenabilité par E. Ekener. Celle-ci suppose des étapes intermédiaires de normalisation et pondération des indicateurs. L'intérêt de cette démarche est qu'elle produit un résultat global facile à appréhender, et permettant de comparer la soutenabilité de plusieurs solutions. La définition des facteurs de pondération permet par ailleurs d'éviter une priorisation plus implicite et subjective qui peut se produire si un arbitrage entre les différents domaines est laissé à l'appréciation de l'évaluateur.

Cependant, l'utilisation d'indicateurs agrégés ne parait pas pertinente dans un objectif d'identification des leviers d'écoconception. Il est d'autre part difficile d'établir une pondération entre les 3 dimensions de la soutenabilité, or comme le démontre l'étude d' E. Ekener (Figure 14), le choix des facteurs de pondération peut modifier le positionnement relatif des solutions évaluées. Par ailleurs d'autres études établissent qu'il n'est pas pertinent d'introduire un facteur de pondération entre les trois dimensions de la soutenabilité (29).

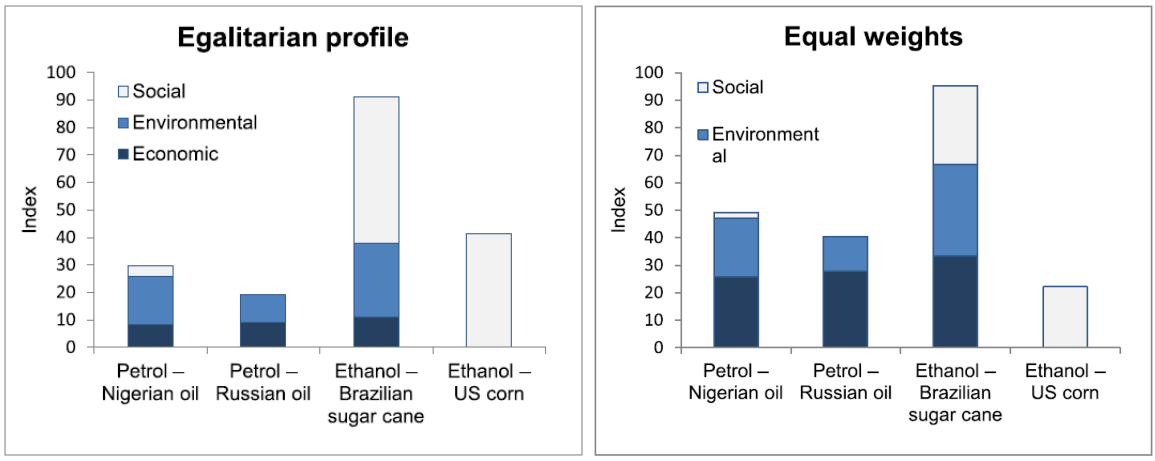

Figure 14 – résultats de LCSA de carburants (28) avec et sans pondération entre les 3 aspects de la soutenabilité

Le développement d'une approche méthodologique permettant d'agréger les résultats en un score unique n'est par conséquent pas privilégié pour l'étude SODECO.

2.9.2 Approche centrée coûts

Une autre approche consiste à traduire les impacts dans le domaine économique par le principe de monétarisation des impacts. Cette démarche a été développée afin de transposer les externalités environnementales du produit dans une analyse de coût du cycle de vie. Cependant, si la monétarisation est applicable à certains indicateurs environnementaux, elle peut présenter des difficultés pour d'autres, notamment dans le domaine social. Il parait en effet complexe de donner de manière objective une valeur économique à des critères sociaux.

Bien qu'ayant l'avantage de transposer l'évaluation de la soutenabilité dans le domaine le plus parlant pour l'entreprise, cette approche centrée coût ne parait donc pas pouvoir répondre aux objectifs du projet SODECO.

2.9.3 Approche décomposée

L'approche la plus complète et la plus neutre consiste à évaluer chacun des trois aspects de la soutenabilité de façon indépendante.

Cette démarche peut permettre de répondre à différents objectifs selon le contexte :

- Evaluation mono-concept : une seule solution est évaluée pour la réalisation de la fonction connectée. Dans ce cas, la démarche permet avant tout d'identifier les points critiques sur les plans environnemental et social afin de dégager des axes d'amélioration pour la conception de la fonction.
- Evaluation multi-concepts : plusieurs scénarios sont étudiés, en faisant varier l'architecture du système produit/service, ou simplement certains paramètres influents. Dans cette situation, il est possible de comparer la variation relative de chacun des indicateurs entre les scenarios, et d'orienter un choix de conception en fonction du meilleur compromis, c'est-à-dire celui offrant un meilleur score sur le plus grand nombre d'indicateurs.

Cette approche peut être complétée en évaluant la valeur sociale et environnementale vis-à-vis du coût économique. On peut ainsi estimer si le surcoût d'une solution offrant un bénéfice social et environnemental est valorisable auprès du client en analysant le consentement à payer et la valeur perçue par celui-ci d'une fonction connectée.
Ce type d'approche implique de faire appel à des outils relevant d'avantage du domaine du marketing, par exemple par une enquête auprès de clients telle que celle réalisée par Tarne et al. (30), montrant que 19% du panel étudié consentirait à un surcoût de 1.3–1.7% pour un véhicule intégrant une meilleure soutenabilité.

L'approche décomposée semble donc la plus pertinente au regard des objectifs de SODECO.

3 Application de la méthodologie à un cas d'étude

3.1 Description de la fonction connectée étudiée

Pour l'application à un cas d'étude, une des fonctionnalités explorées dans le cadre du projet CONCORDA (Connected Corridor for Driving Automation) a été utilisée. Ce projet européen vise à valider les conditions de mise en œuvre de fonctions telles que la conduite automatisée sur autoroute, le pelotonnage pour les camions, ou encore l'évitement de collisions automatisé.

Pour SODECO, le dispositif d'essai mis en œuvre par PSA pour tester la fonction d'évitement de collisions automatisé a servi de référence d'étude. Cette fonction vise à prévenir les accidents par les actions suivantes :

- Freinage électronique d'urgence – situation dangereuse
- Avertissement de véhicule à l'arrêt

Ce dispositif permet une communication V2V et V2I selon le schéma présenté sur la Figure 15. Afin de répondre aux objectifs de l'essai, plusieurs types de signal (IF_G5 et IF_PC5) sont testés pour certains

canaux de communication. Cependant, la solution série d'une telle fonction se limitera à un seul type de signal par canal. On ne tient donc pas compte de la redondance des signaux pour l'évaluation.

Les données sont échangées sous la forme de deux types de messages normés dont les caractéristiques ont été établies à partir des études de Lopez et al. (31) et du CAR to CAR communication consortium (32):

Message CAM (Cooperative Awareness Message)

- Message émis de façon périodique fournissant des informations aux autres véhicules
- Fréquence d'émission : 1-10 Hz
- Taille typique du message : 175-350 Bytes

Message DENM (Decentralized Environmental Notification Message)

- Fréquence d'émission : ponctuelle, liée à la détection d'un événement
- Taille typique du message : typique de 320 Bytes

On note donc une variabilité potentiellement importante des caractéristiques de ces messages, dont la taille peut aller de 150 à 900 Bytes.

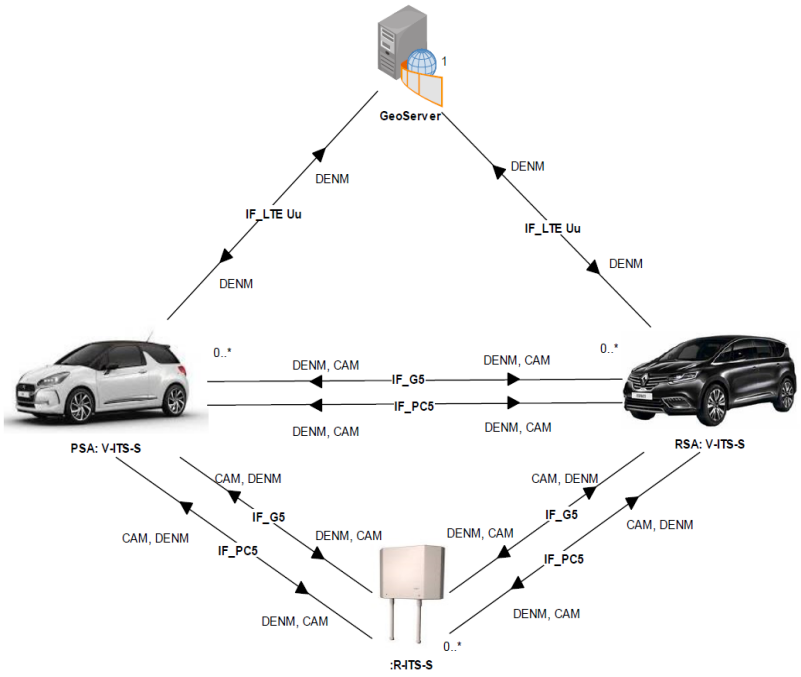

Figure 15 - schéma de communication de la fonction étudiée

Au niveau du véhicule, les équipements embarqués nécessaires à l'exécution de la fonction sont présentés sur la Figure 16.

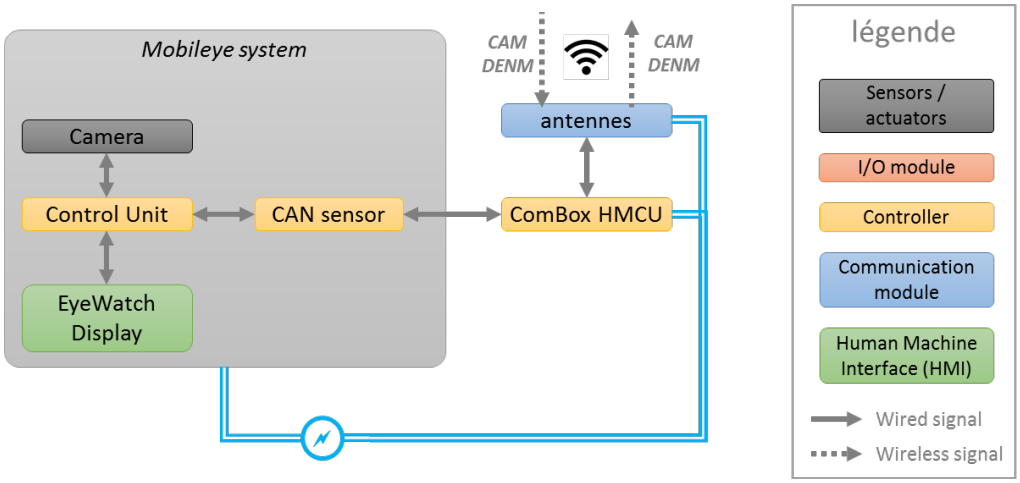

Figure 16 - schéma fonctionnel équipements véhicule (tiers 1 IoV)

Ce schéma représente le dispositif utilisé en ne retenant que les équipements qui seraient spécifiquement dédiés à la fonction connectée considérée dans une configuration de véhicule série. Le dispositif d'essai inclus en effet certains équipements supplémentaires pour assurer l'interface avec le système CAN de la voiture, ou pour le test des différents protocoles de communication.

3.2 Inventaire des données d'évaluation

3.2.1 Disponibilité des données

La fonction évaluée étant au stade de pré-développement, son opérabilité a été testée par un prototype constitué d'équipements du commerce. L'application de la méthode au cas d'étude repose donc sur les équipements utilisés pour ce prototype. En l'absence de relation directe avec les fournisseurs d'équipements, il n'a pas été possible d'accéder à l'ensemble des informations nécessaires au calcul des indicateurs retenus.
Les informations suivantes n'ont notamment pas pu être collectées :

- Consommation d'énergie réelle en fonctionnement
- Volume de données échangées
- Nomenclature détaillée (composition des équipements, caractéristiques des composants critiques
- Chaine de valeur (lieux de production, origine des matières premières)
- Informations économiques sur le prix des composants, la valorisation commerciale de la fonction

Pour cette même raison, il n'est pas possible de tenir compte des étapes de transports ou de distribution des équipements.

Tableau 14 - disponibilité des données prises en compte dans le périmètre d'étude

aspect	indicateurs	EFFETS DIRECTS (PERIMETRE PHYSIQUE)							EFFETS INDIRECTS
		TIERS 1			TIERS 2			TIERS 3	
		MP+F	U	FdV	MP+F	U	FdV		
ENVIRONNEMENTAL	**Climate change**	OUI	OUI	OUI	NON	OUI	NON	—	OUI
	Ionising radiation	OUI	OUI	OUI	NON	OUI	NON	—	OUI
	Photochemical ozone formation	OUI	OUI	OUI	NON	OUI	NON	—	OUI
	Particulate matter	OUI	OUI	OUI	NON	OUI	NON	—	OUI
	Acidification	OUI	OUI	OUI	NON	OUI	NON	—	OUI
	Resource use, fossils	OUI	OUI	OUI	NON	OUI	NON	—	OUI
	Resource use, minerals and metals	OUI	OUI	OUI	NON	OUI	NON	—	OUI
SOCIAL	**Dépense de sécurité sociale**	NON	—	NON	NON	—	NON	—	—
	Extraction de ressources matérielles	NON	—	NON	NON	—	NON	—	—
	Conformité du système de management à la réglementation sur le respect de la vie privée	—	—	—	—	—	—	—	OUI
	Bénéfice de sécurité	—	—	—	—	—	—	—	OUI
ECONOMIQUE	**Marge nette**	NON							
	CA service numérique	NON							
	Coût d'acquisition	NON							
	Coût d'opération	NON							

Aussi, tout le périmètre d'étude décrit précédemment n'a pas pu être intégré à l'évaluation (Tableau 14), et certains indicateurs n'ont pas pu être évalués. Les données économiques n'étant notamment pas disponibles, l'évaluation a été limitée aux indicateurs environnementaux, ainsi qu'aux indicateurs sociaux portant sur l'utilisateur « bénéfice de sécurité » et « conformité RGPD », les indicateurs portant sur la chaine de valeur n'étant pas évaluables.

3.2.2 Données environnementales

Les éléments collectés pour les équipements du tiers 1 sont issus de la documentation technique disponible complétés par des informations issues de recherche bibliographique et d'hypothèses établies

pour l'étude. La base EcoInvent 3.6 a été utilisée pour les données d'ICV génériques. Les données exploitées sont présentées en annexe 5.

En utilisation, les équipements sont actifs quand le moteur est en fonctionnement (véhicule en mouvement ou à l'arrêt), et ne consomment pas d'énergie lorsque le moteur est à l'arrêt. Il n'y a donc pas de consommation en veille considérée.
En l'absence de données sur le profil de consommation des équipements, ou le volume de données par fonction utilisatrice, une allocation simplifiée, selon le nombre de fonctions utilisatrices par équipement a été considérée.

L'énergie consommée en phase d'utilisation pour le tiers 1 a été établie en prenant en compte d'une part l'énergie consommée directement par les équipements pour leur fonctionnement (sur la base de la puissance nominale indiquée dans la documentation), et d'autre part l'énergie consommée indirectement pour le déplacement de la masse supplémentaire engendrée par ces équipements.

Pour la phase d'utilisation, 3 scénarios ont été considérés en fonction de la motorisation du véhicule afin d'évaluer l'incidence sur les indicateurs environnementaux.

Tableau 15 - scénario d'utilisation véhicule

description	abr.	donnée utilisée	unité	Véhicule diesel	Véhicule essence	Véhicule électrique
durée de vie typique du véhicule	DVT	PSA	an	18	18	18
distance annuelle	d	PSA	km	15000	9000	9000
durée d'utilisation du véhicule	t_ut	PSA (5% du temps en fonctionnement)	h	7884	7884	7884

Le détail des calculs pour les trois scénarios est présenté en annexe 6.

L'énergie consommée en phase d'utilisation pour les tiers 2 et 3 est calculée sur la base du volume de données échangées transitant sur le réseau ITS. Seuls les données relatives aux messages CAM ont été prises en compte. En effet, les messages DENM étant envoyés de façon ponctuelle, le volume de données DENM échangé a été considéré comme négligeable relativement aux données CAM.
Le volume de données échangées pour la fonction a ainsi été estimé à 5.52GB/an (cf. annexe 6).

3.3 Evaluation des indicateurs

3.3.1 Analyse des indicateurs environnementaux

Le calcul des indicateurs environnementaux a été réalisé sur SimaPro, avec la méthode de caractérisation EF 3.0 adaptée de *l'Environmental Footprint initiative* européenne qui correspond aux méthodes de caractérisation retenues.

Les résultats montrent une répartition des impacts différente entre les motorisations électrique d'une part (Figure 17) et les motorisations thermiques d'autre part (Figure 18 & Figure 19). Les valeurs des indicateurs correspondant à ces profils d'impact sont présentées en annexe 7.

L'analyse de la répartition entre les phases de vie et les différentes composantes du système étudié permet d'apporter plusieurs observations quant à l'origine des contributions aux impacts.

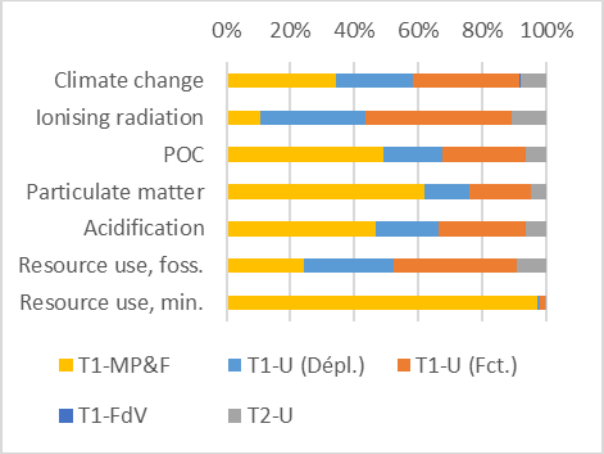

Figure 17 - répartition des impacts environnementaux de la FC sur un véhicule électrique

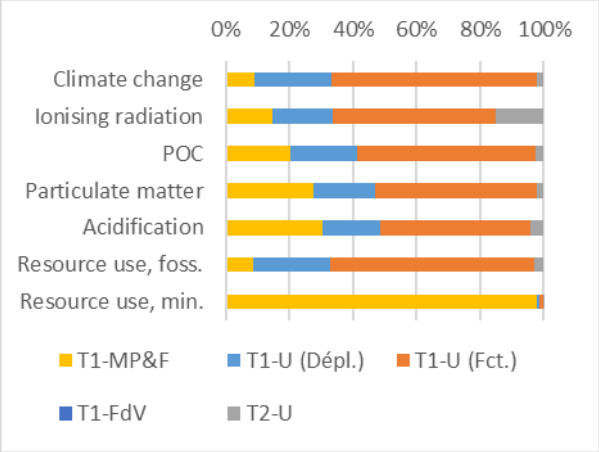

Figure 18 - répartition des impacts environnementaux de la FC sur un véhicule essence

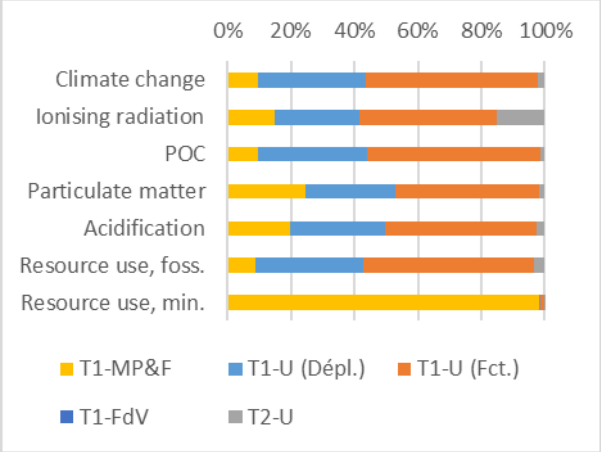

Figure 19 - répartition des impacts environnementaux de la FC sur un véhicule diesel

Phase d'extraction des matières premières et de fabrication (MP&F)

Pour les équipements du tiers 1, on voit que cette phase représente l'essentiel de l'indicateur « Resource use, min ». Le principal contributeur à cet indicateur provient des cartes électroniques, modélisées par un ICV générique de la base EcoInvent, et de certains éléments entrant dans leur composition (or…). Cette analyse, bien que relativement macro compte tenu des données disponibles, montre la nécessité de pouvoir modéliser de façon plus précise les composants électroniques des équipements pour une meilleure représentativité des évaluations, et l'enjeu qu'il y a à maitriser la composition des équipements numériques pour limiter l'impact sur la consommation de ressources minérales.

De façon générale, la phase MP&F a une contribution relativement plus élevée aux impacts pour l'ensemble des indicateurs dans le cas d'une motorisation électrique que pour les motorisations thermiques du fait des impacts moins élevés de la phase d'utilisation pour l'électrique.

Phase d'utilisation (U)

La contribution de cette phase est largement prépondérante pour la plupart des indicateurs, excepté sur la consommation de ressources minérales.

Sa part plus élevée sur les motorisations thermiques s'explique à la fois par un rendement énergétique de la station à l'équipement nettement inférieur pour cette technologie, ce qui amplifie l'impact dû à la consommation d'énergie des équipements, ainsi que par la combustion des carburants fossiles engendrant des émissions dans l'air plus élevées que l'énergie provenant du mix électrique utilisé (mix Européen).

L'énergie de fonctionnement des équipements du tiers 1 (T1-U (Fct)) est le principal contributeur de la phase d'usage, suivi par l'énergie requise pour le déplacement de ces équipements (T1-U (dépl.)).

La contribution aux impacts de l'énergie consommée par le réseau pour la transmission des données (T2-U), bien que plus nette pour la motorisation électrique pour les raisons citées précédemment, reste globalement moins importante que celle du tiers 1. Il faut souligner ici que cette contribution est directement indexée sur le volume de données estimé, et que celui-ci est relativement limité pour la fonction évaluée.

Phase fin de vie (FdV)
On observe quel traitement fin de vie des équipements du tiers 1 a une contribution mineure sur l'ensemble des catégories d'impacts.

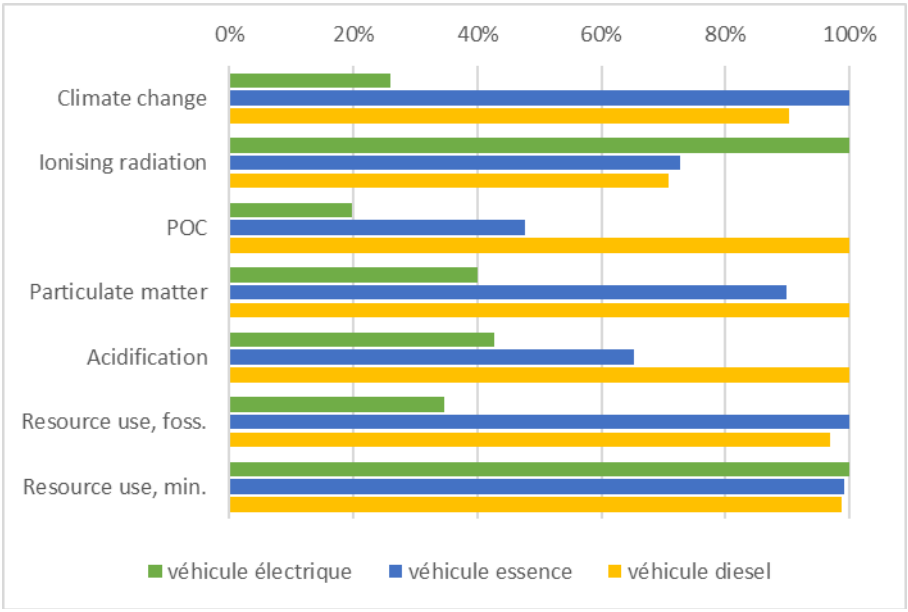

Figure 20 - comparaison des impacts de la fonction connectée évaluée par motorisation véhicule

En complément, la comparaison entre les résultats obtenus pour les trois types de motorisation analysées (Figure 20) montre que l'incidence la fonction connectée sur les impacts environnementaux est très nettement tributaire de la technologie du véhicule dans lequel elle est installée.

3.3.2 Analyse des indicateurs sociaux

3.3.2.1 Indicateur « bénéfice de sécurité »

Dans le cas de la fonction étudiée, la population cible a été calculée à partir du fichier BAAC de l'ONISR pour l'année 2019. La zone géographique de référence pour ce calcul est donc la France.

Les caractéristiques suivantes, inventoriées dans le fichier, ont été retenues pour sélectionner les accidents évitables par la fonction :

- Catégorie du véhicule : au moins un véhicule léger impliqué dans l'accident
- Type de collision : impliquant au moins 2 véhicules
- Etat de surface de la chaussée : tous
- Conditions atmosphériques : toutes
- Conditions de visibilité : toutes
- Catégories de route : toutes

La population cible déterminée pour les différents groupes d'usagers impliqués dans un accident en fonction de la gravité est présentée dans le Tableau 16.

Tableau 16 - population cible pour l'indicateur "bénéfice de sécurité"

POPULATION	ACCIDENTS	USAGERS		
	Nb	Nb tués	Nb blessés hosp	Nb total
Cible	31156	1323	9973	84 924
Totale	58840	3498	20858	141 869
Part cible vs totale (A)	53%	38%	48%	60%

Le taux de pénétration (TP) de la fonction dans le parc roulant a été établi selon l'observation établie par l'institut Montaigne de la dynamique de diffusion d'une innovation dans le parc automobile (Figure 21). En moyenne,19 ans sont nécessaires pour que la moitié des véhicules soient équipés, et 37 ans pour atteindre un taux d'équipement de 80 % (33).

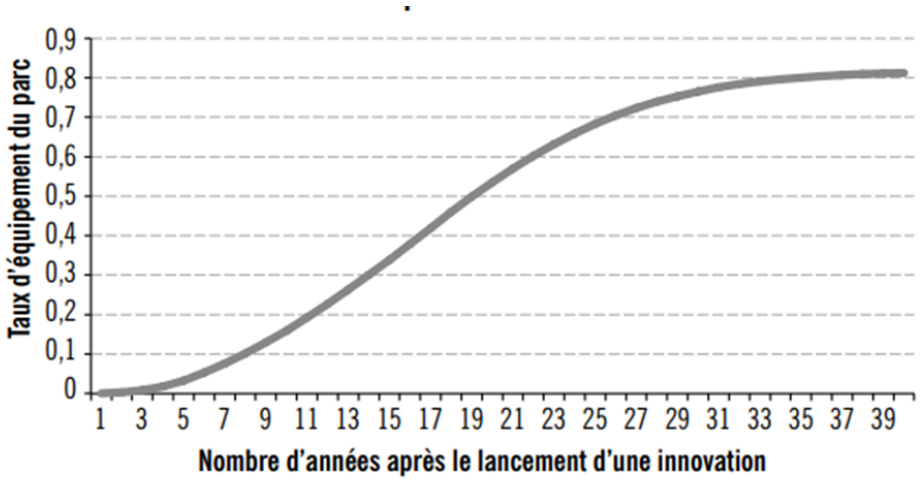

Figure 21 - dynamique de diffusion d'une innovation dans le parc automobile

Par ailleurs, pour calculer l'indicateur selon les formules présentées au §2.7.3.1, les hypothèses suivantes ont été prises sur les termes restants :

- Facteur de prévention des Accidents : FA = 80%,
- Facteur d'évitement : FE = 70%

Les résultats de la Figure 22 montrent la projection obtenue des indicateurs « Bénéfice de sécurité » en appliquant les formules au scénario considéré.

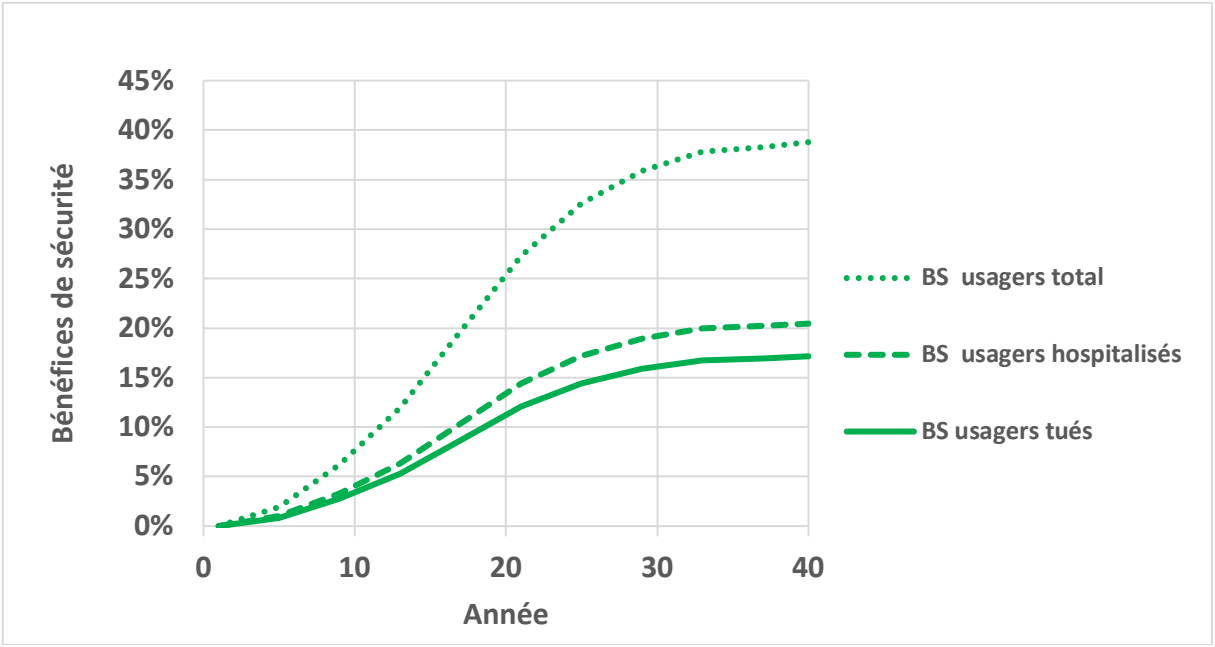

Figure 22 - indicateurs "bénéfice de sécurité"

Cette projection, bien que basée sur des hypothèses qui devront être consolidées dans un contexte plus avancé de développement de la fonction, montre qu'il est indispensable de réaliser le calcul de cet indicateur sur le long terme pour évaluer l'apport de la fonction sur la santé et la sécurité de l'utilisateur en tenant compte du temps d'arrivée à maturité de la technologie dans le parc roulant.

3.3.2.2 Indicateur « conformité à la RGPD »

La liste de contrôle identifiée a été soumise à la personne en charge du développement de la fonction. Il est cependant vite apparu que dans une entreprise telle que PSA, avec des personnes dont le rôle est de veiller au respect de la réglementation, l'ensemble des items de la liste seraient satisfaits. Aussi, l'indicateur proposé ne permet pas véritablement de déterminer si la fonction connectée évaluée présente un risque spécifique d'atteinte à la vie privée, ni de mesurer le niveau de ce risque. La méthode retenue pour l'évaluation du respect de la vie privée relatif à la gestion des données n'a donc pas donné satisfaction.
Les échanges quant à l'utilisation de cette liste de contrôle ont cependant fait apparaitre qu'il pouvait y avoir des différences d'appréciation des termes de la RGPD et des choix opérationnels différents selon les sociétés en fonction de l'évaluation des risques juridiques encourus.
Un travail spécifique sur cet indicateur est donc nécessaire pour établir une méthode qui serait plus pertinente, mais celui-ci requiert l'implication de spécialistes de la gestion des données numériques et du cadre juridique associé, compétences qui ne font pas partie du domaine d'expertise des personnes impliquées sur le projet SODECO.

4 Bilan et recommandations

4.1 Identification des leviers d'écoconception

Le cas d'étude utilisé n'a permis qu'une modélisation macro du système étudié. Sur la base des évaluations d'impacts environnementaux réalisées, on peut néanmoins relever certaines observations qui pourront nourrir la réflexion lors de la conception de fonctions connectées afin de s'orienter vers des choix de conception moins impactants.

Un travail sur l'architecture électronique, afin d'opter pour des composants dont l'impact sur l'extraction des ressources minérales sera réduit, est un axe de travail dont les choix pourront être opérés avec plus de pertinence en exploitant les futures données de la base NEGAOCTET.

La réduction des impacts de la phase d'utilisation de la fonction passe par l'optimisation de la consommation d'énergie des équipements embarqués sur le véhicule, dont les impacts peuvent se trouver décuplés par le rendement énergétique de la station à l'équipement, notamment dans le cas des motorisations thermiques.
Une amélioration substantielle peut également être obtenue en maitrisant la masse des équipements embarqués, même si dans le cas étudié cette contribution a probablement été surestimée.

L'impact des tiers 2 et 3 sur la phase d'utilisation est apparu comme relativement limité sur le cas étudié. Selon la fonction connectée, ils pourraient cependant avoir une contribution beaucoup plus significative. Aussi, en adoptant le principe de comptabilisation des impacts proportionnellement au volume de données transitant sur les tiers 2 et 3, la contribution de ce périmètre aux impacts pourrait s'avérer prépondérant dans la perspective de la progression du véhicule connecté vers le véhicule autonome, et en fonction des équipements utilisés (Tableau 17). Certaines études anticipent en effet un volume très supérieur à l'estimation réalisée pour le cas d'application étudié. L'INRIA estime par exemple qu'un véhicule autonome pourrait générer jusqu'à 1GB/s de données, des estimations (34) pouvant aller de 380TB à 5100TB/an de données générées par les équipements selon les capteurs utilisés.
Comparativement aux 5.52GB/an estimés sur le cas d'application, si tout ou une partie de ces données générées doivent être transmises et traitées par le réseau et les datacenters, on comprend que leur contribution aux impacts peut devenir bien supérieure à celle du tiers 1.

Tableau 17 - volume de données générées par les capteurs du véhicule connecté (34)

Type de capteur	Quantité par véhicule	Données par capteur
RADAR	4-6	0.1 -15 Mbit/s
LIDAR	1-5	20 -100 Mbit/s
CAMERA	6-12	500 -3500 Mbit/s
ULTRASONIC	8-16	<0.01 Mbit/s
VEHICLE MOTION, GNSS, IMU		<0.1 Mbit/s

Dans le contexte de la fonction étudiée, les choix de conception doivent donc viser à maitriser le volume de données en agissant sur la taille des messages et leur fréquence (pour les messages CAM). Plus généralement, il est impératif d'orienter autant que possible les choix de capteurs et d'architecture électronique vers des solutions limitant la génération de données, notamment en évitant une sur-qualité du système (niveau de résolution…) assurant la fonction.
Dans cette perspective, Pereira et al. (35) ont démontré l'influence du langage de programmation utilisé sur le volume de données généré, et l'énergie consommée pour l'exécution d'un programme remplissant une même fonction.

4.2 Limites de l'étude

La réflexion menée dans le cadre du projet SODECO a permis de sélectionner les indicateurs et les méthodes de calcul associées cohérents et pertinents vis-à-vis des enjeux représentatifs de la soutenabilité d'un service numérique exploitant des données dans le contexte du véhicule connecté.
Les approches retenues se heurtent cependant à plusieurs limites dans la perspective de réaliser une évaluation complète de la soutenabilité.

La principale réside dans l'accès limité aux données nécessaires aux calculs des différents indicateurs. C'est notoirement le cas pour les équipements des tiers 2 et 3 qui ne font pas partie du périmètre de maitrise du constructeur.
Corollaire de ce constat, l'effort requis pour collecter les données dans un cas d'étude complet peut s'avérer très important, et peut de ce fait limiter l'exploitabilité de la méthode. En l'absence d'accès à des données issues de mesures pour la consommation d'énergie, on voit par ailleurs que l'allocation des impacts ne peut être réalisée que sur la base du nombre de fonctions utilisatrices, ce qui peut représenter un biais important dans le cas d'un équipement utilisé par plusieurs fonctions de façon non proportionnelle.
Le cas d'étude utilisé étant à un stade de pré-développement, ce qui en soit est intéressant du point de vue des choix encore opérables pour une solution plus soutenable, a mis en évidence les limites en terme d'accès aux données, notamment relatives aux aspects économiques et à la chaine d'approvisionnement. Il est donc nécessaire d'appliquer la méthode dans un contexte de projet interne constructeur pour réaliser une collecte de données complète et pouvoir établir l'ensemble des indicateurs retenus.

Concernant les aspects sociaux, la démarche utilisée a permis de sélectionner des indicateurs parmi la littérature existante sur le sujet. Le choix et l'exploitation de ces indicateurs ne font cependant pas preuve de la même maturité que les indicateurs environnementaux utilisés en ACV environnementale. Par ailleurs, l'analyse du champ social par l'ACV requiert une expérience spécifique qui ne fait pas partie de l'expertise du groupe réunit autour du projet SODECO. Il serait donc utile de consolider les choix proposés dans cette étude par le support de personnes disposant de cette expertise.
D'autre part, sur l'indicateur plus spécifiquement étudié pour évaluer l'aspect « respect de la vie privée » de l'utilisateur, on a pu là aussi constater la difficulté à établir une méthodologie adaptée au contexte de l'étude en l'absence de connaissances et d'une maitrise approfondies sur ce sujet.

4.3 Perspectives

L'approche d'évaluation de la soutenabilité développée dans le cadre du projet SODECO permet d'envisager différentes perspectives pour poursuivre les travaux réalisés.

Afin d'établir une vision complète de la soutenabilité, avec la possibilité d'évaluer l'ensemble des indicateurs, l'application de la démarche sur un cas d'étude avec une maturité plus avancée permettrait de fournir d'avantage d'informations, en passant par exemple par une analyse de sensibilité aux paramètres clés (taille des messages…). Ceci serait notamment rendu possible par une modélisation plus complète se basant sur un accès étendu aux données environnementales, sociales et économiques.

L'évaluation de l'impact des réseaux de l'écosystème IoV (infrastructure ITS) ne peut être prise en compte que via un proxy avec les réseaux de communication de l'écosystème IoT (réseau 4G…) pour lesquelles des données sont disponibles dans la littérature, ou le seront suite à la mise en application de la loi AGEC. Mais rien ne permet d'établir la représentativité de ce proxy. Il serait donc nécessaire de réaliser une évaluation de l'impact des équipements d'infrastructure du système IoV qui ne sera pas couverte par les publications des FAI dans le cadre de la loi AGEC.
Concernant le périmètre temporel de l'évaluation des impacts environnementaux, une étude visant à mieux comprendre l'incidence de l'évolution technologique des tiers 2 et 3 relativement à la durée de vie typique du véhicule serait également intéressante pour établir si la prise en compte de cet aspect dynamique est de nature à orienter les choix d'écoconception de façon plus pertinente.

Sur les aspects sociaux, l'approche retenue demande à être consolidée en la confrontant à un cas d'étude pour lequel les données seront accessibles, et en impliquant des acteurs disposant d'une expertise avancée sur ce domaine.
Développer une échelle pertinente pour l'indicateur « accidentologie ». Réflexion sur l'indicateur « respect vie privée » à mener avec des acteurs ayant une expertise sur la RGPD et les risques non couverts par celle-ci.

Afin de faciliter la comparaison de la soutenabilité de différentes solutions considérées, il pourrait aussi être utile de développer une approche permettant de mettre en perspective les indicateurs sociaux et environnementaux d'une part et les indicateurs économiques d'autre part. Celle-ci peut notamment se baser sur la valeur perçue ou le consentement à payer une fonction conçue suivant des critères sociaux et environnementaux par le client. A cette fin, le développement d'une méthode d'agrégation des indicateurs relatifs à chaque domaine pourrait constituer une étape préliminaire.

Il serait enfin intéressant d'étendre le périmètre de l'évaluation à la prise en compte des effets structurels dont les impacts environnementaux sont potentiellement plus élevés. Comme le recommandent Taiebat et al. (7), bien que l'amélioration de l'efficience des équipements doit être prise en compte afin de minimiser les effets directs liés au périmètre physique, une part essentielle des impacts est la conséquence du comportement de l'utilisateur et des modes de déplacement. Aussi, il faut investir plus d'effort pour comprendre les effets des technologies de connectivité des véhicules sur ces effets indirects. Dans cette perspective, l'élaboration d'une approche méthodologique générale applicable à tout type de fonction connectée parait difficilement réalisable. L'évaluation des effets structurels doit donc être envisager par une approche spécifique relativement à la typologie de fonction ou de technologie ciblée.

4.4 Synthèse de la méthodologie

Afin de faciliter la mise en œuvre de la démarche proposée, le synoptique de la Figure 23 reprend les différentes étapes et les points à considérer afin de prendre en compte tous les aspects dans l'évaluation de la soutenabilité d'une fonction connectée.

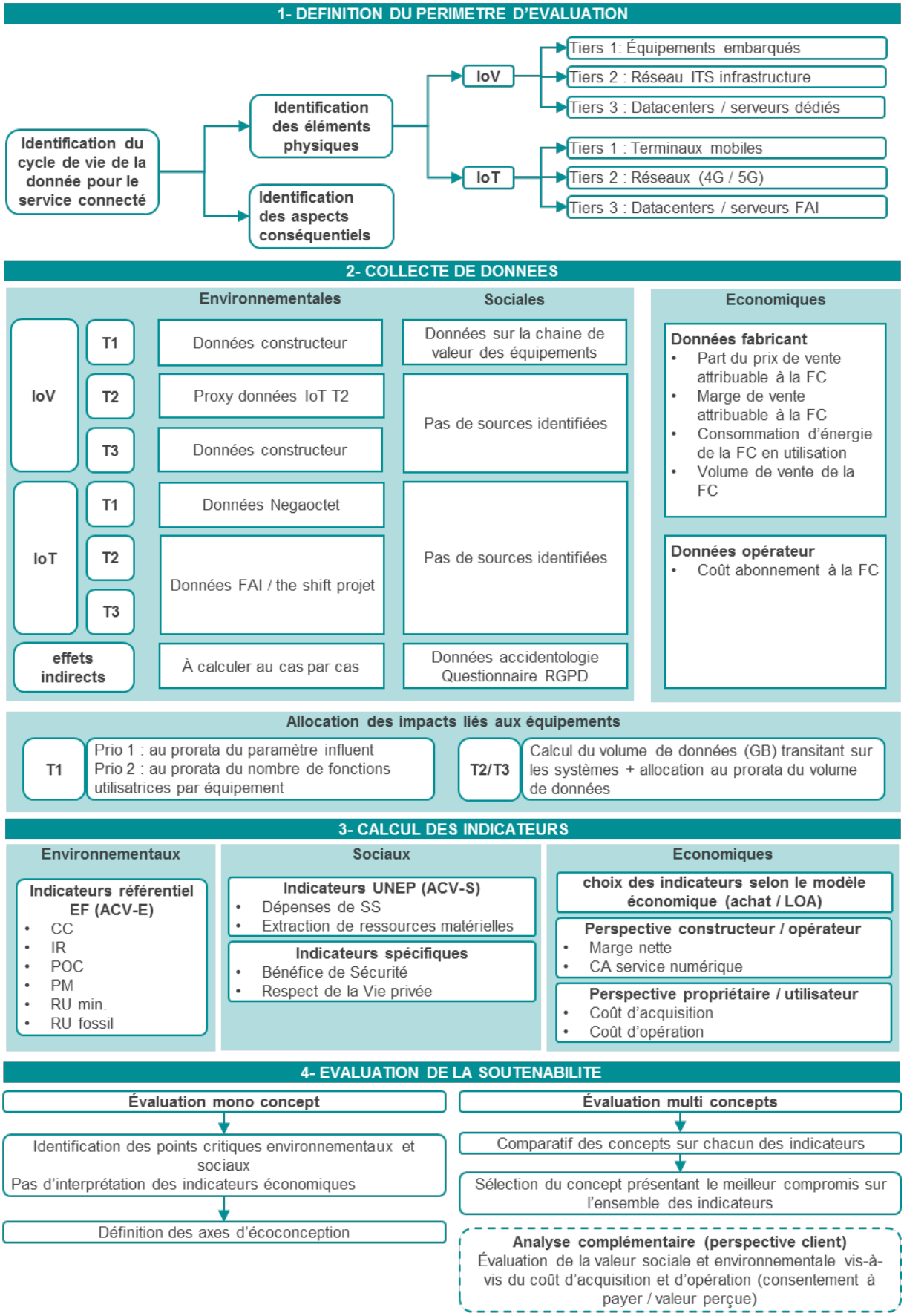

Figure 23 - synoptique général de la méthodologie d'évaluation de la soutenabilité du VC

Références bibliographiques

1. **Coppola, Riccardo et Morisio, Maurizio.** Connected Car: Technologies, Issues, Future Trends. . *ACM Comput. Surv. .* 2016, Vol. 49, 46:1–46:36.
2. **Statista.** Projection du nombre de voitures connectées en circulation en France de 2017 à 2022. *Statista.* [En ligne] https://fr.statista.com/statistiques/669112/projection-nombre-voitures-connectees-circulation-france/.
3. **THE SHIFT PROJECT.** *LEAN ICT - pour une sobriété numérique.* octobre 2018.
4. *The Negative Impact of Vehicular Intelligence on Energy Consumption.* **Liu, Zongwei, et al.** [éd.] Hindawi. 24 July 2019, Journal of Advanced Transportation, Vol. 2019, p. 11.
5. **U.S. Energy Information Administration (EIA).** *Study of the Potential Energy Consumption Impacts of Connected and Automated Vehicles.* March 2017.
6. **US department of energy.** Intelligent Transportation System Technologies. *Alternative Fuel Data Center.* [En ligne] https://afdc.energy.gov/conserve/intelligent_transportation.html.
7. **Taiebat, Morteza, et al.** A Review on Energy, Environmental, and Sustainability Implications of Connected and Automated Vehicles. *Environmental science & teechnology.* 2018, 52.
8. **CISCO .** Internet of thing world forum. [En ligne] 2014. https://www.altexsoft.com/blog/iot-architecture-layers-components/.
9. *Standards des ITS Coopératifs pour l'interopérabilité.* **Ernst, Thierry et Thierry, Emmanuel .** s.l. : Congrès ATEC ITS France, 28 janvier 2015.
10. *Understanding IoT systems : a life cycle approach.* **Fatmasari Rahman, Leila, Ozcelebi, Tanir et Lukkien, Johan.** 2018. the 8th international symposium on internet of ubiquitious and pervasive things.
11. **Wavestone.** Cycle de vie des objets connectés : quel impact sur la viabilité d'un projet IoT ? *Wavestone.* [En ligne] 13 02 2020. https://www.wavestone.com/fr/insight/cycle-de-vie-des-objets-connectes/.
12. **Yousefpour, Ashkan, et al.** All one needs to know about fog computing and related edge computing paradigms: A complete survey. *Journal of Systems Architecture.* 2019.
13. **Aslan, Joshua , et al.** Electricity Intensity of Internet Data transmission. *Journal of Industrial Ecology.* 2017, Vol. 22, 4.
14. **Shehabi, Arman , et al.** *United States Data Center Energy Usage Report.* s.l. : Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, June 2016. LBNL-1005775.
15. **C Horner, Shehabi et Azevedo.** Known unknowns: indirect energy effects of information and communication technology. 2016.
16. **Chen, Y., Ardila-Gomez, A., and Frame, G.** Achieving Energy Savings by Intelligent Transportation Systems Investments in the Context of Smart Cities. *Washington DC: World Bank.* 2016.
17. **ITU.** *Methodology for environmental life cycle assessments of information and communication technology goods, networks and services.* 2014. ITU-T L.1410.
18. **Renault.** *FLUENCE and FLUENCE Z.E. LIFE CYCLE ASSESSMENT.* octobre 2011.
19. **Life Cycle Initiative / UNEP.** *Guidelines for Social Life Cycle Assessment of products and organizations.* 2020.
20. **Vanberg.** Quel coût représente un accident de la route ? *Vanberg.* [En ligne] https://formation-securite-routiere.fr/guide-risques-routiers/reglementation-travail/cout-accident-route-entreprise#:~:text=On%20estime%20que%20les%20accidents,(1%2C1%20milliard)..
21. *Authorization Framework for Secure Cloud Assisted Connected Cars and Vehicular Internet of Things.* **Gupta, Maanak et Sandhu, Ravi .** s.l. : Proceedings of 23rd ACM Symposium on Access Control Models and Technologies, 2018.
22. **Ekener-Petersen, Elisabeth et Finnveden, Göran.** Potential hotspots identified by social LCA—part 1: a case study of a laptop computer. *international journal of life cycle assessment.* Springer, 2012, 18:127–143.
23. **Life Cycle Initiative / UNEP.** *The Methodological Sheets for Subcategories in Social Life Cycle Assessment (S-LCA).* 2013.

24. **S., Alvarez.** *Safety benefit assessment- vehicle trial safety and crash analysis of automated driving: a Systems Theoretic approach.* [éd.] PSL Research University. s.l. : Business administration, 2017. p. 269.
25. **Observatoire National Interministériel de la Sécurité Routière.** Description des bases de données annuelles des accidents corporels de la circulation routière- Années de 2005 à 2019. *data.gouv.fr.* [En ligne] 03 2021. https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/bases-de-donnees-annuelles-des-accidents-corporels-de-la-circulation-routiere-annees-de-2005-a-2019/.
26. **New America.** ranking digital rights. [En ligne] https://rankingdigitalrights.org/index2019/report/index-ranking/.
27. **Union Européenne.** GDPR.EU. [En ligne] https://gdpr.eu/checklist/.
28. **Ekener, Elisabeth, et al.** Developing LCSA methodology by applying values-based sustainability weighting - Tested on biomass based and fossil transportation fuels. *Energy Policy.* 2018.
29. **Finkbeiner, M, et al.** Towards Life Cycle Sustainability Assessment. *Sustainability.* 2010.
30. **Tarne, Peter, et al.** [Tarne 2018] Introducing a product sustainability budget at an automotive company—one option to increase the use of LCSA results in decision-making processes. *The International Journal of Life Cycle Assessment.* 2019.
31. **Lopez, Leandro Miguel, et al.** Understanding the Impact of the PC5 Resource Grid Design on the Capacity and Efficiency of LTE-V2X in Vehicular Networks. *Wireless Communications and Mobile Computing.* Hindawi, 2020, Vol. 2020.
32. **CAR 2 CAR Communication Consortium.** Survey on ITS-G5 CAM statistics. *CAR 2 CAR Communication Consortium.* [En ligne] 20 12 2018. https://www.car-2-car.org/index.php?id=1.
33. **Institut Montaigne.** *Quelle place pour la voiture demain?* 2017.
34. **Dimitriev, Stan.** Autonomous cars will generate more than 300 TB of data per year. [En ligne] 28 11 2017. https://www.tuxera.com/blog/autonomous-cars-300-tb-of-data-per-year/.
35. **Pereira, Rui, et al.** Energy Efficiency across Programming Languages. s.l. : Association for Computing Machinery.
36. **Stephanedes P.E., Yorgos J. , et al.** Challenges, Risks and Opportunities for Connected Vehicle Services in Smart Cities and Communities. *IFAC PapersOnLine.* 2019, Vol. 51-34, pp. 139–144.
37. **Park, Jiyoun, Nam, Changi et Kim, Hye-jin.** Exploring the key services and players in the smart car market. *Telecommunication Policy.* 2019, Vol. 43, 101819.
38. *An overview of vehicular communications.* **Arena, Fabio et Pau, Giovanni.** s.l. : Future Internet , 24/01/2019.
39. **Lahatte, Agenor, Lassarre, Sylvain et Rozan, Anne.** Évaluation économique des conséquences d'un accident de la route non mortel. [éd.] Dalloz. *Revue d'économie politique.* 2007/2, Vol. 117, p. 225 à 242.
40. **ONU.** Quel est le coût environnemental de votre recherche sur internet ? *ONU programme pour l'environnement.* [En ligne] 11 03 2019. https://www.unep.org/fr/actualites-et-recits/recit/quel-est-le-cout-environnemental-de-votre-recherche-sur-internet.
41. **Kieffer, Michel.** Energie utile au déplacement d'une voiture. [En ligne] 03 09 2017. www.HKW-aero.fr.
42. **ADEME.** Bilans GES. [En ligne] https://www.bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?new_liquides.htm.
43. **ETSI.** TS 102 637-2 - V1.2.1 - Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2_ Specification of Cooperative Awareness Basic Service. 2011.
44. **T., Litman.** Autonomous vehicle implementation predictions, Victoria Transport Policy Institute. [En ligne] 2021. https://www.vtpi.org/.
45. **Coppola, Riccardo et Maurisio, Maurizio.** *Connected Car: Technologies, Issues, Future Trends.* s.l. : ACM comuting survey, 2018.

Index des tableaux et figures

Tableaux [(i)]

Tableau 1 - groupe de travail 9
Tableau 2 - Taxonomie des effets sur l'énergie des TIC (15) 17
Tableau 3 - Identification des conséquences indirectes et structurelles dans le cas du véhicule connecté 17
Tableau 4 - composants critiques et caractéristiques dimensionantes selon le type de fonction des équipements 19
Tableau 5 - liste des indicateurs environnementaux sélectionnés 21
Tableau 6 - sources de données pour l'évaluation environnementale 21
Tableau 7 - parties prenantes, sous-catégories d'impact et indicateur sociaux 23
Tableau 8 - fichiers de la base de données des accidents corporels 25
Tableau 9 - niveaux de conformité à la RGPD 26
Tableau 10 - échelles d'évaluation des indicateurs sociaux 26
Tableau 11 - sources de données pour l'évaluation sociale 27
Tableau 12 - indicateurs économiques de la fonction connectée 28
Tableau 13 - indicateurs économiques recommandés 28
Tableau 14 - disponibilité des données prises en compte dans le périmètre d'étude 32
Tableau 15 - scénario d'utilisation véhicule 33
Tableau 16 - population cible pour l'indicateur "bénéfice de sécurité" 36
Tableau 17 - volume de données générées par les capteurs du véhicule connecté (34) 38
Tableau 18 - sélection des indicateurs environnementaux 49
Tableau 19 - sélection des parties prenantes et sous catégories pertinentes 50
Tableau 20 - sélection des indicateurs sociaux pour la partie prenantes "travailleur / employé" 51
Tableau 21 - sélection des indicateurs sociaux pour la partie prenante "client / utilisateur" 52
Tableau 22 - sélection des indicateurs sociaux pour la partie prenante "communautés locales" 52
Tableau 23 - sélection des indicateurs économiques 53
Tableau 24 - nomenclature équipements tiers 1 54
Tableau 25 - consommation d'énergie de fonctionnement des équipements tiers 1 55
Tableau 26 - calculs des consommations d'énergie à la station 56
Tableau 27 - calcul de la consommation d'énergie du tiers 2 56
Tableau 28 - impacts environnementaux de la FC sur un véhicule électrique 57
Tableau 29 - impacts environnementaux de la FC sur un véhicule essence 57
Tableau 30 - impacts environnementaux de la FC sur un véhicule diesel 57

Figures[(i)]

Figure 1 - Projection du nombre de voitures connectées en circulation en France de 2017 à 2022 (en millions) (2) 6
Figure 2 - Distribution de la consommation d'énergie finale du numérique par poste (3) 7
Figure 3 - démarche du projet SODECO 9
Figure 4 - structure de l'écosystème des objets connectés (8) 10
Figure 5 – type de stations de communication ITS et architecture logicielle (9) 11
Figure 6 - cycle de vie de éléments logiciels 12
Figure 7 - cycle de vie de la donnée 12
Figure 8 - cycle de vie d'un objet connecté dans le véhicule 13
Figure 9 - périmètre physique de la fonction connectée 14
Figure 10 - architecture à 3 niveaux de l'écosystème IoT-fog-cloud (12) 15
Figure 11 - Consommation d'énergie par GB transporté sur les réseaux de transmission (13) 15
Figure 12 - allocation des impacts des équipements / tiers à une fonction connectée 18
Figure 13 - efficacité de la fonction sur les usagers de la population cible 24
Figure 14 – résultats de LCSA de carburants (28) avec et sans pondération entre les 3 aspects de la soutenabilité 29
Figure 15 - schéma de communication de la fonction étudiée 31
Figure 16 - schéma fonctionnel équipements véhicule (tiers 1 IoV) 31
Figure 17 - répartition des impacts environnementaux de la FC sur un véhicule électrique 34
Figure 18 - répartition des impacts environnementaux de la FC sur un véhicule essence 34
Figure 19 - répartition des impacts environnementaux de la FC sur un véhicule diesel 34
Figure 20 - comparaison des impacts de la fonction connectée évaluée par motorisation véhicule 35
Figure 21 - dynamique de diffusion d'une innovation dans le parc automobile 36
Figure 22 - indicateurs "bénéfice de sécurité" 36
Figure 23 - synoptique général de la méthodologie d'évaluation de la soutenabilité du VC 40
Figure 24 - rendements énergétiques véhicule électrique 55
Figure 25 - rendements énergétiques véhicules thermiques 55

Sigles et acronymes

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
AGEC	Anti-Gaspillage pour une Economie Circulaire
ACV	Analyse du Cycle de Vie
ACV-E	Analyse du Cycle de Vie Environnementale
ACV-S	Analyse du Cycle de Vie Sociale
BAAC	Bases de données annuelles des accidents corporels de la circulation routière
CAM	Cooperative Awareness Message
CAV	Connected and automated vehicles
CED	Cumulative Energy Demand
DEEE	Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques
DENM	Decentralized Environmental Notification Message
EoL	End of Life
FAI	Fournisseurs d'Accès à Internet
FC	Fonction Connectée
FdV	Fin de Vie
IoT	Internet of Thing
IoV	Internet of Vehicle
ITS	Intelligent Transportation Systems
ITS-S	Intelligent Transportation Systems Station
ITU	International Telecommunication Union
LCA	Life Cycle Assessment
LCSA	Life Cycle Sustainability Assessment
MCDA	Multi Criteria Decision Analysis
PSILCA	Product Social Impact Life Cycle Assessment
SHDB	Social Hotspots Database
S-LCA	Social Life Cycle Assessment
TIC	Technologies d'Information et de Communication
UF	Unité Fonctionnelle
UNEP	United Nations Environment Program
VC	Véhicule Connecté
VHU	Véhicule Hors d'Usage

Annexe 1 – fonctions connectées analysées

Type	Titre	Source	Description
V2V	Prédiction des voitures arrivant et celles changeant de voie grâce à la communication et la transmission des données en temps réel	(36)	* Les stations autonomes en bordure de route sont en mesure de fournir des informations qui, combinées aux données collectées par les capteurs embarqués, peuvent permettre une détection fiable des situations critiques sur la route. Par exemple, les voitures bloquées peuvent informer les unités routières de la situation. * Avec un régulateur de vitesse autonome (ACC), le conducteur humain serait toujours responsable du véhicule, mais le système le déchargerait de l'exécution de tâches monotones telles que le maintien des pédales tout en gardant des distances de sécurité par rapport aux autres véhicules ou des marges de voie.
	Proposition des itinéraires alternatifs	(37)	Les systèmes de navigation peuvent permettre aux utilisateurs de planifier un itinéraire à la maison et de l'envoyer à la voiture, de voir des photos et des recommandations sur les lieux à proximité, et de profiter d'informations en temps réel pour obtenir des itinéraires optimaux.
	Avertissement des embouteillages à venir	(36)	Les systèmes de suivi de voie et d'avertissement de départ sont mis en œuvre et combinés pour empêcher les conducteurs de dévier de la trajectoire correcte, à l'aide de caméras détectant les marques de voie à l'avant, et entre-temps interpréter la dynamique des yeux et de la tête pour prévoir l'intention du conducteur de changer de direction.
	Détection de la fatigue, de la colère et du stress du conducteur	(1)	Utilisation des capteurs fonctionnant par un traitement du signal biologique, les mesures des intervalles de temps pour lesquels les yeux sont fermés, la détection des frottements oculaires et des mouvements de bâillement et de stress dans la voix du conducteur
	Communication entre les différents utilisateurs	(1)	des photos d'accidents ou de places de stationnement dans les environs / les interactions sociales
V2I	Détermination de la vitesse et l'accélération idéale pour les véhicules grâce aux capteurs à ultrasons, radar et caméras	(38)	En utilisant des radars, des lasers et des capteurs vidéo installés sur la voiture, des accidents imminents peuvent être détectés et signalés au conducteur, ou une décision automatique (et une action ultérieure, en termes de direction et de freinage) peut être prise par la voiture elle-même.
	Détermination de la distance entre véhicules en fonction des conditions de la circulation	(39)	L'utilisation d'informations de plusieurs capteurs se déplaçant dans la même zone garantit la qualité des données fournies aux autres voitures. Ces services portent le nom de Advanced Traveler Information and Advanced Traffic Management Systems.
V2P	Détection des piétons et prédiction de la possibilité des collisions par des capteurs de vision par ordinateur	(36)	Des techniques avancées de réalité augmentée peuvent être mises en œuvre afin d'améliorer la perception visuelle du conducteur en cas d'obscurité ou d'autres conditions détériorant la visibilité.
	Covoiturage	(1)	Selon les estimations, en 2020, le covoiturage partage plus de 26 millions d'utilisateurs dans le monde. Les réseaux de voitures connectées peuvent faciliter la diffusion de ces services, car les mouvements et les conditions des véhicules individuels peuvent être facilement suivis en temps réel.
	Vision plus claire dans le cas des mauvaises conditions de visibilité, grâce à la technologie des radiocommunications	(1)	Les systèmes infrarouge lointain (passif) et proche infrarouge (actif) sont les technologies actuellement utilisées pour améliorer la vision nocturne. Des informations visuelles (informations de navigation, panneaux d'avertissement, dangers majeurs imprévus, mise en évidence des piétons traversant la rue) peuvent être superposées sur le pare-brise
V2D	Assistance de conduite	(1)	* La route est analysée pour aider le système visuel du conducteur à repérer les risques à maintenir une trajectoire appropriée et à éviter les obstacles soudains. Les systèmes d'aide à la conduite sont composés de plusieurs composants, effectuant un ensemble d'opérations élémentaires. * Lorsque des accidents se produisent réellement, leurs conséquences peuvent être atténuées: les systèmes Smart SOS détectent automatiquement la survenue d'accidents et avertissent

Type	Titre	Source	Description
			le service le plus proche capable de fournir une assistance routière et / ou médicale. * Les incidents de panne de voiture inattendus peuvent être évités en fournissant la bonne assistance au conducteur. En cas de vol, certaines mesures peuvent être prises pour bloquer la voiture ou contacter les autorités compétentes. * Des mesures dynamiques sont utilisées (heure et durée de chaque trajet, distance totale parcourue réelle, conditions de conduite dans la région et capacité et comportement des conducteurs). Ces régimes sont appelés UBI ou Usage-Based Insurance
V2C	Info-divertissement	(40)	Streaming de musique / streaming vidéos / navigation sur internet / réseaux wifi embarquéx / réseaux sociaux (les réseaux Wi-Fi peuvent être recréés avec des routeurs sans fil installés sur la voiture comme les routeurs MiFi produits par Novatel, ou avec l'utilisation de 4G)
	Communication véhicule-maison	(37)	* Des interfaces entre les véhicules électriques et les maisons intelligentes, ainsi que des systèmes de communication véhicule-maison (V2H) peuvent être créés, afin de programmer un calendrier de charge et de décharge efficace pour la voiture, et un ensemble de notifications à l'utilisateur. * Les conducteurs puissent activer des appareils (tels que l'éclairage, le chauffage, les systèmes de divertissement ou les portes de garage) avant de s'approcher réellement de la maison.
	Intégration avec des appareils portables	(38)	De nouveaux appareils portables peuvent être intégrés aux fonctionnalités d'une voiture connectée, afin d'obtenir une mobilité plus intelligente et plus sûre. Par exemple, Ford a présenté des lunettes à vision augmentée intégrées aux voitures. (Exemple : GPS)

Annexe 2 – indicateurs environnementaux

Tableau 18 - sélection des indicateurs environnementaux

Enjeux	Indicateurs	Méthode	pertinence / véhicule	pertinence / numérique	faisabilité	cohérence	fiabilité	score	sélection
Changement climatique	Climate change	IPCC 2013 GWP 100a	5	5	5	5	5	3125	OUI
santé humaine	Ozone depletion	Steady-state ODPs as in (WMO 1999)	1	3	5	3	5	225	NON
	Ionising radiation	Human health effect model as developed by Dreicer et al. 1995 (Frischknecht et al, 2000)	3	5	5	5	3	1125	OUI
	Photochemical ozone formation	LOTOS-EUROS (Van Zelm et al, 2008) as applied in ReCiPe 2008	5	3	5	5	3	1125	OUI
	Particulate matter	PM method recommended by UNEP (UNEP 2016)	5	3	5	5	5	1875	OUI
	Human toxicity, non-cancer	USEtox 2.1. model (Rosenbaum et al, 2008)	1	1	5	1	1	5	NON
	Human toxicity, cancer	USEtox 2.1. model (Rosenbaum et al, 2008)	1	1	5	1	1	5	NON
Acidification	Acidification	Accumulated Exceedance (Seppälä et al. 2006, Posch et al, 2008)	3	5	5	5	3	1125	OUI
pollution eau	Eutrophication, freshwater	EUTREND model (Struijs et al, 2009) as implemented in ReCiPe	3	1	5	3	3	135	NON
	Eutrophication, marine	EUTREND model (Struijs et al, 2009) as implemented in ReCiPe	3	1	5	3	3	135	NON
	Eutrophication, terrestrial	Accumulated Exceedance (Seppälä et al. 2006, Posch et al, 2008)	3	1	5	3	3	135	NON
	Ecotoxicity, freshwater	USEtox 2.1. model (Rosenbaum et al, 2008)	1	3	5	3	1	45	NON
Occupation des sols	Land use	Soil quality index based on LANCA (Beck et al. 2010 and Bos et al. 2016)	3	3	5	3	1	135	NON
Epuisement des ressources	Water use	Available WAter REmaining (AWARE) in UNEP, 2016	3	5	5	5	1	375	NON
	Resource use, fossils	CML Guinée et al. (2002) and van Oers et al. (2002).	5	5	5	5	1	625	OUI
	Resource use, minerals and metals	CML Guinée et al. (2002) and van Oers et al. (2002)	5	5	5	5	1	625	OUI
	NR : fossil / nuclear / biomass R : biomass / wind, solar, geothe / water	Cumulative Energy Demand (CED)	5	5	5	3	1	375	NON

Annexe 3 – indicateurs sociaux

Tableau 19 - sélection des parties prenantes et sous catégories pertinentes

Partie Prenante (PP)	Pertinence PP	Sous-catégories (SC) UNEP	Pertinence SC	Score SC	Selection SC
Employé / travailleur	5	Freedom of Association and Collective Bargaining	3	15	NON
		Child Labour	3	15	NON
		Fair Salary	3	15	NON
		Working Hours	3	15	NON
		Forced Labour	3	15	NON
		Equal opportunities / Discrimination	1	5	NON
		Health and Safety	5	25	OUI
		Social Benefits/Social Security	5	25	OUI
		Employment relationship	3	15	NON
		Sexual harassment	1	5	NON
		Smallholders including farmers	1	5	NON
Client / utilisateur	5	Health & Safety	5	25	OUI
		Feedback Mechanism	3	15	NON
		Consumer Privacy	5	25	OUI
		Transparency	1	5	NON
		End of life responsibility	3	15	NON
Communautés locales	5	Access to material resources	5	25	OUI
		Access to immaterial resources	3	15	NON
		Delocalization and Migration	3	15	NON
		Cultural Heritage	1	5	NON
		Safe & healthy living conditions	3	15	NON
		Respect of indigenous rights	1	5	NON
		Community engagement	3	15	NON
		Local employment	3	15	NON
		Secure living conditions	1	5	NON
Société	3	Public commitments to sustainability issues	1	3	NON
		Contribution to economic development	3	9	NON
		Prevention & mitigation of armed conflicts	1	3	NON
		Technology development	3	9	NON
		Corruption	1	3	NON
		Ethical treatment of animals	1	3	NON
		Poverty alleviation	1	3	NON
Acteurs de la chaine de valeur	3	Fair competition	1	3	NON
		Promoting social responsibility	1	3	NON
		Supplier relationships	3	9	NON
		Respect of intellectual property rights	3	9	NON
		Wealth distribution	1	3	NON
Enfants	1	Education provided in the local community	1	1	NON
		Health issues for children as consumers	1	1	NON
		Children concerns regarding marketing practices	1	1	NON

Tableau 20 - sélection des indicateurs sociaux pour la partie prenantes "travailleur / employé"

Sous-catégories (SC)	Indicateur d'inventaire UNEP	non-redondance	Pertinence indicateur	Faisabilité indicateur	score	Sélection indicateur
Santé et sécurité	Occupational accident rate by country	5	3	3	45	NON
	Number/ percentage of injuries or fatal accidents in the organization by job qualification inside the company	5	3	3	45	NON
	Hours of injuries per level of employees.	5	1	1	5	NON
	Presence of a formal policy concerning health and safety	5	5	1	25	NON
	Adequate general occupational safety measures are taken	5	3	3	45	NON
	Preventive measures and emergency protocols exist regarding accidents & injuries	5	3	1	15	NON
	Preventive measures and emergency protocols exist regarding pesticide & chemical exposure	5	3	1	15	NON
	Appropriate protective gear required in all applicable situations	5	1	1	5	NON
	Number of (serious/nonserious) Occupational Safety and Health Administration (OSHA) violations reported within the past 3 years and status of violations	5	3	1	15	NON
	GRI LA8 Education, training, counselling, prevention and risk control programs in place to assist workforce members, their families, or community members regarding serious diseases	5	1	1	5	NON
Bénéfices sociaux / sécurité sociale	Social security expenditure by country and branches of social security (eg. Healthcare, sickness, maternity)	5	5	3	75	OUI
	GRI LA3 Benefits provided to full-time employees that are not provided to temporary or parttime employees, by major operations	5	3	3	45	NON
	List and provide short description of social benefits provided to the workers (eg. Health insurance, pension fund, child care, education, accommodation etc.)	5	3	1	15	NON
	Evidence of violations of obligations to workers under labour or social security laws and employment regulations.	5	3	1	15	NON

Tableau 21 - sélection des indicateurs sociaux pour la partie prenante "client / utilisateur"

Sous-catégories (SC)	Indicateur d'inventaire UNEP	non-redondance	Pertinence indicateur	Faisabilité indicateur	score	Sélection indicateur
Santé et sécurité	Quality of or number of information/signs on product health and safety	5	1	5	25	NON
	Presence of consumer complaints (at national, sectorial, organizational level)	5	1	1	5	NON
	GRI PR2 - Total number of incidents of non-compliance with regulations and voluntary codes concerning health and safety impacts of products and services and type of outcomes	5	1	3	15	NON
	Number of consumer complaints	5	1	1	5	NON
	Presence of Management measures to assess consumer health and safety	5	1	1	5	NON
	Quality of labels of health and safety requirements	5	1	3	15	NON
Vie privée	Country ranking related to regulations on data-sharing	5	1	3	15	NON
	Country ranking related to strength of laws protecting privacy against organizations and government	5	1	3	15	NON
	Country ranking related to the strength of regulatory powers to investigate privacy-related complaints	5	1	3	15	NON
	Strength of internal management system to protect consumer privacy, in general	5	5	3	75	OUI
	Number of consumer complaints related to breach of privacy or loss of data within the last year	5	1	1	5	NON
	Number of complaints by regulatory bodies related to breach of consumer privacy or loss of data within the last year	5	1	1	5	NON

Tableau 22 - sélection des indicateurs sociaux pour la partie prenante "communautés locales"

Sous-catégories (SC)	Indicateur d'inventaire UNEP	non-redondance	Pertinence indicateur	Faisabilité indicateur	score	Sélection indicateur
Accès aux ressources matérielles	Changes in Land Ownership	5	1	3	15	NON
	Levels of Industrial Water Use	3	5	3	45	NON
	Extraction of Material Resources	5	5	3	75	OUI
	Percent of Population (Urban, Rural, Total) with Access to Improved Sanitation Facilities	5	1	3	15	NON
	Has the organization developed project related infrastructure with mutual community access and benefit	5	1	1	5	NON
	Strength of organizational risk assessment with regard to potential for material resource conflict	5	3	1	15	NON
	Does the organization have a certified environmental management system	5	3	3	45	NON

Annexe 4 – indicateurs économiques

Tableau 23 - sélection des indicateurs économiques

partie prenante (PP)	pertinence PP	indicateur	pertinence indicateur	prédictibilité	score	sélection
fabricant	5	Durée de retour sur investissement	3	3	45	**NON**
		Taux de retour sur investissement à X ans	3	3	45	**NON**
		Marge nette	5	3	75	**OUI**
		Coût de gestion des pièces de rechange	3	1	15	**NON**
		Marge de vente sur pièces de rechange	3	1	15	**NON**
exploitant	5	Taux de retour sur investissement à X ans	3	3	45	**NON**
		Durée de retour sur investissement	3	1	15	**NON**
		Bénéfice	5	1	25	**NON**
		CA service numérique	5	3	75	**OUI**
propriétaire / utilisateur	5	Coût d'acquisition	5	3	75	**OUI**
		Coût d'opération	3	5	75	**OUI**
		Coût d'entretien	3	3	45	**NON**
		Coût de réparation	3	1	15	**NON**
		Coût total de possession de la fonction	5	1	25	**NON**
société	3	Salaire / emploi	3	1	9	**NON**
		Taxes et impôts	5	1	15	**NON**
		Frais de santé	5	3	45	**NON**
		Coût de traitement fin de vie	3	1	9	**NON**

Annexe 5 – inventaire des données

Tableau 24 - nomenclature équipements tiers 1

niveau	designation	dimensions	ICV EcoInvent	masse unitaire (kg)	quantité
1	Mobileye 6 Serie			0,696	1
2	Main Unit (Camera)			0,200	
3	housing	122*79*43mm	Polypropylene, granulate {GLO}| market for | Cut-off, U Injection moulding {GLO}| market for | Cut-off, U	0,081	1
3	vision sensor Aptina	4.51 mm (H) x 2.88 mm (V) 5.35 mm diagonal	Printed wiring board, surface mounted, unspecified, Pb free {GLO}| market for | Cut-off, U	0,080	1
3	Eye Q2 vision processor				
3	Mobileye Chip on Board system (SeeQ)				
3	Bluetooth module				
3	Audio buzzer		Copper {GLO}| market for | Cut-off, U	0,039	
2	connecting cable	d4,8*L3000mm	Cable, unspecified {GLO}| market for | Cut-off, U	0,152	1
2	EyeWatch Display & Control Unit	d49*h24mm	Liquid crystal display, unmounted {GLO}| market for | Cut-off, U	0,046	1
2	cable	d3,1*L3000mm	Cable, unspecified {GLO}| market for | Cut-off, U	0,063	1
2	Enhancement-Box			0,115	
3	E-box unit housing	L90xH25xW58mm	Polypropylene, granulate {GLO}| market for | Cut-off, U Injection moulding {GLO}| market for | Cut-off, U	0,010	1
3	E-box unit electronic		Printed wiring board, surface mounted, unspecified, Pb free {GLO}| market for | Cut-off, U	0,040	1
3	Mobileye 6 to A-box Cable	d4mm x L400mm	Cable, unspecified {GLO}| market for | Cut-off, U	0,032	1
3	A-box I/O Signals Cable	20AWG x L650mm		0,033	1
2	CAN-Sensor			0,055	1
3	case	40mmx3mm	Polypropylene, granulate {GLO}| market for | Cut-off, U Injection moulding {GLO}| market for | Cut-off, U	0,015	1
3	electronic		Printed wiring board, surface mounted, unspecified, Pb free {GLO}| market for | Cut-off, U	0,040	1
2	cable	1300mm	Cable, unspecified {GLO}| market for | Cut-off, U	0,065	1
1	COMBOX (HMCU)			0,365	1
2	housing	150x110x50 mm	Polypropylene, granulate {GLO}| market for | Cut-off, U Injection moulding {GLO}| market for | Cut-off, U	0,150	1
2	connectivity units		Printed wiring board, surface mounted, unspecified, Pb free {GLO}| market for | Cut-off, U	0,215	1
1	Antennas (SMW-412 multiband)			0,501	2
2	housing	4.2”D x 3.2”H (107 mm x 81 mm)	Styrene-acrylonitrile copolymer {GLO}| market for | Cut-off, U	0,051	1
2	antenna		Copper {GLO}| market for | Cut-off, U	0,060	1
2	electronics		Printed wiring board, surface mounted, unspecified, Pb free {GLO}| market for | Cut-off, U	0,050	1
2	mounting hardware	Threaded metal stud (d1.9 cm x L1.3 cm); supplied with gasket & nut	Steel, low-alloyed {GLO}| market for | Cut-off, U Metal working, average for steel product manufacturing {GLO}| market for | Cut-off, U	0,070	1
2	Cable 1	4,5m	Cable, unspecified {GLO}| market for | Cut-off, U	0,135	1
2	Cable 4	4,5m		0,135	1

La phase de fin de vie pour les équipements du tiers 1 a été modélisée par un traitement type Waste electric and electronic equipment {GLO}| market for | Cut-off, U

Annexe 6 – consommation d'énergie en phase d'utilisation

Tableau 25 - consommation d'énergie de fonctionnement des équipements tiers 1

paramètre	calcul	Mobileye 6 Serie	COMBOX (HMCU)	Antennas
masse unitaire	M_eq	0,696 kg	0,365 kg	0,501 kg
quantité	q	1	1	2
puissance active	P_act	5,5 W	12,0 W	10,0 W
temps actif annuel	t_act	438 h	438 h	438 h
énergie active consommée	E_act = P_act*t_act	2409 Wh	5256 Wh	4380 Wh
puissance en veille	P_veill	0,24 W	0,40 W	0,00 W
temps en veille	t_veill	0 h	0 h	0 h
énergie en veille	E_veill = P_veill*t_veill	0 Wh	0 Wh	0 Wh
énergie totale équipement	E_eq = E_act+E_veill	2409 Wh	5256 Wh	8760 Wh
nombre de fonctions utilisatrices	N	4	1	1
masse allouée à la fonction	M_fct = M_eq*q/N	0,174 kg	0,365 kg	1,002 kg
énergie allouée à la fonction	E_fct = E_eq/N	0,60 kWh	5,26 kWh	8,76 kWh

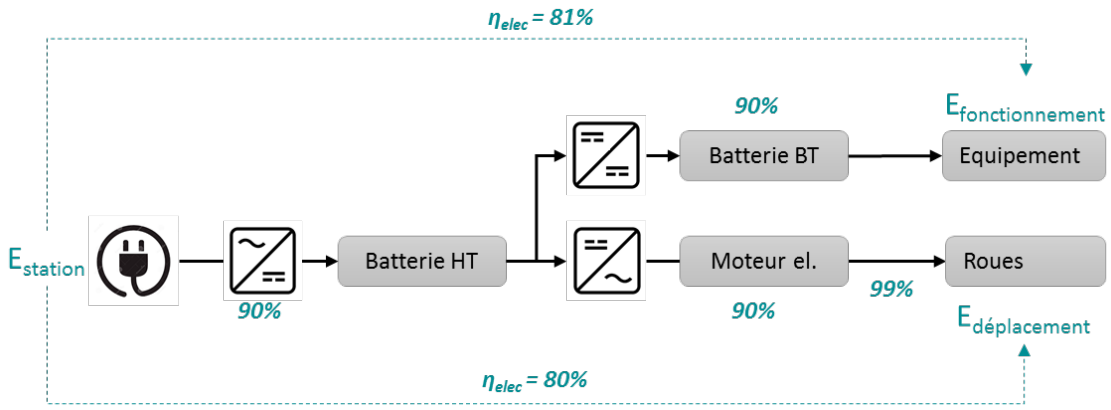

Figure 24 - rendements énergétiques véhicule électrique

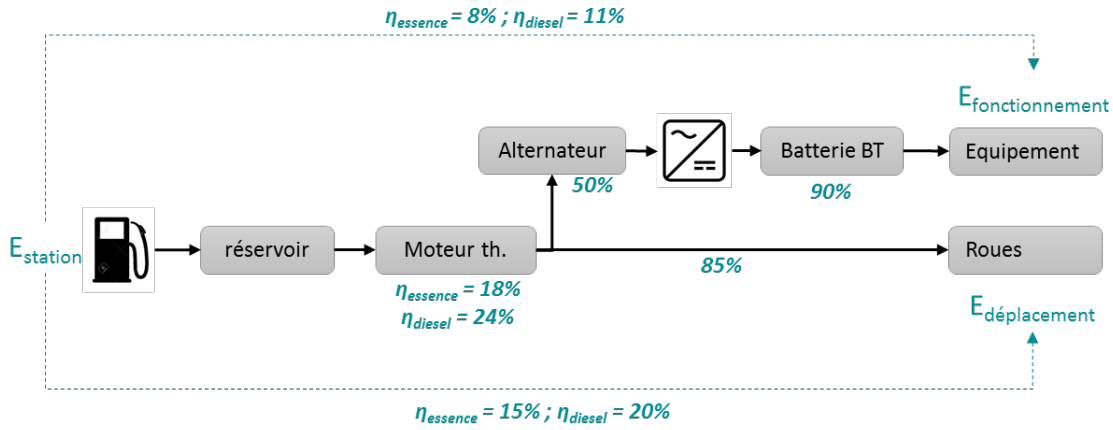

Figure 25 - rendements énergétiques véhicules thermiques

Tableau 26 - calculs des consommations d'énergie à la station

PARAMETRE				VEHICULE		
description	abr.	donnée utilisée	unité	Elec.	Ess.	Dies.
DEPLACEMENT DES EQUIPEMENTS						
coefficient de résistance au roulement	Cr			0,012	0,012	0,012
masse équipements allouée à la fonction	M_fct		kg	1,541	1,541	1,541
énergie aux roues pour le déplacement	E_dplct	= M_fct*(Cr*0,82+0,011) (41)	MJ/100km	0,03	0,03	0,03
rendement énergétique station> roue	η_st>ro		%	80%	15%	20%
pouvoir calorifique inférieur	PCI	(42)	MJ/kg		44	42
énergie à la station pour le déplacement	E_st (dplct)	= E_dplct/η_st>ro/100*3,6*d/DVT	kWh/an	**13,0**	**68,0**	**85,0**
masse de carburant consommé pour le déplacement	Mcarb_dep	= E_st (dplct)/PCI	kg/an		**5,6**	**7,3**
FONCTIONNEMENT DES EQUIPEMENTS						
énergie de fonctionnement des équipements	Efct_eq		kWh/an	14,6	14,6	14,6
rendement énergétique station>équipement	η_st>eq		%	81%	8%	11%
énergie à la station pour le fonctionnement	E_st (fct)		kWh/an	**18,0**	**180,5**	**135,4**
masse de carburant consommé pour le fonctionnement	Mcarb_fct	= E_st (fct)/PCI	kg/an		**14,8**	**11,6**

Tableau 27 - calcul de la consommation d'énergie du tiers 2

description	abr.	donnée utilisée	unité	valeur
Fréquence message CAM	Fq_CAM	1 à 10Hz (ETSI)	Hz	10
volume de données d'un message CAM	V_CAM		Bytes	350
volume de données transmise par heure de fonctionnement	Vd_hr	= 3600/(T_CAM*1e-3)*V_CAM*1e-9	GB/h	0,0126
volume de données transmise par année de fonctionnement	Vd_an	= Vd_hr*t_ut/DVT	GB/an	5,52
Energie de transmission des données	E_ITS_unit	estimation "the shift project"	kWh/GB	0,776
	E_ITS_an	= Vd_an*E_ITS_unit	kWh/an	**4,28**

Annexe 7 – impacts environnementaux du cas d'étude

Tableau 28 - impacts environnementaux de la FC sur un véhicule électrique

Catégorie d'impact	Unité	Total	T1-MP&F	T1-U (Dépl.)	T1-U (Fct.)	T1-FdV	T2-U
Climate change	kg CO2 eq	4,15E+02	1,42E+02	9,98E+01	1,39E+02	1,08E+00	3,29E+01
Ionising radiation	kBq U-235 eq	1,66E+02	1,74E+01	5,46E+01	7,59E+01	2,33E-03	1,80E+01
POC	kg NMVOC eq	1,22E+00	6,00E-01	2,29E-01	3,19E-01	4,76E-04	7,57E-02
Particulate matter	disease inc.	1,20E-05	7,45E-06	1,68E-06	2,34E-06	3,38E-09	5,55E-07
Acidification	mol H+ eq	2,94E+00	1,37E+00	5,78E-01	8,03E-01	3,41E-04	1,91E-01
Resource use, foss.	MJ	7,36E+03	1,79E+03	2,05E+03	2,84E+03	4,44E-01	6,75E+02
Resource use, min.	kg Sb eq	6,83E-02	6,63E-02	7,25E-04	1,01E-03	3,44E-07	2,39E-04

Tableau 29 - impacts environnementaux de la FC sur un véhicule essence

Catégorie d'impact	Unité	Total	T1-MP&F	T1-U (Dépl.)	T1-U (Fct.)	T1-FdV	T2-U
Climate change	kg CO2 eq	1,60E+03	1,42E+02	3,89E+02	1,03E+03	1,08E+00	3,29E+01
Ionising radiation	kBq U-235 eq	1,21E+02	1,74E+01	2,33E+01	6,19E+01	2,33E-03	1,80E+01
POC	kg NMVOC eq	2,95E+00	6,00E-01	6,23E-01	1,65E+00	4,76E-04	7,57E-02
Particulate matter	disease inc.	2,70E-05	7,45E-06	5,20E-06	1,38E-05	3,38E-09	5,55E-07
Acidification	mol H+ eq	4,51E+00	1,37E+00	8,06E-01	2,14E+00	3,41E-04	1,91E-01
Resource use, foss.	MJ	2,12E+04	1,79E+03	5,13E+03	1,36E+04	4,44E-01	6,75E+02
Resource use, min.	kg Sb eq	6,77E-02	6,63E-02	3,10E-04	8,23E-04	3,44E-07	2,39E-04

Tableau 30 - impacts environnementaux de la FC sur un véhicule diesel

Catégorie d'impact	Unité	Total	T1-MP&F	T1-U (Dépl.)	T1-U (Fct.)	T1-FdV	T2-U
Climate change	kg CO2 eq	1,44E+03	1,42E+02	4,89E+02	7,78E+02	1,08E+00	3,29E+01
Ionising radiation	kBq U-235 eq	1,17E+02	1,74E+01	3,16E+01	5,04E+01	2,33E-03	1,80E+01
POC	kg NMVOC eq	6,18E+00	6,00E-01	2,12E+00	3,38E+00	4,76E-04	7,57E-02
Particulate matter	disease inc.	3,01E-05	7,45E-06	8,51E-06	1,35E-05	3,38E-09	5,55E-07
Acidification	mol H+ eq	6,91E+00	1,37E+00	2,06E+00	3,28E+00	3,41E-04	1,91E-01
Resource use, foss.	MJ	2,05E+04	1,79E+03	6,97E+03	1,11E+04	4,44E-01	6,75E+02
Resource use, min.	kg Sb eq	6,75E-02	6,63E-02	3,67E-04	5,84E-04	3,44E-07	2,39E-04

L’ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. L’Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, les économies de matières premières, la qualité de l'air, la lutte contre le bruit, la transition vers l’économie circulaire et la lutte contre le gaspillage alimentaire.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de la Transition Écologique et Solidaire et du ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

LES COLLECTIONS
DE L’ADEME

ILS L’ONT FAIT
L’ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.

EXPERTISES
L’ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.

FAITS ET CHIFFRES
L’ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d’indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.

CLÉS POUR AGIR
L’ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.

HORIZONS
L’ADEME tournée vers l’avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.

EXPERTISES

SODECO - QUELLE SOUTENABILITE DE LA DONNEE AU SERVICE DE L'ECOCONCEPTION

Résumé Le projet SODECO explore comment l'objet virtuel constitué par un service numérique et les données qu'il génère dans le contexte d'utilisation du véhicule connecté, peut se traduire en termes d'impacts environnementaux, mais aussi sociaux et économiques afin de déterminer la soutenabilité de la fonction connectée, et d'orienter sa conception pour un éco-usage du véhicule.

A partir d'une étude bibliographique des enjeux du véhicule connecté, une description du périmètre d'évaluation est proposée, ainsi que les indicateurs et les méthodes de caractérisations associées permettant d'établir la soutenabilité d'une fonction connectée.

Ce travail de synthèse, illustré par un cas d'étude, permet de définir les lignes directrices d'une méthodologie d'évaluation de la soutenabilité de la donnée, et d'identifier les limites et perspectives à l'élaboration d'une telle méthode.

ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR, DE LA RECHERCHE ET DE L'INNOVATION

www.ademe.fr